



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA

PAULO RICARDO de GOIS PINHEIRO

**ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS MARÍTIMOS EM PORTOS
DEVIDO A FATORES METEOCEANOGRÁFICOS: O CASO DO PORTO DO
RECIFE**

Recife
2023

PAULO RICARDO de GOIS PINHEIRO

**ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS MARÍTIMOS EM PORTOS
DEVIDO A FATORES METEOCEANOGRÁFICOS: O CASO DO PORTO DO
RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Naval.

Orientador: Prof. Dr. Heitor de Oliveira
Duarte

Coorientador: Daniel Brandt Galvão

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Pinheiro, Paulo Ricardo de Gois .

Abordagem para Avaliação de Riscos Marítimos em portos devido a fatores
Meteoceanográficos: O caso do Porto do Recife / Paulo Ricardo de Gois
Pinheiro. - Recife, 2023.

87 p : il., tab.

Orientador(a): Heitor de Oliveira Duarte

Coorientador(a): Daniel Brandt Galvão

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Naval -
Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Avaliação de risco portuário. 2. Porto do Recife. 3. navio de passageiros.
4. regiões portuárias. 5. fatores Meteoceanográficos. I. Duarte, Heitor de
Oliveira . (Orientação). II. Galvão, Daniel Brandt. (Coorientação). IV. Título.

620 CDD (22.ed.)



Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica
Graduação em Engenharia Naval
Centro de Tecnologia e Geociências- CTG



ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

Aos vinte e oito dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e três, às 16:00, por via remota, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado: **ABORDAGEM PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS MARÍTIMOS EM PORTOS DEVIDO A FATORES METEOCENAGRÁFICOS: O CASO DO PORTO DO RECIFE**, elaborado pelo aluno **Paulo Ricardo de Gois Pinheiro**, matrícula 111.448.434-21, composta por **Prof. Heitor de Oliveira Duarte** (Orientador), **Msc. Daniel Brand Galvão** (Coorientador), **Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno**, (examinador 1) e **Dra. Ramilla Vieira de Assunção**, (examinador 2). Após a exposição oral, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se reservadamente, e deliberaram pela aprovação _____ (aprovação/reprovação) do candidato no Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Naval da UFPE, atribuindo à monografia a média 8,62 (oito virgula sessenta e dois _____). Para constar, redigi a presente Ata, aprovada por todos os presentes, que vai assinada por mim e pelos demais membros da banca.

Orientador: **Prof. Heitor de Oliveira Duarte** - DEMEC/UFPE Nota: 8,5

Assinatura: _____  **HEITOR DE OLIVEIRA DUARTE**
Documento assinado digitalmente
Data: 29/08/2023 08:33:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientador: **Msc. Daniel Brand Galvão** - PPGO/UFPE Nota: 8,5

Assinatura: _____  **DANIEL BRANDT GALVAO**
Documento assinado digitalmente
Data: 30/08/2023 15:00:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 1: **Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno** - DEMEC/UFPE Nota: 9,0

Assinatura: _____  **CESAR AUGUSTO SALHUA MORENO**
Documento assinado digitalmente
Data: 31/08/2023 08:09:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 2: **Dra. Ramilla Vieira de Assunção** – PPGO-UFPE. Nota: 8,5

Assinatura: _____



Documento assinado digitalmente
RAMILLA VIEIRA DE ASSUNCAO
Data: 30/08/2023 14:04:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Recife, 28 de agosto de 2023



Documento assinado digitalmente
ADRIANO DAYVSON MARQUES FERREIRA
Data: 05/09/2023 21:44:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Adriano Dayvson Marques Ferreira
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Naval

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me fez nascer em um ambiente em que tive oportunidades de fazer o que sempre almejei, pela paz e saúde e por me dar uma família tão especial.

Aos meus pais Telma e Hermes e aos meus irmãos Aline e Alisson, pelo apoio em todas as decisões tomadas por mim ao longo da trajetória e por serem a base de toda força que encontrei nas adversidades durante o curso.

Ao meu orientador, Heitor Duarte, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho, principalmente por ter entendido minha mudança de foco profissional durante a elaboração desse trabalho, agindo sempre com respeito e dando todo o suporte possível para que eu conseguisse realizar um bom trabalho.

Ao pesquisador, Daniel Galvão, pela sua disponibilidade e paciência, além de constantes sugestões de abordagem no trabalho.

Ao amigo Paulo Gabriel que buscou sempre me ajudar durante o curso e que sempre foi apoio para clarear as minhas ideias e de todos os alunos que tinham alguma dificuldade, tanto quando era colega de curso, quanto agora como um dos coorientadores.

Aos colegas de curso que fiz ao longo do curso, que foram importantes para troca de conhecimento e fazer o ambiente universitário ser mais agradável.

A alguns dos professores ao longo dessa etapa acadêmica, que sempre se importaram com os alunos e se tornaram pessoas admiráveis por sua empatia e profissionalismo.

Por fim, a mim mesmo, Paulo Pinheiro, por ter encontrado motivação para concluir o trabalho em momentos de incerteza e desmotivação com o curso.

RESUMO

A operação de grandes embarcações em regiões portuárias envolve a realização de manobras que apresentam riscos ao serviço do navio e da região. O risco se torna maior quando fatores Meteoceanográficos (MOs), como a intensidade dos ventos, altura das ondas e efeitos de marés interferem na operação das embarcações. Tendo em vista que a maioria dos acidentes marítimos ocorrem em águas restritas, este trabalho propõe uma abordagem para Análises de Riscos Marítimos (ARM) no exercício da realização de manobras em águas rasas com influência de fatores MOs. O objetivo é propor ajustes para melhorar uma metodologia já existente e aplicá-la em um estudo de caso no Porto do Recife com uma embarcação de passageiros, com o intuito de gerar informações úteis para o gerenciamento de riscos no porto e contribuir para melhoria da segurança em operações portuárias. Os dados MOs utilizados neste trabalho foram coletados no período de 1979 a 2021. Com o auxílio de 3 especialistas, um navegante amador, um navegante profissional e um prático, na região de estudo, foram identificados e classificados 41 cenários acidentais (CAs), utilizando a técnica de Análise Preliminar de Riscos. Destes, 7 foram selecionados para uma análise mais detalhada de frequência de acontecimentos e possíveis impactos ao meio ambiente, à embarcação de estudo, e aos tripulantes e pessoas envolvidas na operação dessa embarcação no local de estudo. A metodologia apresenta 6 etapas, a primeira é a caracterização do problema, depois vem a identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais, avaliação de cenários MOs, estimativa de frequências, avaliação das consequências e por último a classificação e categorização do risco. Este estudo demonstrou que ventos de sudeste acima de 15 nós e ondas acima de 1,5m são condições MOs de risco na entrada ou saída de navios de passageiros no porto, bem como confirmou que ações preventivas já tomadas pelo porto para prevenção de possíveis acidentes, como não deixar duas embarcações operarem ao mesmo tempo no canal de acesso ao porto são de extrema importância. Dessa forma, a metodologia aperfeiçoada consistiu em caracterizar o problema, identificando e consolidando cenários acidentais com a finalidade de classificar os riscos e se mostrou eficiente para avaliação de riscos em regiões portuárias com interferência de fatores meteorológicos, para comunicação de riscos e auxílio no treinamento de simulação de situações inesperadas. Os resultados mostram que o melhoramento da metodologia se mostrou de grande valia para aplicação em estudos futuros sobre interferência de fatores MOs no risco da operação de embarcações.

Palavras-chave: Avaliação de risco portuário; Porto do Recife; navio de passageiros; regiões portuárias; fatores Meteoceanográficos.

ABSTRACT

The operation of large shipments in port regions involves carrying out maneuvers that pose risks to the service of the ship and the region. The risk becomes greater when meteoceanographic factors (MOs), such as wind intensity, wave height and tidal effects interfere with vessel operation. Considering that most maritime accidents occur in restricted waters, this work proposes an approach for Maritime Risk Analysis (MRA) in the exercise of performing maneuvers in shallow waters with the influence of MOs factors. The objective is to propose adjustments to improve an existing methodology and apply it in a case study at the Port of Recife with a passenger boarding, in order to generate useful information for risk management in the port and contribute to improving security. in port operations. The MOs data used in this work were collected from 1979 to 2021. With the help of 3 specialists, an amateur navigator, a professional navigator and a practical one, in the study region, 41 accidental scenarios (ASs) were identified and identified, using the Preliminary Risk Analysis technique. Of these, 7 were selected for a more detailed analysis of the frequency of events and possible impacts on the environment, on the study boarding, and on the crew and people involved in the operation of this boarding at the study site. The methodology has 6 steps, the first is the characterization of the problem, then comes the identification of hazards and the formulation of accidental scenarios, evaluation of MOs scenarios, estimation of frequencies, evaluation of the consequences and finally the classification and categorization of the risk. This study demonstrated that southeast winds above 15 knots and waves above 1.5m are MOs risk conditions for the entry or exit of passenger ships in the port, as well as confirming that preventive actions already taken by the port to prevent possible accidents, how not to let two vessels operate at the same time in the port access channel are extremely important. In this way, an improved methodology consists of characterizing the problem, identifying and consolidating accidental scenarios with the purpose of assessing the risks and proving to be efficient for risk assessment in port regions with interference from meteorological factors, for risk communication and assistance in the training of simulation of unexpected situations. The results show that the improvement of the methodology proved to be of great value for application in future studies on the interference of risk-free MOs factors in the shipment operation.

Keywords: Port risk assessment; Port of Recife; passenger ship; port regions; Meteoceanographic factors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ponto neutro com navio parado.....	18
Figura 2 - Ponto neutro com seguimento avante.	18
Figura 3 - Ponto neutro com seguimento a ré.....	19
Figura 4 - Fator de Bloqueio	19
Figura 5 - Circulação geral dos ventos influenciada pela força de Coriolis.....	21
Figura 6 -Triângulo do vento verdadeiro.	23
Figura 7 - Fases da lua.....	26
Figura 8 - Representação de marés do tipo semidiurnas.....	26
Figura 9 - Correntes oceânicas do Atlântico.	28
Figura 10 - Fluxograma da metodologia.	34
Figura 11 - Navio Costa Luminosa.....	47
Figura 12 - Estrutura do Porto do Recife.....	48
Figura 13 - Trajetória percorrida pela embarcação para atracar no porto..	49
Figura 14 - Distribuição de direção e velocidade do vento durante monitoramento em diagrama de rosa de ventos.	54
Figura 15 - Variação da altura e período de picos das ondas durante monitoramento.....	55
Figura 16 - Localização aproximada dos cenários acidentais com interferência de Fatores MOs.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de Beaufort.	22
Tabela 2 - Acidentes de Navegação	30
Tabela 3 - Categorias de Severidade.	36
Tabela 4 - Frequência anual estimada.....	37
Tabela 5 - Matriz classificação de risco.	38
Tabela 6 - Categorias de frequência.....	42
Tabela 7 - Matriz de combinação de frequência com severidade.....	44
Tabela 8 – Consolidação de cenários acidentais.	50
Tabela 9 - Cenários Meteoceanográficos.	53
Tabela 10 - Frequência combinada.	55
Tabela 11 - Consequências esperadas para cada CA.	56
Tabela 12 - Resultado da caracterização.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Avaliação de riscos	15
3.1.1 Identificação e consolidação de riscos	15
3.1.2 Estimativas de frequências e consequências	16
3.1.3 Caracterização dos riscos	16
3.2 Manobrabilidade	17
3.2.1 Ponto pivô	17
3.3 Meteorologia e oceanografia	20
3.3.1 Ventos.....	20
3.3.2 Ondas	23
3.3.3 Marés.....	25
3.3.4 Correntes	27
3.4 Regulamentação e legislação sobre acidentes e fatos de navegação	30
4 METODOLOGIA	33
4.1 Etapa 1: Caracterização do problema	34
4.2 Etapa 2: Identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais	35
4.3 Etapa 3: Avaliação dos cenários Meteoceanográficos	38
4.3.1 Marés.....	39
4.3.2 Ventos.....	40
4.3.3 Correntes	40
4.3.4 Ondas	41

4.4 Etapa 4: Estimativa de frequências	41
4.5 Etapa 5: Avaliação das consequências dos riscos	43
4.6 Etapa 6: Avaliação dos riscos.....	43
5 RESULTADOS	45
5.1 Etapa 1:Caracterização do problema.....	45
5.2 Etapa 2: Identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais	
50	
5.3 Etapa 3:Avaliação dos cenários Meteoceanográficos	51
5.4 Etapa 4:Estimativa de frequências	53
5.5 Etapa 5:Avaliação das consequências.....	56
5.6 Etapa 6: Avaliação dos riscos.....	58
6 DISCUSSÃO	63
7 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICES A – PLANILHAS DE CENÁRIOS AVALIADOS	75
APÊNDICES B – FREQUÊNCIAS METEOCENOGRÁFICAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

A navegação em portos e hidrovias tornou-se mais complexa nas últimas décadas devido ao aumento do transporte marítimo de cargas, passageiros e dos tamanhos dos navios, enquanto que o tamanho dos canais de navegação, bacias de evolução e berços de atracação não acompanham este aumento na mesma velocidade. Conseqüentemente, os riscos potenciais nesse tipo de navegação aumentam, ocasionando maiores probabilidades de acidentes (OLBA et al., 2020). O transporte marítimo apresenta riscos de acidentes que podem causar mortes ou ferimentos de membros da tripulação e danos a navios e meio ambiente (JIANG et al., 2020).

Em decorrência de todas as adversidades, a capacidade de manobrar um navio, especialmente em águas confinadas, é uma das habilidades mais exigentes e complexas do aquaviário. É nessa condição que os navios estão expostos aos maiores perigos e onde aproximadamente 90% dos acidentes marítimos ocorrem (MACELREVEY; MACELREVEY, 2018).

Mais especificamente, manobrar um navio em águas rasas e restritas é mais complexo, quando comparado a navegação em águas abertas, devido às diversas dificuldades encontradas e variáveis envolvidas, tais como: (i) é quando navios são principalmente expostos a perigos, i.e., objetos fixos e outras embarcações passando por perto; (ii) espaço para manobra é limitado (iii) a velocidade do navio é menor, então os efeitos dos ventos, ondas e correntes são de maior influência; (iv) existem diferentes tipos de correntes atuando simultaneamente, então a corrente resultante é heterogênea e menos previsível; e (v) o comportamento do navio em geral, e sua manobrabilidade em particular, se altera conforme a profundidade da água diminui e/ou quando o navio está perto de um banco de areia (DUARTE et al., 2016).

Tendo em vista todos os possíveis acidentes e danos causados na operação de embarcações em águas confinadas (DPC, 2003), há ainda a influência dos fatores Meteoceanográficos (MOs) nas embarcações, já que a segurança marítima também considera fatores ambientais como elementos fundamentais. Em muitos casos navios mercantes navegam sob condições severas de ventos, correntes, ondas, e outros efeitos climáticos (e.g., chuva, nevoeiro), causando aumento na probabilidade de ocorrência de acidentes ambientais (JESUS; DINIZ, 2018). Este trabalho tem foco em eventos, correntes e ondas.

Nesse sentido, a avaliação de risco permite identificar os riscos do transporte marítimo em um determinado local e encontrar a maneira mais eficaz de gerenciar estes riscos (ZHANG et al., 2019). O risco estimado fornece um aviso prévio para tomar medidas preventivas e mitigativas adequadas para aumentar a segurança em geral das operações de transporte (BAKSH et al., 2018). Portanto, a metodologia de risco proposta neste trabalho considera os mais variados fatores operacionais e ambientais que afetam as operações de transporte marítimo. Dados históricos e julgamentos de especialistas são extremamente importantes para estimar de modo mais confiável valores bases para esses fatores (BAKSH et al., 2018).

O restante desse trabalho está estruturado como segue: A seção 1.1 apresenta os objetivos. A revisão bibliográfica é apresentada na seção 2 com o intuito de mostrar o estado da arte neste tema de pesquisa. A seção 3 apresenta o referencial teórico e tem por objetivo apresentar os fundamentos elementos para construção do trabalho. A Seção 4 apresenta a metodologia de estudo proposta. A Seção 5 trata dos resultados encontrados no estudo de caso. A Seção 6 traz a discussão sobre as principais limitações da metodologia, melhoramentos propostos, bem como destaques sobre os resultados do estudo de caso. Por fim, a Seção 7 conclui o trabalho com suas principais vantagens e limitações, bem como propostas para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é identificar os riscos marítimos em regiões portuárias. Para atingir esse objetivo, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar limitações numa metodologia já existente e propor melhorias
- Aplicar a metodologia melhorada em um estudo de caso no Porto do Recife com uma embarcação de passageiros
- Produzir previsões de riscos relevantes ao prático
- Gerar informações úteis para o gerenciamento de riscos no porto, sem negligenciar possíveis cenários
- Contribuir para a melhoria da segurança em operações portuárias

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

O risco é uma parte mensurável da incerteza, para a qual somos capazes de estimar a probabilidade de ocorrência e o tamanho do dano. O risco é assumido como um desvio do nível desejado, que na maioria das vezes tem impactos negativos em atividades. Por isso, a análise de riscos é tão importante para a seleção de projetos e coordenação de obras e atividades. A análise de risco é considerada como a análise de eventos adversos ainda na fase de planejamento e programação de um projeto ou atividade. Esta análise enriquece o processo de tomada de decisão e fornece argumentos adicionais, que ajudam a tomada de decisões dentro de projetos e operações, usando a abordagem Multiaspectos. (DZIADOSZ; REJMENT, 2015).

Dentro do contexto regulatório da maioria dos países desenvolvidos, estabelecendo que quaisquer riscos potenciais para os seres humanos e o meio ambiente são aceitáveis requer um conjunto de avaliações de risco complexas a serem empreendidas (LEWIS et al., 2016).

Várias metodologias são utilizadas para se fazer uma análise de riscos de qualidade, dentre as quais, pode-se destacar:

- Metodologia baseada em evidências (e.g. análise de dados históricos).
- Abordagem sistemática de equipes, onde especialistas do tema abordado identificam os erros através de questionários estruturados.
- Técnicas de raciocínio indutivo (e.g. Análise Preliminar de Riscos (APR))

Mesmo com tantas metodologias, o objetivo de todas coincide em identificar todos riscos ao pessoal, equipamento ou meio ambiente resultantes de falhas que podem acidentalmente ocorrer dentro da operação de qualquer sistema analisado. buscando Recomendações sobre linhas de prevenção e possíveis correções.

O estudo de riscos, mostra-se de grande aplicabilidade às áreas de conhecimento e atividades interligadas ao meio marítimo, devido às implicações indesejáveis de acidentes marítimos, como colisões de navios e consequentes danos à propriedade marítima; a segurança e proteção de hidrovias, portos e outros ativos marítimos são de extrema importância para as autoridades e pesquisas. Nesse sentido, vários métodos são utilizados para saber diferentes ameaças e suas consequências pertinentes a indústria marítima, com o intuito de aprimorar a segurança nos mares e regiões costeiras. Destaca-se modelos estatísticos, de

simulação e de otimização (LIM et al., 2018).

A estimativa de frequência é uma etapa fundamental em qualquer avaliação de risco. No entanto, esta etapa apresenta deficiências ao lidar com acidentes raros e extremos, ou seja, eventos de baixa frequência/alta consequência. Nessa perspectiva, SIQUEIRA, MOURA e DUARTE (2022) propõem um método Bayesiano baseado na variabilidade populacional para analisar o derramamento de tóxicos que afetam ilhas oceânicas e estimar as distribuições das taxas de acidentes. Com base nisso, é possível mesclar dados esparsos sobre acidentes de vários bancos de dados com o julgamento de especialistas como capitães, pilotos e comandantes (SIQUEIRA; MOURA; DUARTE, 2022). Ademais, SIQUEIRA, MOURA e DUARTE (2023), aprimoraram uma Avaliação Quantitativa de Risco Ecológico conservadora baseada em modelagem populacional realizada no Arquipélago de Fernando de Noronha usando os seguintes modelos: (i) uma abordagem lagrangiana para realizar simulações de derramamento de óleo, e (ii) a frequência estimada de acidentes agregando bancos de dados e opiniões de especialistas por meio de um método bayesiano, para quantificar os riscos de derramamento no transporte marítimo de petróleo (SIQUEIRA; MOURA; DUARTE, 2023).

JIANG et al (2020) propõe uma abordagem de análise de risco baseada em rede bayesiana (BN) que é aplicada na rota principal da Rota Marítima da Seda (RMS) para analisar seus acidentes marítimos relevantes. Os dados de risco são coletados manualmente a partir dos relatórios do acidente ocorrido ao longo da RMS. Em seguida, os fatores de risco são identificados e os resultados do método de modelagem podem fornecer informações úteis para a prevenção de acidentes. Dados históricos coletados de relatórios de acidentes são usados para estimar as probabilidades prévias dos fatores de risco identificados que influenciam a ocorrência de acidentes marítimos (JIANG et al., 2020).

Outro estudo solicita uma abordagem quantitativa baseada em risco combinando conjuntos difusos de tipo 2 de intervalo (IT2FSs) com Análise de Modo de Falha e Efeitos (AMFE) para realizar uma análise de risco abrangente. Assim, modos de falha potenciais e seus efeitos são revelados pelo cálculo dos Números de Priorização de Risco (NPRs). Enquanto o método AMFE fornece uma ferramenta robusta de análise de risco com opções de controle relevantes, o IT2FSs lida com a ambiguidade e imprecisão da avaliação linguística dos tomadores de decisão por meio do AMFE. Portanto, a avaliação linguística do especialista na avaliação de riscos pode

ser transformada em informações úteis em termos de melhoria da segurança e prevenção de acidentes (AKYUZ; CELIK, 2018).

ZHANG et al (2016) desenvolveram um modelo de rede de crenças bayesiana para a previsão de consequências de acidentes no porto de Tianjin. O estudo começa com uma análise estatística de dados históricos de acidentes de seis anos. Em seguida, uma rede de crenças bayesiana é construída para expressar as dependências entre as variáveis indicadoras e as consequências do acidente. As estatísticas e o conhecimento especializado são sintetizados no modelo Bayesiano de rede de crenças para obter a distribuição de probabilidade das consequências (ZHANG et al., 2016).

Independentemente do local de estudo, como é o caso do Porto do Recife, é necessário ter conhecimento sobre sua infraestrutura e entender sua forma de operação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os elementos de pesquisa (e.g., livros, artigos e textos) significativos à elaboração do trabalho para serem utilizados como forma de orientação para análise e interpretação dos dados discutidos ao longo do trabalho. Este capítulo será dividido em quatro subseções, a primeira irá abordar sobre o procedimento de avaliação de riscos e conceitos pertinentes, a segunda trata das capacidades de manobras de embarcações, a terceira traz fenômenos Meteoceanográficos e suas peculiaridades, e finalmente a última subseção aborda conceitos de inquéritos administrativos sobre acidentes e fatos da navegação.

3.1 Avaliação de riscos

A área de risco tem duas tarefas principais: I) usar avaliações de risco e gerenciamento de risco para estudar e tratar o risco de atividades específicas (por exemplo, a operação de uma instalação offshore ou um investimento), e II) realizar pesquisa e desenvolvimento de riscos genéricos, relacionados a conceitos, teorias, estruturas, abordagens, princípios, métodos e modelos para entender, avaliar, caracterizar, comunicar e (em um sentido amplo) gerenciar o risco. A parte genérica II) fornece os conceitos e a avaliação e gestão ferramentas a utilizar na avaliação e gestão de problemas específicos da parte I). Simplificando, nós podemos dizer que o campo do risco é sobre entender o mundo (em relação ao risco) e como nós podemos e devemos compreender, avaliar e gerir este mundo (AVEN, 2016).

3.1.1 Identificação e consolidação de riscos

A identificação de riscos é o procedimento primário de avaliação de riscos. Apenas uma compreensão abrangente dos vários riscos envolvidos em determinadas situações pode prever os possíveis riscos envolvidos e, posteriormente, escolher a abordagem eficaz para o processamento de riscos. A identificação de riscos envolve a identificação das fontes de risco, eventos, suas causas e suas consequências potenciais. Ela, ainda, pode envolver dados históricos, análises teóricas, opiniões de pessoas informadas e especialistas, e as necessidades das partes interessadas (ABNT, 2009a).

A identificação é só uma das partes da Avaliação de riscos, que está ligada

constantemente com o gerenciamento de riscos e com a comunicação de riscos. É importante destacar, que as nomenclaturas podem sofrer variações, mas que em sua essência são iguais (MARINHO, 2019).

3.1.2 Estimativas de frequências e consequências

Na terminologia de gestão de riscos, a palavra "probabilidade" é utilizada para referir-se à chance de algo acontecer, não importando se de forma definida ou determinada ainda que objetiva ou subjetivamente, qualitativa ou quantitativamente, ou se descrita utilizando-se termos gerais ou matemáticos (e.g., probabilidade ou frequência durante um determinado período de tempo) (ABNT, 2009b).

Segundo a ABNT (2009b) Um evento pode levar a uma série de consequências. As consequências podem ser certas ou incertas, podem ter efeitos positivos ou negativos sobre os objetivos e as consequências iniciais podem desencadear reações em cadeia. Algumas técnicas comuns utilizadas para análise das consequências incluem:

- Rede Bayesiana (RB)
- Análise de dados históricos
- Análise de Árvores de Falhas (AAF)

3.1.3 Caracterização dos riscos

A metodologia de avaliação de riscos define a caracterização de riscos por níveis de significância (e.g. Crítico, alto, considerável e negligenciável), em que são levados em consideração parâmetros como probabilidade e consequência. Nesse caso, cada estudo define uma melhor forma de caracterização dos riscos dentro dos trabalhos e todos os termos e critérios devem ser claramente como base para registro da análise.

Essa etapa concluirá o entendimento do risco observado na avaliação de riscos, e tornará possível a definição de métodos de tomada de decisões sobre ações futuras realizado pela parte de gestão de riscos em maiores detalhes. A tomada de decisão com base na caracterização vai definir prioridades em caso de possíveis problemas.

3.2 Manobrabilidade

De acordo com a Organização Marítima Internacional (IMO), a capacidade de manobra dos navios é uma contribuição importante para a segurança da navegação, pois o desenvolvimento e implementação de normas para manobrabilidade de navios, especialmente para grandes navios melhora a segurança marítima e aumenta a proteção ambiental marinha (IMO, 2002).

A manobrabilidade dos navios é abordada pelos padrões da IMO, que avaliam a capacidade de giro da embarcação, capacidade de mudança de curso, capacidade do movimento de guinada, capacidade de manter o curso e habilidade de parada de emergência, que são avaliadas em manobras simples em águas calmas. Esses padrões têm sido frequentemente criticados por não abordarem as características de manobra do navio em baixa velocidade, em áreas restritas e em condições climáticas adversas (SPRENGER et al., 2017).

Segundo TANG et al. (2020) o efeito de águas rasas aumenta a resistência ao avanço do navio e diminui a capacidade de manobra. A capacidade de manobra do navio é reduzida à medida que a relação profundidade-calado diminuisse quando o navio navegasse em águas rasas. O movimento do navio é governado principalmente pelo empuxo da hélice e pela hidrodinâmica e forças de massa atuando no casco. Durante uma manobra, a força lateral devido ao leme é frequentemente pequena em comparação com as outras forças laterais (e.g., força do vento, forças das ondas) (IMO, 2002). Assim, ações externas como ventos e correntes causam efeitos relacionados principalmente à mudança de pressão, velocidade, forças e torques atuando no casco do navio (TANG et al., 2020).

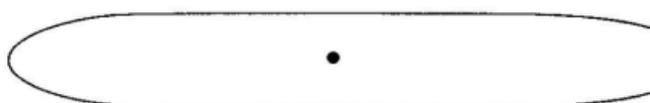
3.2.1 Ponto neutro

Nas manobras o comandante deve estar atento ao vento, tempo, corrente e mudança de maré, nas aproximações do cais. Águas rasas e interação devem ser levados em conta assim como a variedade e eficiência dos rebocadores e a habilidade do pessoal. Estes conceitos que envolvem a manobra são baseados em um número de influências móveis, algumas internas como os thrusters e a posição do ponto neutro e algumas externas como a interação do vento.

A primeira variável que o comandante deve se ocupar é o ponto neutro. Este ponto é o centro de giro do navio durante uma manobra (BARBER, 2005). Algumas situações serão analisadas a seguir:

- a) Navio parado: Ao assumir que o navio está em águas parelhas, em condições calmas e tranquilas, podemos considerar que nessa situação nenhuma força estará envolvida e o navio terá seu ponto neutro coincidindo com o seu centro de gravidade, aproximadamente a meio navio.

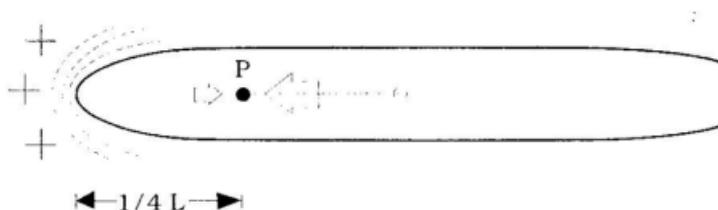
Figura 1 - Ponto neutro com navio parado.



Fonte: ROWE (2000).

- b) Navio com seguimento avante: Nesse caso, existem duas forças atuando no navio, elas devem se enfrentar causando um desequilíbrio no balanço, com isso, o ponto neutro é movido para vante, cerca de 25% do comprimento (L) do navio a partir da proa.

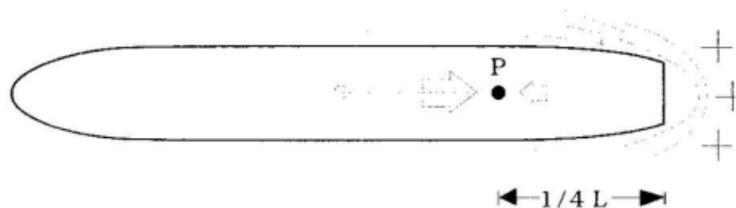
Figura 2 - Ponto neutro com seguimento avante.



Fonte: ROWE (2000).

- c) Navio com seguimento a ré: Ao contrário da situação anterior, o ponto neutro se move para ré, ficando cerca de 25% do comprimento do navio a partir da popa.

Figura 3 - Ponto neutro com seguimento a ré.

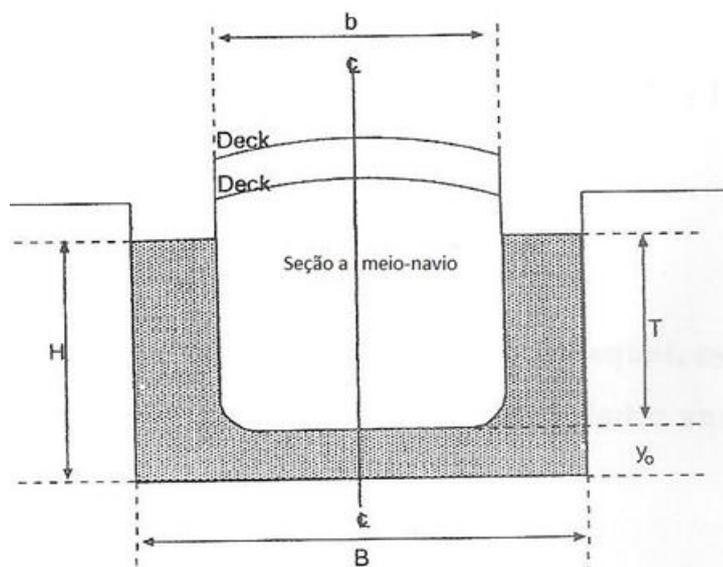


Fonte: ROWE (2000).

3.2.2 Fator de Bloqueio

O fator de bloqueio S , caracterizado como a relação entre a área da seção transversal média da embarcação ($b \times T$) e a seção transversal do canal ou rio ($B \times H$), e pode ser obtido através da relação definida na equação a seguir.

Figura 4 - Fator de Bloqueio



Fonte: Adaptado de PIANC (2014).

$$S = \frac{b * T}{B * H} \quad (1)$$

Onde:

S = Fator de bloqueio

b = Boca da embarcação

T= Calado

B= Largura do canal

H= Profundidade do canal

Esse fator é muito importante para análise de segurança de determinada embarcação trafegando em um canal portuário (PIANC, 2014).

3.3 Meteorologia e oceanografia

Esta Seção apresenta Estudo dos fenômenos atmosféricos e das suas leis, principalmente com a intenção de prever as variações do tempo. Além disso, apresenta os oceanos e zonas costeiras com a interpretação de seus fenômenos, de sua interação com os continentes e com a atmosfera, e os processos de atuação nestes ambientes.

3.3.1 Ventos

Segundo Lobo e Soares (2019) o vento é o deslocamento natural do ar em sua circulação livre e espontânea na atmosfera, em movimentos que variam em intensidade ou velocidade, e direção. Quando o vento é irregular, ele é denominado de rajada.

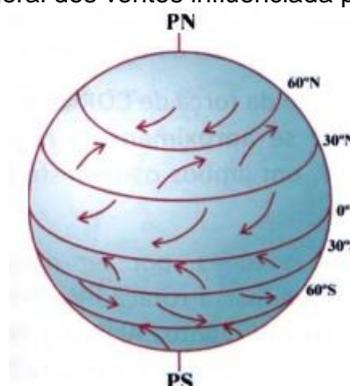
O movimento do ar atmosférico é um dos principais parâmetros meteorológicos na evolução do estado do tempo. Na atmosfera, ocorre a circulação direta que provoca a movimentação vertical do ar, a tendência natural é que o ar mais frio, que é mais denso, troque de posição com o ar mais quente, que é menos denso. Ocorre também o movimento horizontal, que se dá por meio do deslocamento dos centros de alta pressão e baixa pressão, que são responsáveis por mudanças no estado do tempo (LOBO; SOARES, 2019).

Para análise do movimento horizontal é recomendado que o navegante se utilize de cartas sinóticas de pressão à superfície atualizadas, que é uma espécie de mapa simplificado onde se identifica centros de alta e baixa pressão com setas indicando a direção do vento (AHRENS, 2014).

A interação do movimento vertical com o horizontal pode acarretar em zonas de convergência, em que ocorre a redução da velocidade de escoamento do ar e zonas de divergência, em que ocorre o aumento da velocidade de escoamento do ar. Essa circulação do ar à superfície (célula de Hadley) caracteriza os ventos alísios que

sopram de NE no Hemisfério Norte (HN) e de SE no Hemisfério Sul (HS). Como os ventos alísios do HN e HS sopram de direções distintas e convergentes, observa-se então, uma convergência à superfície na faixa equatorial da Terra, denominada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Devido ao efeito da força de Coriolis, a circulação geral resultante apresenta na região tropical ventos alísios de NE no HN e ventos alísios de SE no HS, na região de latitudes médias, ventos de oeste em ambos os hemisférios e nas altas latitudes norte e sul, ventos polares de leste, como pode ser observado na Figura 5 a seguir (LOBO; SOARES, 2019).

Figura 5 - Circulação geral dos ventos influenciada pela força de Coriolis



Fonte: Adaptado de Lobo e Soares (2019)

Os ventos são influenciados por forças, e se subdividem em:

- **Vento geostrófico:** É um vento horizontal de larga escala sem aceleração que sopra ao longo de um caminho reto, em altitudes acima da camada de atrito. Ele resulta da ação entre a força gradiente horizontal de pressão e a força devido ao efeito de Coriolis.
- **Vento gradiente:** É também um vento de larga escala horizontal, sem atrito e que sopra paralelo às isóbaras. Esse vento sopra ao longo de um caminho curvo, devido à força centrípeta e é resultado da interação das forças, gradiente horizontal de pressão, força do efeito de Coriolis e força centrípeta.
- **Vento de superfície:** É o vento resultante da interação das forças do Vento Gradiente com a força de atrito, devido ao efeito da superfície do solo ou do mar. O vento sopra paralelo às isóbaras, com uma pequena componente na direção do centro de baixa pressão. O fluxo do vento, ou seja, sua intensidade

ou velocidade é diretamente proporcional à intensidade do gradiente horizontal de pressão.

De acordo com Lobo e Soares (2019), se for identificado vento vindo do continente para o mar, o estado do mar será bom para a navegação costeira, mas se o vento estiver vindo do oceano para o continente, o estado do mar poderá ser severo e afetar bastante a navegação costeira.

Ao longo do ano observam-se, no Hemisfério Sul, ventos fortes em agosto e setembro no mar aberto e na costa do Brasil, nas Regiões Nordeste e Sul com direção do mar para a costa. Ventos vindos do mar geram vagas e marulhos nos oceanos, resultando nesses meses o pior período do estado do Mar no Oceano Atlântico Sul. A intensidade do vento pode ser observada pela escala de Beaufort de ventos e a direção, que é de onde vem o vento, depende da posição da embarcação em relação a circulação do ar. A escala de Beaufort pode ser observada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Escala de Beaufort.

Continua

Designação Beaufort	Velocidade em nós	Aspecto do mar
0 - Calmaria	< 1	Espelhado
1 - Bafagem	1 a 3	Mar encrespado em pequenas rugas com aparência de escamas, sem cristas
2 – Aragem	4 a 6	Ligeiras ondulações curtas, de 30 cm de altura com cristas vidradas, mas sem arrebenção
3 – Fraco	7 a 10	Grandes ondulações de 60 cm, com princípio de arrebenção. Alguns carneiros
4 – Moderado	11 a 16	Pequenas vagas, 1,5m, com frequentes carneiros
5 – Fresco	17 a 21	Vagas moderadas de forma longa e 2,4m
6 – Muito fresco	22 a 27	Grandes vagas de 3,6 m de altura. Muitas cristas brancas. Frequentes borrifos
7 – Forte	28 a 33	Mar grosso; vagas de 4,8m de altura. A espuma de arrebenção se dispõe em estrias, indicando a direção do vento. Muitos borrifos
8 – Muito forte	34 a 40	Vagalhões regulares de 5,5 a 7,5 com faixas espessas e espumas brancas e fanca arrebenção
9 – Duro	41 a 47	Vagalhões de 7m a 10m com faixas de espuma densa. O mar rola. A visibilidade começa a ser afetada

Fonte: Adaptado de DNH (1993).

Tabela 1 - Escala de Beaufort.

Conclusão

Designação Beaufort	Velocidade em nós	Aspecto do mar
10 – Muito duro	48 a 55	Grandes vagalhões de 9 a 12m. o vento arranca as faixas de espuma, arrebetando as vagas em cascata. Visibilidade reduzida. A superfície do mar é quase toda coberta de estrias brancas
11- Tempestuoso	56 a 63	Vagalhões excepcionalmente grande, até 16m. A visibilidade é afetada. Os navios de tamanho médio desaparecem no cavalo das vagas
12 – Furacão	Mais de 64	Mar branco de espumas; respingos saturam o ar. A visibilidade é seriamente afetada

Fonte: Adaptado de DNH (1993).

Quando se mede o vento a bordo de uma embarcação em movimento por anemômetro, não se obtém o vento verdadeiro, esse é um vento relativo, que é uma combinação do vento referente ao deslocamento da embarcação com o vento verdadeiro. O cálculo do vento verdadeiro se dá através da relação mostrada na figura 6 a seguir (LOBO; SOARES, 2019).

Figura 6 -Triângulo do vento verdadeiro.



Fonte: Adaptado de Lobo e Soares (2019).

3.3.2 Ondas

A principal característica, no processo de formação de ondas, é a transferência de energia por meio dos ventos, da atmosfera para o oceano e isso ocorre por meio da força de atrito. As ondas são uma forma de energia dividida em potencial e cinética de módulos iguais. A energia potencial corresponde à separação vertical das partículas em relação ao nível médio, ou seja, a subida e a descida do nível do mar no seu movimento ondulatório (LOBO; SOARES, 2019).

Segundo JOURNÉE; MASSIE (2001), a energia total de onda é proporcional a amplitude da onda ao quadrado e é definida como:

$$E = \left(\frac{1}{2}\right) (\rho g \zeta^2) \quad (2)$$

Onde:

ρ = massa específica do fluido

g = aceleração da gravidade

ζ = Amplitude da onda

Segundo Lobo e Soares (2019), as ondas podem ser classificadas quanto:

- Ao tipo de movimento ondulatório - tem-se ondas progressivas (swell) que se propagam em uma determinada direção e os efeitos são notados longe do local de origem e ondas locais (vagas) que se formam próximas ao litoral e ali produzem seus efeitos.
- À influência do fundo – Ondas de águas profundas, quando a profundidade é maior que a metade do comprimento de onda ($L/2$) e ondas de águas rasas quando a profundidade é menor que a metade do comprimento da onda ($L/2$);
- Ao tipo de mar que produzem;
- À altura dos marulhos - pequeno ($H < 2$ metros), moderado ($2 < H < 4$ metros) e grande ($H > 4$ metros);
- Ao comprimento da onda - curta ($L < 100$ metros), regular ($100 < L < 200$ metros) e larga ($L > 200$ metros);
- À declividade – Ondas pequenas ($H/L < 1/100$); moderada ($1/100 < H/L < 1/25$), grande ($1/25 < H/L < 1/7$) e arrebentação ($H/L > 1/7$);
- À altura das ondas – que se baseiam na escala de estado de mar de Beaufort

Segundo Lobo e Soares (2019) os parâmetros das ondas, como altura, velocidade de propagação, período e comprimento da onda, dentro das áreas geradoras de ondas, dependem dos seguintes fatores favoráveis:

- 1) da intensidade e direção do vento;
- 2) da pista, que é a extensão da área geradora na direção do vento;
- 3) da persistência, que é o tempo durante o qual o vento se mantém na mesma direção e intensidade.

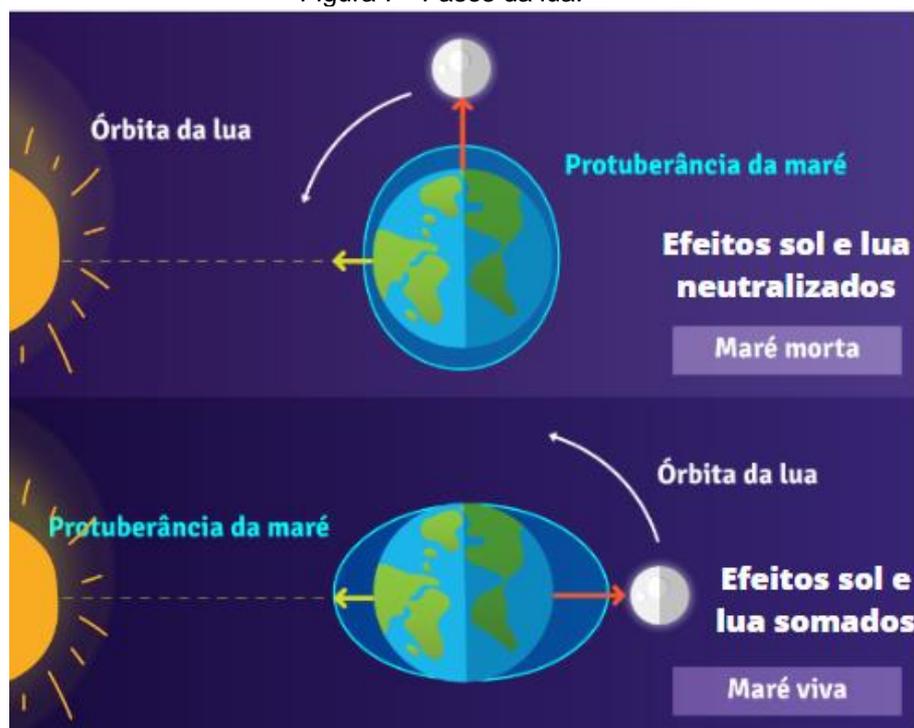
3.3.3 Marés

De acordo com Lobo e Soares (2019) as marés são os movimentos regulares de subida e descida do nível do mar que se repetem normalmente na costa do Norte e Nordeste do Brasil duas vezes por dia (marés semidiurnas). As oscilações das marés se devem à atração da lua durante o seu movimento ao redor da terra e em menor medida a atração do sol e também à força centrífuga do sistema lua-terra.

Uma característica marcante das marés atmosféricas é sua variabilidade em amplitude e fase em uma ampla gama de escalas de tempo, variando de flutuações diárias a variabilidade de longo prazo. (DEMPSEY et al., 2021). As observações das marés revelaram que as dominantes no mundo são as semidiurnas de 12 h e maré diurna de 24 h, mas existem as semidiurnas mistas (i.e., duas marés altas e as duas marés baixas diferem em altura) em algumas regiões (e.g., costa oeste da América do Norte) (COLLEGE, 2023).

O sistema Terra-Lua-Sol está em alinhamento nas Luas Nova e Cheia, ocorrendo então maré viva ou maré de sizígia, enquanto nos quartos crescente e minguante está em quadratura, ocorrendo então maré morta ou maré de quadratura, como pode ser observado na Figura 7. Observa-se que na quadratura a intensidade da maré é menor porque as forças de atração do sol e da lua se aplicam em direções defasadas de 90°, ao passo que nas sizíguas as forças de atração do sol e da lua e a força centrífuga do sistema se aplicam na mesma direção, resultando um efeito maior na oscilação do nível do mar por ocasião da Preamar (i.e. o momento em que a maré atinge o seu limite máximo; maré cheia) e Baixa-mar (i.e. Nível mais baixo que as águas oceânicas podem chegar), como pode ser visto na Figura 7. Assim, as marés devem ser consideradas pelos navegantes que trafegam em áreas costeiras, pois em águas rasas as marés têm maiores efeitos, ao passo que podem aumentar ou diminuir a profundidade de navegação e isso interfere diretamente na manobrabilidade da embarcação. A situação que mais preocupa, principalmente em portos, é a maré de sizígia em que uma Baixa mar pode ser muito abaixo da média, assim como uma Preamar pode ser muito alta (AROUCHA et al., 2018; LOBO; SOARES, 2019).

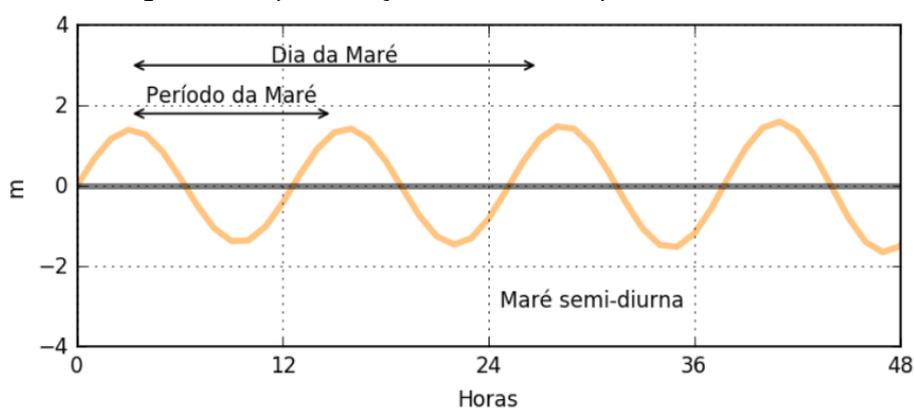
Figura 7 - Fases da lua.



Fonte: Adaptado de GFCGlobal (2019).

As marés tipo semidiurnas são as encontradas nas costas do Nordeste e Norte do Brasil e podem ser representadas por uma curva sinusoidal, como pode ser observado na Figura 8. Então para esse trecho da costa brasileira, pode-se aplicar a curva sinusoidal para determinar por meio de interpolação, a altura da maré em um instante desejado (LOBO; SOARES, 2019).

Figura 8 - Representação de marés do tipo semidiurnas.



Fonte: O Autor (2023)

3.3.4 Correntes

Corrente marítima é o movimento contínuo das águas do mar com determinada direção e velocidade. As principais causas produtoras das correntes são diferença de densidade das águas do mar, marés, ondas e ventos (circulação termohalina). Tais consequências ocorrem em razão da diferença de temperaturas e em menor influência de salinidade da água. A circulação termohalina é predominante no oceano profundo e não transporta somente água, mas também calor, sal, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e outras propriedades, na busca do equilíbrio térmico do planeta (GARRISON, 2010). Na superfície e nas camadas superiores do mar, encontramos correntes quentes, menos densas, enquanto nas águas profundas encontramos correntes frias, mais densas. A rotação da terra tem influência em suas trajetórias, desviando-as para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul, devido ao efeito da força de Coriolis (LOBO; SOARES, 2019).

Segundo Lobo e Soares (2019), na Costa do Brasil observam-se correntes quentes mais superficiais e frias mais profundas. A corrente oceânica sul equatorial se aproxima da costa brasileira e se subdivide em sul, central e norte. O ramo sul se aproxima da região Nordeste e se bifurca formando a corrente do Brasil para o Sul e a subcorrente norte do Brasil para o Norte. Ambas são correntes superficiais quentes e se deslocam próximas à costa, sendo frequentemente observadas pelos navegantes e podendo ser observadas nas linhas vermelhas representadas na Figura 9. Na costa sul e sudeste do Brasil, observa-se uma ressurgência costeira sazonal na primavera e no verão, em que há em alguns pontos o surgimento de água fria e profunda proveniente da corrente das Malvinas, que chega até a região de Cabo Frio, devido a morfologia e direção do vento (GARRISON, 2010).

Figura 9 - Correntes oceânicas do Atlântico.



Fonte: Adaptado de GARRISON (2010).

As correntes oceânicas afetam a navegação, devendo o navegante consultar a publicação Cartas Piloto e observar os dados de velocidade e direção da corrente, na região em questão. Os efeitos das correntes, assim como o efeito dos ventos aumentarão proporcionalmente ao quadrado de sua velocidade, e a sua densidade quanto à pressão dinâmica de acordo com o Teorema de Bernoulli na equação abaixo. Assim, efeito das correntes resultará em um valor de aproximadamente 30 vezes maior do que um vento na mesma velocidade e na mesma área de efeito, devido à sua densidade (MARINHO, 2019).

$$P = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (3)$$

Onde:

P= Pressão Dinâmica

ρ = Massa específica do fluido

V= Velocidade do fluido

g= Aceleração da gravidade

Segundo Lobo e Soares (2019) as correntes podem ser influenciadas por diversos fatores, entre as quais, pode-se destacar:

- Correntes induzidas pelo vento

A ação dos ventos sobre a superfície do mar, devido ao atrito, produz ondas e ocasiona um pequeno arrasto superficial denominado de corrente de deriva, que se deslocam com uma defasagem de 90 graus em relação a direção do vento, devido ao atrito das camadas de água em profundidades distintas. Esse fato é comumente observado na costa do Brasil, principalmente, nas regiões leste e nordeste, e merece mais atenção dos navegantes, principalmente na navegação próxima à costa.

- Correntes de Retorno

As correntes de retorno são provenientes da batimetria do local, como bancos de areia ou quebra mar. As correntes de retorno inicialmente sempre fluem paralela ao litoral, ao convergir e ganhar força para enfrentar a arrebentação, fluem na direção do alto mar, influenciando a embarcação, na estreita faixa marítima de sua atuação, com afastamento da costa.

- Correntes de Maré

A oscilação periódica e regular das marés resulta em deslocamento horizontal de massa d'água, movimento esse caracterizado como correntes de maré. As correntes de maré, embora ocorram em todo o oceano, podem ser observadas com mais facilidade na linha da costa. As correntes produzidas pela maré são de especial interesse dos navegantes em baías, enseadas e nas proximidades dos portos. As correntes de maré são influenciadas pela geografia da região, resultando um comportamento diferenciado da sua direção e velocidade ao longo do canal de acesso ao porto e nos demais pontos da baía ou enseada.

A maior vulnerabilidade das embarcações às correntes ocorre nas proximidades do porto, quando as águas ficam mais rasas e as correntes se tornam mais fortes. Várias correntes (e.g. induzidas pelo vento, correntes de maré e correntes rasas) agindo juntas em águas rasas, resulta em corrente predominante menos previsível e mais heterogênea (AROUCHA et al., 2018).

3.4 Regulamentação e legislação sobre acidentes e fatos de navegação

A Diretoria de Portos e costas (DPC) (2003) estabelece normas para instauração de Inquéritos Administrativos sobre acidentes e Fatos de Navegação (IAFNs). O objetivo é formalizar e padronizar a investigação de acidentes desde a sua ocorrência até sua tramitação ao Tribunal Marítimo.

A definição de acidentes estabelecidas pela DPC pode ser observada na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Acidentes de Navegação

Continua

Acidente	Definição
Naufrágio	Afundamento total ou parcial da embarcação por perda de flutuabilidade, decorrente do embarque de água em seus espaços internos devido a adernamento, emborcamento ou alagamento
Encalhe	Contato das chamadas obras vivas da embarcação com o fundo, provocando resistências externas que dificultam ou impedem a movimentação da embarcação
Colisão	Choque mecânico da embarcação e/ou seus apêndices e acessórios, contra qualquer objeto que não seja outra embarcação ou, ainda, contra pessoa (e.g., banhista, mergulhador). Assim, haverá colisão se a embarcação se chocar com um corpo fixo ou flutuante insusceptível de navegar ou manobrar (e.g., recife, cais, boia, cabo submarino)
Abalroação ou abalroamento	Choque mecânico entre embarcações ou seus pertences e acessórios

Fonte: Adaptado de NORMAM-09/DPC (2003).

Tabela 2 - Acidentes de Navegação

Conclusão

Acidente	Definição
Água aberta	Ocorrência de abertura nas obras vivas que permita o ingresso descontrolado de água nos espaços internos, ou a descarga de líquidos dos tanques, por rombo no chapeamento, falhas no calafeto, ou nas costuras, por válvulas de fundo abertas ou mal vedadas, por defeitos nos engaxamentos dos eixos ou qualquer falha ou avaria que comprometa a estanqueidade da embarcação
Explosão	Combustão brusca provocando a deflagração de ondas de pressão de grande intensidade
Incêndio	Destruição provocada pela ação do fogo por: combustão dos materiais de bordo, ou sobre as águas, em decorrência de derramamento de combustível ou inflamável, curto-circuito elétrico, guarda ou manuseio incorretos de material inflamável ou explosivo
Varação	Ato deliberado de fazer encalhar ou por em seco a embarcação, para evitar que evento mais danoso sobrevenha
Arribada	Fazer entrar a embarcação num porto ou lugar não previsto para a presente travessia, isto é, que não seja o porto ou local de escala programada ou de destino
Alijamento	É o ato deliberado de lançar na água, no todo ou em parte, carga ou outros bens existentes a bordo, com a finalidade de salvar a embarcação, parte da carga ou outros bens.

Fonte: Adaptado de NORMAM-09/DPC (2003).

Um acidente marítimo pode desencadear uma série de consequências que podem ser classificadas com impactos em pessoas, embarcações, meio ambiente, e locais envolvidos, como pode ser observado a seguir (WHITNEY G.G.; YÜKSEL BOZKURT; WHITNEY G.G., 2008):

- Morte, ou lesões graves para uma pessoa
- A perda de pessoas de uma embarcação

- A perda, perda presumida ou abandono de uma embarcação
- Danos materiais a embarcação
- Encalhe ou incapacitação de um navio, ou envolvimento de um navio em uma colisão
- Dano material à infraestrutura marítima estranha a um navio, que possa colocar seriamente em perigo a segurança do navio, de um outro navio ou de uma pessoa
- Danos graves ao meio ambiente, ou uma possibilidade de danos graves ao meio ambiente, provocados pelos danos causados a um navio ou navios

Ademais, a DPC (2011) define Impraticabilidade como a situação que se configura quando as condições meteorológicas, o estado mar, acidentes ou fatos da navegação ou deficiências técnicas implicam em inaceitável risco à segurança da navegação, desaconselhando a realização de fainas de praticagem, o tráfego de embarcações e/ou o embarque/desembarque do Prático. A impraticabilidade pode ser total (i.e., quando em qualquer faina de praticagem) ou parcial (i.e., trecho específico, embarcação específica, determinada manobra e/ou navegação de praticagem). As Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos (NPCP) sugerem conter procedimentos específicos de coordenação das ações entre a Capitania dos Portos, administrações dos portos e dos terminais e as Entidades de Praticagem, para declaração de impraticabilidade da Zona Portuária (ZP). Sugere-se, ainda, constar nesses procedimentos, pelo menos, os seguintes aspectos (DPC, 2011):

- Definição dos parâmetros para declaração de impraticabilidade da ZP;
- Meios de comunicação a serem utilizados para informar a impraticabilidade da ZP às embarcações, às administrações dos portos e dos terminais, às agências de navegação, aos Armadores e demais integrantes da Comunidade Marítima e interessados

4 METODOLOGIA

A metodologia aperfeiçoada neste trabalho é baseada em uma metodologia de Avaliação de Riscos Marítimos Marítimo (ARM)(MARINHO, 2019), com algumas melhorias que serão comparadas e discutidas posteriormente. Ambas as metodologias derivam de uma outra que foca em riscos ecológicos e microbianos, com diversas aplicações na literatura (AROUCHA et al., 2018; DUARTE; DROGUETT; MOURA, 2018; DUARTE et al., 2020). Para o contexto específico de riscos marítimos, foram feitas mudanças apropriadas que serão apresentadas a seguir.

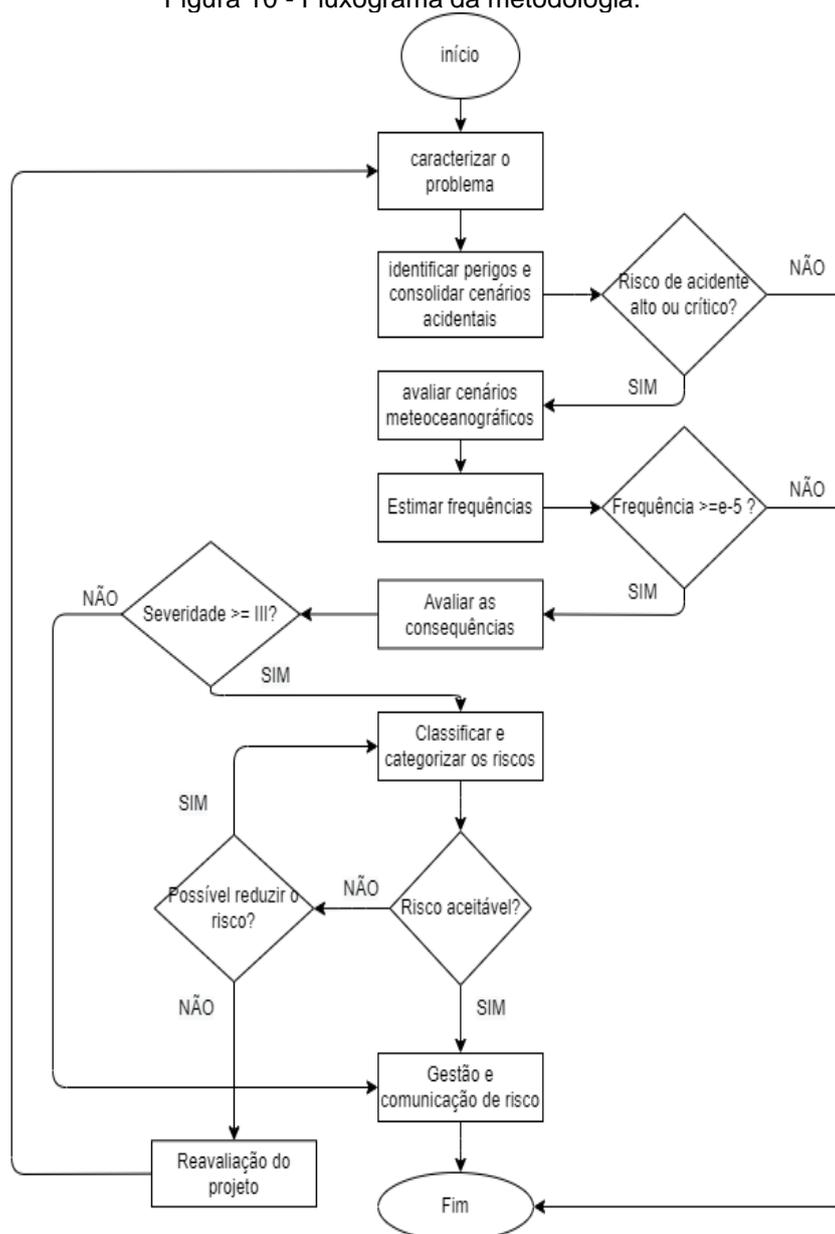
A identificação de perigos é uma etapa qualitativa da análise de risco, e tem como objetivo a identificação de todos os eventos iniciadores de incidentes, com consolidação dos cenários acidentais e uma hierarquização dos riscos associados (DUARTE, 2009). A metodologia considera o risco como uma combinação entre frequência e consequência. Para esse trabalho, a frequência se caracteriza como a probabilidade de ocorrência de um possível acidente marítimo em um determinado cenário MO. A consequência é caracterizada pelos danos causados ao meio ambiente (e.g., plantas e animais) e à propriedade, e a pessoas (e.g., mortes e ferimentos). Cada combinação de acidentes com influência de cenários MOs tende a ter um impacto diferente no meio-ambiente, ativos físicos e nas pessoas, portanto, isso deve ser levado em consideração.

As etapas da metodologia são:

1. Caracterização do problema
2. Identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais
3. Avaliação dos cenários MOs
4. Estimativa das frequências
5. Avaliação das consequências
6. Classificação e categorização do risco

Os passos da metodologia são ilustrados na Figura 10 em forma de fluxograma. As subseções a seguir, detalham cada uma destas etapas.

Figura 10 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: O Autor (2023)

4.1 Etapa 1: Caracterização do problema

Esta etapa é fundamental para a aplicação da metodologia, pois cada área apresenta suas peculiaridades que vão influenciar na realização das etapas seguintes. Faz-se necessário definir aspectos geográficos da estrutura do porto e da região de interesse, bem como seus limites operacionais (e.g., comprimento total do canal de acesso, profundidades); tipo de embarcação que será avaliada durante a metodologia, com suas dimensões principais (i.e., comprimento total (LOA), Boca (B), Pontal (D), Calado (T), Deslocamento (Δ) e área vélica (i.e., área da embarcação que está exposta ao vento)), bem como as características propulsivas (e.g., número de

propulsores, se apresenta bow/stern thrusters ou azipod); trajetória executada pela embarcação escolhida no referido porto; e caracterização do clima no porto (e.g., índice pluviométrico, e predominância de ventos e marés).

Esta etapa tem como recursos de entrada (inputs), documentos como, cartas náuticas, piloto e sinóticas, arranjo geral da embarcação e plano mestre do porto.

4.2 Etapa 2: Identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais

Nesta etapa, tem-se como responsabilidade identificar cenários acidentais e consolidar cada cenário qualitativamente com características tais como: origem do acidente em potencial, frequência de ocorrência, grau de severidade dos impactos em pessoas, embarcações, portos e meio ambiente. Durante essa etapa o principal objetivo é que seja realizada uma identificação de caráter abrangente, pois um risco que não for considerado nessa etapa não será incluído no estudo posteriormente. As categorias de acidentes da avaliação (e.g., abalroamento, naufrágio, colisão) devem estar de acordo com o Levantamento de Acidentes e Fatos de Navegação (IAFN) publicado pela Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil (DPC, 2003). Para realizar esta etapa, aplica-se a técnica de Análise Preliminar de Riscos (APR) (MARTINS; NATACCI, 2009) que visa a identificação dos principais perigos e eventos acidentais, suas possíveis causas e consequências, avaliando qualitativamente seus riscos, considerando as salvaguardas existentes. Para mais detalhes sobre APR, ver (CETESB, 2011).

Após identificar os perigos de cada etapa da trajetória (por exemplo, canal de acesso, proximidades do porto), deve-se estabelecer, qualitativamente, severidade e frequência de acidente para cada cenário estabelecido. As categorias de severidade visam permitir uma avaliação da magnitude das consequências dos efeitos físicos de interesse. A escala de gravidade varia de forma crescente da classe I (i.e., sem lesões, ou caso de primeiros socorros a tripulantes; Danos leves a estrutura do porto ou a embarcações; danos insignificantes ao meio ambiente) a V (i.e., múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros para da tripulação; danos catastróficos a estrutura do porto ou a embarcações; danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outras áreas do meio ambiente), como pode ser observado na Tabela 3. Para mais detalhes sobre classes de severidade, ver referências (MARINHO, 2019; PETROBRAS, 2018).

Tabela 3 - Categorias de Severidade.

Categorias de Severidade	Descrição/Características		
	Segurança Pessoal	Propriedade	Meio Ambiente
I	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a estrutura do porto ou embarcações sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes
II	Lesões leves	Danos leves a estrutura do porto ou de embarcações	Danos leves
III	Lesões graves intramuros ou Lesões leves extramuros	Danos moderados a estrutura do porto ou de embarcações	Danos moderados
IV	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros	Danos severos a estrutura do porto ou de embarcações, podendo levar a perda de embarcações	Danos severos com efeito localizado
V	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros	Danos catastróficos, podendo levar à paralisação indefinida de atividades do porto	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais

Fonte: Adaptado de Petrobras (2018).

As categorias de frequência visam permitir uma avaliação da frequência do cenário acidental incondicional (CAi) (i.e., Cenário ainda não considera as condições Meteoceanográficas), a qual deve ser estimada considerando o cenário atual do porto. A escala de frequência varia de A (i.e., conceitualmente possível, mas extremamente

improvável na vida útil do porto) a E (i.e., esperado de ocorrer muitas vezes durante a vida útil do porto), como pode ser observado na Tabela 4. Para mais detalhes sobre classes de frequência, ver referências (MARINHO, 2019; PETROBRAS, 2018).

Tabela 4 - Frequência anual estimada.

Categorias de frequência	Descrição
A	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil do porto
B	Não esperado ocorre durante a vida útil do porto, apesar de haver referências históricas.
C	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil do porto.
D	Esperado de ocorrer mais de uma vez durante a vida útil do porto.
E	Esperado de ocorrer muitas vezes durante a vida útil do porto.

Fonte: Adaptado de Petrobras (2018).

Assim, para manter critérios mais realistas e que possam trazer cenários de riscos reais ao estudo, nessa etapa, os riscos identificados serão tratados diretamente por meio de sua classificação, resultado de uma combinação feita através de uma matriz (i.e., resultado da combinação da categoria de severidade com a categoria de frequência). Os cenários acidentais incondicionais (CAi) classificados como alto (e.g., frequência C e severidade IV) ou crítico (e.g., frequência E e severidade IV) recebem um estudo mais específico nas próximas etapas da metodologia. A matriz de classificação dos riscos pode ser observada na Tabela 5 a seguir, em que as classificações se dividem em Risco Negligenciável (NE), Considerável (CO), Alto (AL) e Crítico (CR).

Tabela 5 - Matriz classificação de risco.

Severidade	Categoria de frequência				
	A	B	C	D	E
V	CO	AL	CR	CR	CR
IV	NE	CO	AL	CR	CR
III	NE	NE	CO	AL	CR
II	NE	NE	NE	CO	AL
I	NE	NE	NE	NE	CO

Fonte: O Autor (2023).

4.3 Etapa 3: Avaliação dos cenários Meteoclimatológicos

Uma forma de observar os fatores Meteoclimatológicos é por meio da ocorrência conjunta de vários processos MOs distintos. Neste estudo, considera-se onda, maré, vento e corrente (MAZAS; HAMM, 2017). Dessa forma, nessa etapa é feita uma avaliação preliminar dos efeitos MOs com o intuito de observar os efeitos relevantes desses fatores que serão considerados nos possíveis cenários. Por questões de confiabilidade, veracidade e maior realidade, os dados MOs utilizados nesta etapa devem ser obtidos preferencialmente por fontes na seguinte ordem decrescente de prioridade: (1) comunicação pessoal com práticos do porto, (2) Base de dados local (3) dados de reanálise (e.g., dados do Centro Europeu para Previsões Meteorológicas de Médio Alcance (ECMWF, 2022), (4) Atlas cartas Piloto (DHN, 1993). Assim, busca-se informações mais realistas, verdadeiras e atualizadas.

Esta metodologia utiliza como referência, para avaliar a atuação dos fatores MOs citados anteriormente, os parâmetros a seguir:

- Marés: nível do mar (metros).
- Ventos: direção (graus) e intensidade (nós).
- Correntes: direção (graus) e intensidade (nós).
- Ondas: altura significativa (metros), período de pico (segundos) e direção média (graus).

Após a avaliação dos critérios MOs, deve-se reunir esses parâmetros para

formação de possíveis Cenários MOs (CMs) (i.e., cenários resultantes de uma combinação de fatores MOs que tenham histórico de ocorrência de no mínimo uma vez). Essa análise é mais geral, sem necessidade de coletar e sumarizar dados MOs, pois utilizam-se apenas as opiniões de práticos e cartas sinóticas. De forma que seja possível descartar variáveis MOs que sejam irrelevantes, e assim evitar desperdício de esforços (i.e., processar dados extensos de variáveis pouco relevantes). É importante considerar, não apenas os valores médios, mas os valores críticos (i.e., que fogem muito da média) das condições MOs, pois são justamente estas condições que aumentam as chances de um acidente marítimo.

As subseções a seguir apresentam critérios para decidir, se as respectivas variáveis MOs são relevantes ou não para serem incluídas numa análise de risco específica de um porto. Ao final desta etapa, tem-se um conjunto inicial de CMs, que compreendem a combinação dos fatores MOs relevantes para Avaliação de Riscos Marítimos (ARM), e que serão validados ao se trabalhar com as frequências de fatores MOs na Etapa 4.

4.3.1 Marés

As marés têm sua importância em decorrência da razão entre a Folga Abaixo da Quilha (FAQ) (i.e., a distância do ponto mais baixo da embarcação ao fundo do mar) e o calado de um navio. Essa relação é bastante utilizada para avaliar a segurança em áreas de navegação, que está diretamente relacionado à altura da maré (MARINHO, 2019).

$$FAQ = h + a - T \quad (4)$$

Onde h é a profundidade mais baixa na área de manobra; a é a maré astronômica prevista mais baixa; e T é o calado médio sob uma determinada condição de carga (e.g., carregado ou lastro). Isso resulta em FAQ na água mais rasa possível.

$$Se \frac{FAQ}{T} \leq 0,2, \text{ então maré é considerada} \quad (5)$$

Caso a relação entre FAQ e T seja maior que 0,2 em águas rasas, o FAQ é aceitável para qualquer outra altura de maré e a maré passa a ser desconsiderada da análise do trabalho (DUARTE et al., 2016). Além disso, em regra geral, o FAQ aceitável deve apresentar margem de segurança, em que a profundidade do local seja

maior em 20% do que o calado do navio ou FAQ apresente valor maior que 2 metros (MIGUENS, 2018; SWIFT, 1993).

4.3.2 Ventos

Como decisão da relevância do parâmetro vento na análise de riscos, aplica-se uma regra bastante utilizada por pilotos e especialistas como forma de análise inicial, (MACELREVEY; MACELREVEY, 2018), em que se observa a influência da força do vento na embarcação de estudo, de acordo com a condição: Se $V_V \geq C * V_{MNV}$, então considera-se vento.

Onde V_V a velocidade máxima observada do vento; V_{MNV} é a velocidade mínima estimada do navio em uma seção específica da navegação no porto; C é uma constante que assume valores de 5 para petroleiros, 3 para navios de passageiros, gaseiros e porta-contêineres, e algum valor entre 3 e 5 para outros tipos de navios (e.g., navios graneleiros). Tais valores são em decorrência do conhecimento empírico de que embarcações em baixas velocidades vão sentir o efeito do vento com mais intensidade ao realizar manobras. Para atracação e desatracação, considera-se $V_{MNV} = 0$ nós, enquanto para navegação nos canais $V_{MNV} = 3$ nós. Foi adotado esse valor, pois ao navegar em águas rasas ($FAQ < 1,5$) a embarcação apresenta valor médio de velocidade de 3 nós (MACELREVEY; MACELREVEY, 2018).

4.3.3 Correntes

De acordo com o teorema de Bernoulli, a pressão dinâmica dos ventos e correntes é diretamente proporcional ao quadrado da velocidade, como pode ser observado na equação a seguir.

$$P = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (6)$$

Dessa forma, em decorrência da sua densidade (i.e., densidade da água do mar é $1030 \frac{kg}{m^3}$), uma corrente tem um efeito trinta vezes maior que um vento (i.e., densidade do vento $1,2754 \frac{kg}{m^3}$) na mesma velocidade, para uma mesma área de atuação. Nesse sentido, o critério utilizado para correntes é análogo ao critério dos ventos.

$$\text{Se } V_{CR} \geq C \frac{V_{MNV}}{30} \text{ então considera corrente} \quad (7)$$

Em que os parâmetros são os mesmos utilizados para critérios de vento, exceto V_{CR} , que representa a velocidade máxima de corrente observada nos dados históricos.

4.3.4 Ondas

A avaliação das ondas se baseia nas alturas significativa máximas de ondas pois ondas de grandes alturas podem exercer forças que podem comprometer a operação da embarcação, porque podem causar forças incontrolláveis. Em estudos sobre ondas, especifica-se limite superior a 1,5 metros para altura significativa considerável, por levar em conta a operabilidade de rebocadores portuários (HENSEN, 2003). Isso pode ser observado pela equação a seguir.

$$\text{Se } HS \geq 1,5 \text{ m, então onda é considerada} \quad (8)$$

Onde HS é a altura significativa da onda

4.4 Etapa 4: Estimativa de frequências

Para se estimar as frequências, faz-se a combinação de dois fatores, a frequência de ocorrência de um CM que foi definido na Etapa 3 e a frequência anual da ocorrência de determinado acidente (e.g., encalhe, colisão, queda de equipamento). Essa pode ser estimada por dados históricos (por exemplo, IMO, IAFN, 2007b, 2008b, 2008c), ou por meio de inferência estatística (MARINHO, 2019). Técnicas de análise de confiabilidade podem ser também aplicadas pois podem fornecer informações mais coerentes com o local de estudo, pode-se destacar a Rede Bayesiana (BN) para uma análise dinâmica, árvore de falhas, árvore de eventos, confiabilidade, diagrama de blocos, gráficos de confiabilidade e a cadeia de Markov. Pode-se, ainda, utilizar o risco como uma medida da frequência de ocorrência de um evento indesejável e a magnitude dos efeitos adversos sobre o tempo, em que o risco causado é quantificado não apenas por eventos comuns, mas também por situações com baixa frequência de ocorrência de consequências catastróficas (DUARTE et al., 2020). A estimativa de frequências se tornaria mais robusta ao utilizar essas informações com a integração dos simuladores de manuseio e a opinião de especialistas com experiência na área de estudo (BHANDARI et al., 2015; MARINHO, 2019).

Os dados MOs devem ser coletados preferencialmente a partir de estações *in situ* em decorrência do seu maior grau de confiabilidade em relação ao manuseio de dados. Outra forma é por meio da reanálise meteorológica, que está entre os conjuntos de dados mais usados no estudo do tempo e do clima. Eles fornecem informações abrangentes das condições em intervalos regulares durante longos períodos de tempo, que podem ser anos ou décadas (PARKER, 2016). Assim é definida a estimativa de frequência de cada CM definido na etapa 3.

As estimativas de frequência podem ser exemplificadas pela Tabela 6. A coluna de frequência de CM tem duas divisões, ou seja, ela pode ocorrer de 0 a 50% ou de 50% a 100% do período do ano. A frequência de acidentes representa a probabilidade incondicional de ocorrência de um acidente e se divide em 5 classes, $P(CA_i)$. Ao se combinar esses fatores, de acordo com a Tabela 6, gera-se a frequência anual estimada de um cenário acidental em um determinado cenário resultante de uma combinação de fatores MOs. Cenários resultantes (CA_{ij}) com frequência E-05 ou superior seguirão para as próximas etapas da metodologia, enquanto CA_{ij} com frequências mais baixas são considerados riscos negligenciáveis e, portanto, podem prosseguir diretamente para a comunicação e gerenciamento de riscos.

Tabela 6 - Categorias de frequência.

Frequência Meteoceanográfica	Frequências de acidentes/ano				
	E-05	E-04	E-03	E-02	E-01
0-50%	E-06	E-05	E-04	E-03	E-02
50-100%	E-05	E-04	E-03	E-02	E-01

Fonte: O Autor (2023).

Os critérios de frequência E-05 são considerados como limites, em decorrência de estudos de riscos marítimos relacionados ao mau tempo (MARINHO, 2019), análise quantitativa da contribuição humana em acidentes, usando metodologia (MARTINS; MATURANA, 2010) e dados históricos relatados por décadas para vários tipos de navios (GUIDELINES et al., 2018) que utilizaram esse valor base e suas aproximações. Dessa forma, ao final desta etapa, deve-se ter estimado a frequência resultante para todos os cenários relevantes.

4.5 Etapa 5: Avaliação das consequências dos riscos

A ARM refina a categorização de severidade ambiental dos CAs considerando o respectivo CM. Isso se torna necessário, pois nesse momento a análise é feita após obter os dados de frequência e as forças que os Cenários MOs podem exercer na embarcação, ao contrário da Etapa 2 que era feita uma análise mais subjetiva. Dessa forma, observam-se as consequências de cada CA.

Cenários acidentais que causam muitos prejuízos para a embarcação devem ser avaliados com maior detalhamento, em decorrência do alto prejuízo financeiro e ambiental que podem causar, e de possíveis lesões ou mortes aos tripulantes. Se o avaliador julgar necessário uma atualização das consequências definidas na Etapa 2 para determinado CA, pode-se fazer com a ajuda dos especialistas da região. Caso contrário, mantém-se a classificação realizada anteriormente

Portanto, ao fim desta etapa, o avaliador deve ter a categorização de severidade de cada CA perigoso. As categorias de severidade são mantidas de acordo com a Tabela 3, e apenas os CAs com classificação de severidade maior ou igual a III, passam para última etapa dessa avaliação.

4.6 Etapa 6: Avaliação dos riscos

A última etapa da ARM tem como objetivo, categorizar, classificar e priorizar os riscos de cada CA que chegou até essa etapa. Para classificação, é necessária uma discussão de tolerabilidade do risco, de acordo com uma padronização, evitando-se ao máximo a subjetividade. A metodologia ARM utiliza uma matriz de risco para definir critérios de tolerabilidade a riscos (i.e., um método para definir o nível de risco com base na probabilidade e consequência de um CA) (MARINHO, 2019; PETROBRAS, 2018).

Na Tabela 7, observa-se a matriz de risco para a ARM, relacionando categorias de frequência e de consequência, que é utilizada para classificar o risco de cada cenário acidental estabelecido. Os riscos Negligenciáveis (NE) não necessitam de medidas adicionais, faz-se, apenas, o monitoramento para assegurar que o controle seja mantido. Os riscos consideráveis (CO) devem ser monitorados com maior frequência, e com mais detalhes caso seja necessário medidas adicionais para conter o risco. Os riscos altos (AL) ou críticos (CR) podem não apresentar controle existente

suficiente, portanto, necessitam de ações alternativas e imediatas para reduzir a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, com o intuito de diminuir a magnitude do risco para considerável ou negligenciável. Para tomada de decisões, é necessário se atentar não só na redução dos riscos, mas em outros fatores (e.g., tempo gasto para melhoria, custo), buscando sempre um equilíbrio de medidas.

Tabela 7 – Matriz de tolerabilidade de risco

Severidade	Categorias de frequência				
	E-05	E-04	E-03	E-02	E-01
V	CO	AL	CR	CR	CR
IV	NE	CO	AL	CR	CR
III	NE	NE	CO	AL	CR
II	NE	NE	NE	CO	AL
I	NE	NE	NE	NE	CO

Fonte: O Autor (2023).

Finalmente, no final desta etapa, temos a categoria de risco de todos os CAs condicionais.

5 RESULTADOS

Nesta seção, é apresentada a aplicação da metodologia para um navio de passageiros no Porto do Recife. Essa exemplificação da seção na prática é importante para compreensão do leitor sobre a metodologia, bem como os resultados obtidos.

5.1 Etapa 1: Caracterização do problema

A região de estudo escolhida é o Porto do Recife e seus arredores. Localizado na porção centro-leste do município do Recife, capital do estado de Pernambuco (PE), na costa oeste do Brasil e com posicionamento geográfico na latitude 08° 04' 00" S e Longitude: 34° 51' 00" W (RECIFE, 2015). A escolha pelo Porto do Recife se deu devido a sua localização privilegiada, situada em um centro urbano, e devido a sua importância para o comércio local e para toda a região, dado que o porto apresenta uma grande movimentação de cargas e pessoas. Além disso, há valores próximos de apenas 1 m de FAQ em áreas abrigadas para embarcação trafegando diariamente, tornando assim, de grande importância a aplicação de ARM nesse porto.

A classe de navio escolhida é um navio de passageiros. Essa escolha foi realizada através de comunicação direta com um prático do Porto do Recife, que indicou alguns motivos para a preferência desse tipo de embarcação em uma ARM. i.e.: (i) o acesso ao porto do Recife tem dimensões relativamente reduzidas para as dimensões deste navio, deixando pouca margem de segurança para falha humana ou operacional; (ii) há uma parte da manobra que uma curva tem que ser feita onde a largura do canal fica com apenas 260 m e uma profundidade de 10,1 m sendo essa uma parte crítica da manobra; (iii) o canal apresenta Fator de Bloqueio (S) 0,113 que não pode ser negligenciado; (iv) em navios de passageiros o sistema propulsivo apresenta alta tecnologia (e.g., propulsores omnidirecionais (*Azipods*), propulsores transversais de proa e de popa (*Bow and Stern Thrusters*)), consequentemente, há situações em que o comandante decide não utilizar rebocadores portuários para auxiliar na manobra por julgarem que seus navios são autossuficientes, o que aumenta o risco pois pode ocorrer uma sobrecarga ou falha nos sistemas da embarcação e o navio estar sem rebocador para dar assistência; (v) navios de passageiros apresentam grande área vélica, logo sofrem maior influência do vento.

Para escolha da embarcação, utilizou-se uma base de dados fornecida por um prático do Porto do Recife, que consta 48 embarcações de passageiros que atracaram no porto desde 01/01/15 até 04/04/20. Nesta base de dados, utilizaram-se os

seguintes critérios para selecionar a embarcação mais representativa para uma análise de riscos de fatores MOs (i.e., corrente, ondas, ventos, maré). Os critérios utilizados foram:

- Ordenou-se as embarcações de grande comprimento que atracaram maior número de vezes no porto desde 2015. Dentre estas, foram selecionadas as 14 que mais operaram no porto no intervalo de tempo definido, correspondendo a 29,1% do total de embarcações na base de dados e responsáveis por um total de 126 operações no porto, o que representa aproximadamente 55% do número total de operações no porto no tempo avaliado na base de dados.
- Dentre estas 14 embarcações, foram eliminadas aquelas que não se encontram mais em operação, utilizando como referências MarineTraffic, FleetMon e Naviecapitani. Dessas 14, apenas 1 não se encontrava mais em operação.
- Dentre as 13 restantes, deu-se preferência às embarcações com Azipods e Bow Thrusters, visto que existe maiores chances de que o comandante destas embarcações opte por não utilizar o serviço de rebocadores, por achar que o seu navio é autossuficiente. Isso pode parecer contraintuitivo para o leitor, pois aparentemente navios com Azipods e Bow Thrusters seriam mais seguros. Entretanto, o fato do comandante não utilizar rebocadores, cria cenários e risco no caso de falhas ou avarias de um dos propulsores, ficando o navio sem assistência de nenhum rebocador. Assim, todas as outras embarcações sem Azipods e Bow Thrusters foram eliminadas da base de dados, restando 7 embarcações.
- Selecionou-se as 2 embarcações que tivessem maior área vélica, estimada como a $LOA * Borda-Livre$ (i.e., considerando, para uma abordagem conservadora, a Borda-Livre como sendo a distância vertical da superfície da água até o convés da superestrutura mais alta, como pode ser visto na Figura 11), visto que área vélica é o principal fator que determina o quanto o vento causa efeitos no governo do navio (MACELREVEY; MACELREVEY, 2018).
- Por fim, escolheu-se a embarcação de maior área vélica entre as duas. Para fins de cálculo de área vélica (i.e., $x * y$) foi considerado que x = comprimento total e y = borda-livre (Figura 11).

A embarcação selecionada foi o Navio Costa Luminosa que pode ser visto na Figura 11 com suas dimensões principais (i.e., $LOA = 294$ m, $B = 36,6$ m, $H = 50$ m, T

= 8,1 m, deslocamento = 92.720 t e área vélica = 12.318,6 m²). Das características propulsivas do Costa Luminosa, pode-se destacar 2 Azipod ABB 35.2 MW, 3 bow thrusters, 2 aletas estabilizadoras anti-rolamento, 2 hélices de polia de tração, 2 motores diesel MaK 8L 43C, 4 motores Diesel MaK 12V 43C e uma potência total instalada de 65300 KW (FLEETMON, 2022; MARINETRAFFIC, 2022).

Figura 11 - Navio Costa Luminosa.



Fonte: Adaptado de FleetMon (2023).

A área de atracação operacional do Porto do Recife é observada na Figura 12 e pode ser dividida em quatro trechos distintos, que juntos, totalizam quase 1.854 metros de cais acostável, em que a profundidade varia de acordo com o cais. O trecho 1 possui 568 metros de comprimento, contendo três berços (i.e., 0, 1 e 2), com profundidade mínima de 9,6 metros chegando a 11,10 metros com a maré zero e pode ser observado na Figura 12. O trecho localiza-se em frente à entrada do porto, englobando as instalações do Terminal do Silo Portuário e Terminal de Açúcar. Para cruzeiros de grande porte, como o Costa Luminosa, a atracação se dá no berço 2, em decorrência da sua profundidade (RECIFE, 2015). O acesso aquaviário ao Porto do Recife pode ser feito por dois canais, designados canal Norte e canal Sul. Em função das dimensões limitadas do canal Norte, em especial o calado, o acesso de navios ao porto se dá pelo canal Sul. Este canal tem 3,4 mil m de extensão, 260 m de largura e profundidade variável com o local, com máximo de 11,8 m com a maré baixa. A bacia de evolução do Porto do Recife tem diâmetro de 450 m e o canal interno uma extensão de cerca de 3,1 km com largura de 160 a 475 m e profundidade de 9 a 12 m. A

navegação no canal de acesso é feita em mão única, com preferência de acesso as embarcações que saem do porto, como regra geral. Todavia, os navios que dependem da preamar para entrar ou sair do porto têm preferência sobre os demais.

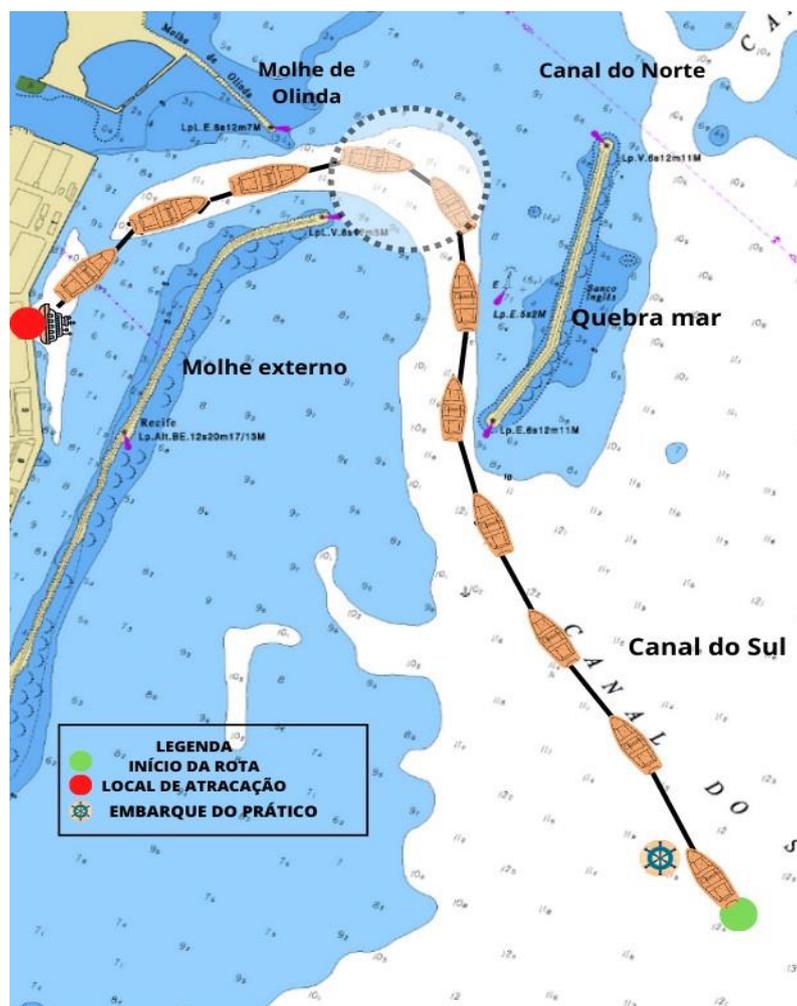
Figura 12 - Estrutura do Porto do Recife.



Fonte: Adaptado de LabTrans (2015).

A trajetória de interesse da embarcação para atracar no porto avaliada nas próximas etapas pode ser observada na Figura 13. Ela inicia momentos antes do embarque do práctico no seu ponto de espera definido pela Carta Náutica do porto (DHN, 2017). A partir do embarque do práctico, a embarcação continua de proa e quando chega próximo ao final do molhe externo o navio é parado e girado no ponto, para entrar de ré no Porto do Recife (ver círculo tracejado na Figura 13). Então, o navio procede ao longo do canal de acesso de ré, faz a aproximação ao berço de atracação e atraca de ré. Como a embarcação é muito grande para realizar manobras na bacia de evolução, ela já entra de ré, para facilitar sua saída. Nesse caso, o processo de saída do porto também será analisado na ARM.

Figura 13 - Trajetória percorrida pela embarcação para atracar no porto. O círculo tracejado é conhecido como “cotovelo”. O navio navega de proa até o “cotovelo”, onde é parado, faz o giro no ponto, e segue o restante da trajetória navegando de ré.



Fonte: Adaptado de DNH (2017).

A região do porto do Recife apresenta o clima úmido-subúmido o que corresponde a um clima tropical úmido com chuvas de outono e inverno bem definidas. A região apresenta uma precipitação pluviométrica anual de aproximadamente 2000 mm, a época de maior índice pluviométrico é de março a julho e a maior nebulosidade ocorre no período de fevereiro a agosto. O regime pluviométrico da região apresenta uma sazonalidade marcada, com período de estiagem de setembro a janeiro, e outro chuvoso de fevereiro a agosto (LABTRANS, 2015).

Na área, predominam os ventos alísios, com maior frequência de ventos SE durante os meses de fevereiro a setembro, de ventos E-SE em outubro e janeiro, e de ventos E-NE nos meses de novembro a dezembro, quando os ventos alísios do Hemisfério Norte frequentemente chegam até Recife (LABTRANS, 2015).

A maré no Porto do Recife é caracterizada como semidiurna (i.e., apresentam duas preamares e duas baixa-mares diárias). A média das marés registradas no local é de 1,67 metros, com a máxima de sizígia de 2,07 metros e a mínima de quadratura de 0,97 metros. (LABTRANS, 2015) A direção resultante das ondas é influenciada pelos ventos dominantes e é predominantemente de SE de fevereiro a novembro e de NE de dezembro a janeiro, e na maior parte do ano tem altura significativa maior que 1 m, porém em períodos de chuvas e ventos muito intensos a altura significativa passa de 2,5 m (RECIFE, 2023). Todos os resultados MOs serão confirmados posteriormente, após o processamento dos dados. Nesta etapa, eles fornecem apenas uma perspectiva geral das condições circundantes para fazer um perfil preliminar do problema o mais completo possível.

5.2 Etapa 2: Identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais

A análise preliminar de riscos conseguiu identificar 41 CAs (Apêndice A) distribuídos ao longo da rota estabelecida, na chegada e na saída do porto. Dentre todos os CAs, apenas 7 receberam classificação inicial de risco Alta (i.e., CA1, CA2, CA3, CA4, CA5, CA6 e CA7). Assim, tem-se um conjunto de cenários acidentais apresentados na Tabela 8, em que o “X” confirma se o Cenário acidental ocorre naquela localidade. Esses CAs continuam nas próximas etapas da ARM.

Tabela 8 – Consolidação de cenários acidentais.

Continua

Cenário Acidental		Localização		
		Interior do porto	Canal de acesso	Proximidades do porto
CA1	Abalroamento com pequenas embarcações no cais 2	X		
CA2	Colisão com molhe de proteção após perda de controle da embarcação devido a fatores MOs na entrada		X	

Fonte O autor (2023).

Tabela 8 – Consolidação de cenários acidentais.

		Conclusão		
		Localização		
CA3	Cenário Acidental	Interior do porto	Canal de acesso	Proximidades do porto
CA4	Encalhe ao realizar manobra de giro no “cotovelo”, ao entrar no porto de ré		X	
	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto de ré		X	
CA5	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto de proa		X	
CA6	Encalhe ao realizar manobra de giro no “cotovelo”, ao sair do porto de proa		X	
CA7	Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré			X

Fonte O autor (2023).

5.3 Etapa 3: Avaliação dos cenários Meteoceanográficos

Aqui serão analisados se os parâmetros MOs mencionados possuem significância mínima para aplicação dentro da metodologia de avaliação de riscos proposta. Os critérios de vento são observados através da opinião dos especialistas (i.e., um navegante amador, um navegante profissional e um prático) com experiência na região, com o auxílio de dados fornecidos pelo Windguru. Para esse trabalho, as

correntes não foram consideradas, pois até então não havia instrumento de medição no porto do Recife, bem como as Cartas de Corrente de Maré da Marinha do Brasil não incluem o Porto do Recife (MARINHA, 2022). As marés foram comparadas com as previsões anuais das tabelas de marés divulgadas pelo Centro Hidrográfico da Marinha do Brasil (CHM, 2020) e por informações do próprio porto. Por último, a análise das ondas foi feita através do Atlas de Cartas Piloto Internacional que trata de alturas de ondas em porcentagens de frequência.

Os valores apresentados separadamente por cada fator MO que tinha informações suficientes (i.e., ventos, ondas e marés) foram superiores aos valores de referência citados na terceira etapa da metodologia (i.e., seção 4.3). Dessa forma, nenhum fator MO deve ser negligenciado e, como consequência, todos os CAs que passaram de etapa vão ser analisados com a influência desses fatores atuando em conjunto.

O trabalho definiu 5 cenários MOs que podem ser observados na Tabela 9 para a avaliação dos riscos, em que alguns destes serão considerados apenas durante o canal de acesso ao porto e dentro do porto (i.e., CM1, CM3, CM4), enquanto outros serão nas proximidades externas do porto (i.e., CM1, CM2, CM4, CM5). Essa divisão é feita devido ao fato de que ondas devem ser bastante diferentes ao levar em conta o molhe de proteção instalado no porto entre o ponto de início e fim da manobra. As características do vento e ondas na Tabela 9 podem ser interpretadas da seguinte maneira, por exemplo para CM2: vento de direção entre Leste (E) e Sul (S) com velocidade variando entre 16 e 33 nós; ondas da direção entre Leste e Sul com alturas entre 1.5 e 2,5 metros e período de picos entre 10 e 20 segundos.

Tabela 9 - Cenários Meteoceanográficos.

Parâmetro Meteoceanográfico	Cenários Meteoceanográficos				
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5
Direção do vento	N-E ou E-S	E - S	S - W	N-E ou E-S	N-E ou E-S
Velocidade do vento (nós)	10 - 27	16 - 33	< 10	16 - 27	6 - 16
Classe de maré	Sizígia	Sizígia	Quadratura	Sizígia	Quadratura
Tipo de maré	Alta	Baixa	Alta	Baixa	Baixa
Direção de ondas	N-E ou E-S	E - S	N-E ou E-S	N-E ou E-S	E - S
Altura de ondas (m)	< 2,5	1,5 - 2,5	< 1,5	< 2,5 m	1 - 2
Período de ondas (s)	5 - 15	10 - 20	<10	< 15 s	< 10 s

Fonte O autor (2023).

5.4 Etapa 4: Estimativa de frequências

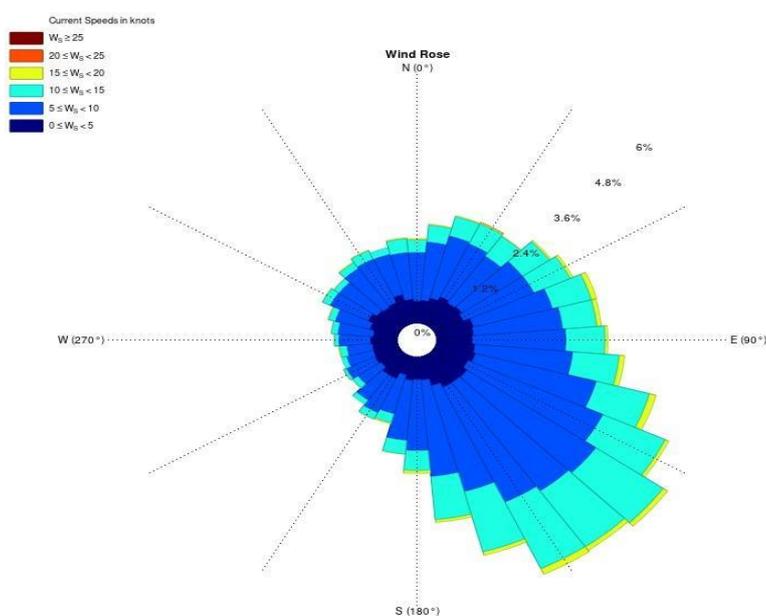
Os dados MOs contemplam ventos, ondas e marés coletados por um período de 42 anos, que vai de janeiro de 1979 a dezembro de 2021, para que se tenha uma noção mais robusta e estaticamente significativa de como esses fatores se apresentam na região.

As frequências de vento e ondas foram obtidas tendo como base exclusiva os dados do ERA5 (i.e., reanálise atmosférica global) que combina grandes quantidades de observações históricas em estimativas globais usando sistemas avançados de modelagem e assimilação de dados (ECMWF, 2022). Esses dados foram obtidos para o Porto do Recife nas latitudes entre -8,25° e -8,50° e longitudes entre -34,75° e -34,5°. Nesse sentido, para ventos foram coletadas as frequências de velocidade variando na direção com intervalos de Norte a Leste, Leste a Sul, Sul a Oeste e Oeste a Norte, e para ondas foram obtidas as frequências de altura e período de pico, que podem ser

observados com maiores detalhes no Apêndice deste trabalho. Para os dados de vento e ondas, obteve-se as frequências no Porto do recife, através. A frequência de marés apresenta grandes variações no tempo, logo que importa mais para esse trabalho é a classe (e.g., Maré de sizígia) e o tipo (e.g., alta, baixa).

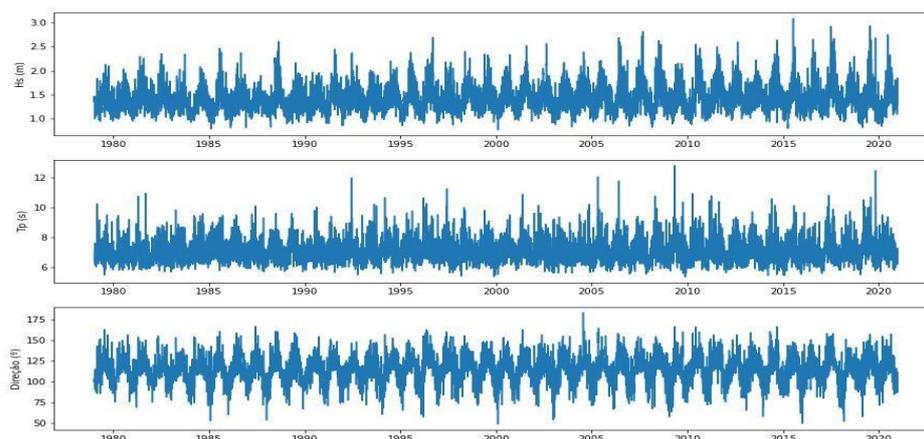
A Figura 14 apresenta o gráfico de rosa de ventos para os dados de ventos. A Figura 15 mostra os valores de altura, período, e direção de onda. A frequência dos CMs estipulada é então calculada usando os dados registrados, com CM1 variando de 50-100% e os demais cenários de 0-50%.

Figura 14 - Distribuição de direção e velocidade do vento durante monitoramento em diagrama de rosa de ventos.



Fonte: o Autor (2023).

Figura 15 - Variação da altura e período de picos das ondas durante monitoramento.



Fonte: o Autor (2023).

Tendo em vista a dificuldade (i.e., os acidentes apresentam peculiaridades diferentes em cada local e não acontecem nas mesmas condições de tempo) de obter frequência de categorias de acidentes, essa frequência foi estimada com base na opinião de 3 especialistas, que já foram citados na seção 5.3, atrelado a informações de artigos sobre frequências acidentais e históricos de acidentes obtidos para embarcações de passageiros. Os resultados da frequência para cada cenário acidental combinado com a frequência de cada respectivo Cenário Meteoceanográfico podem ser observados na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 - Frequência combinada.

Cenário Acidental	Cenário Meteoceanográfico				
	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5
CA1	E-5	E-4	E-6	E-4	E-6
CA2	E-5	E-4	E-6	E-4	E-6
CA3	E-6	E-5	E-7	E-4	E-5
CA4	E-4	E-3	E-5	E-3	E-5
CA5	E-4	E-3	E-5	E-3	E-5
CA6	E-6	E-5	E-7	E-5	E-5
CA7	E-5	E-4	E-6	E-4	E-6

Fonte O Autor (2023).

5.5 Etapa 5: Avaliação das consequências

As consequências ambientais relacionadas aos acidentes são refinadas nesta etapa. Para a avaliação desse trabalho, será utilizada a experiência dos 3 especialistas com conhecimento sobre a região citados na seção 5.3, pois é possível ter dados com maior realidade. Nesse viés, 7 cenários que receberam classificação alta ou crítica no início do trabalho tiveram suas consequências avaliadas. Os efeitos esperados para cada CA, bem como sua severidade podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11 - Consequências esperadas para cada CA.

Continua

N°	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Severidade
CA1	Abalroamento	Abalroamento com pequenas embarcações no cais 2	Lesões graves extramuros; danos leves ao cruzeiro e danos severos a outras embarcações; danos leves ao meio ambiente	IV
CA2	Colisão	Colisão com molhe de proteção após perda de controle da embarcação devido a fatores MOs na entrada	Lesões leves à tripulação; Danos moderados ao costado do cruzeiro, danos moderados ao molhe do porto; Danos leves ao meio ambiente	III
CA3	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra de giro no “cotovelo”, ao entrar no porto de ré	Lesões leves aos extramuros tripulantes; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	IV

Tabela 11 - Consequências esperadas para cada CA.

N°	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Conclusão
				Severidade
CA4	Colisão	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto de ré	Lesões leves; danos moderados à estrutura do molhe de proteção porto; Danos insignificantes ao meio ambiente	III
CA5	Colisão	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto de proa	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros; danos leves à estrutura do molhe de proteção porto e ao cruzeiro; Danos insignificantes ao meio ambiente	III
CA6	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo", ao sair do porto de proa	Lesões leves extramuros aos tripulantes; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	IV
CA7	Abalroamento	Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré	Lesões graves intramuros; danos leves ao cruzeiro, danos moderados a outras embarcações; danos leves ao meio ambiente	IV

Fonte: O Autor (2023).

5.6 Etapa 6: Avaliação dos riscos

A última etapa da ARM realizada no Porto do Recife observa o risco dos CAs de acordo com a Tabela 3, que resultou em um conjunto de CAs com o risco categorizado. Ao se combinar a frequência de determinado CA com influência dos fatores Meteocenográficos e combinar com a categoria de severidade esperada, utiliza-se a tabela 7, encontrada na seção 4.6, para obter a categorização final de cada CA perigoso. O resultado da categorização é observado na Tabela 12, em que as linhas representam os Cenários Acidentais após passar por todas as etapas anteriores, enquanto as colunas representam os Cenários MOs. A classificação final ocorre quando há o cruzamento desses dados.

Tabela 12 - Resultado da caracterização.

Continua

		Cenários Meteoceanográficos				
		CM1	CM2	CM3	CM4	CM5
CA = Cenário Acidental						
CA1	Abalroamento com pequenas embarcações no cais 2	NE	CO	X	CO	X
CA2	Colisão com o molhe de proteção após perda de controle devido a fatores MOs na entrada	NE	NE	X	NE	X
CA3	Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo" ao entrar no porto de ré	X	NE	X	CO	NE
CA4	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto de ré	NE	CO	NE	CO	NE

Fonte: O Autor (2023).

Tabela 12 - Resultado da caracterização.

CA = Cenário Acidental		Conclusão				
		CM1	CM2	CM3	CM4	CM5
CA5	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto de proa	NE	CO	NE	CO	NE
CA6	Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo", ao sair do porto de proa	X	NE	X	NE	NE
CA7	Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré	CO	CO	X	CO	X

Fonte: O Autor (2023).

É possível observar que há cenários com riscos não negligenciáveis, i. e.:

- Abalroamento com pequenas embarcações no cais 2 (CA1) em condições meteorológicas CM2 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 33 nós, ondas entre 1,5 e 2,5 metros de altura da direção entre Leste e Sul (S) com períodos de 10 a 20 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA12
- Abalroamento com pequenas embarcações no cais 2 (CA1) em condições meteorológicas CM4 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de até 15 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA14
- Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo" ao entrar no porto de ré (CA3) em condições meteorológicas CM4 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de até 15 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA34.

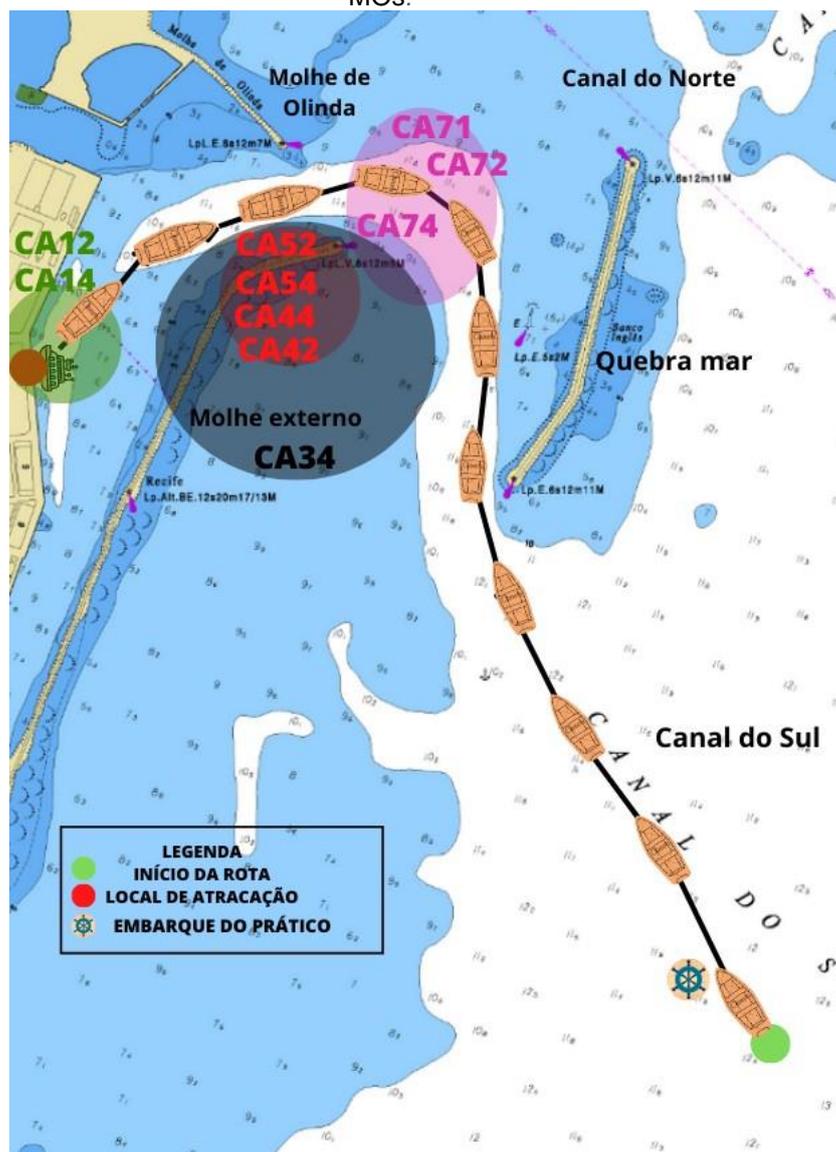
- Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no “cotovelo” durante entrada no porto de ré (CA4) em condições meteorológicas CM2 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 33 nós, ondas entre 1,5 e 2,5 metros de altura da direção entre Leste e Sul (S) com períodos de 10 a 20 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA42.
- Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no “cotovelo” durante entrada no porto de ré (CA4) em condições meteorológicas CM4 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de até 15 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA44.
- Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no “cotovelo” durante saída do porto de proa (CA5) em condições meteorológicas CM2 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 33 nós, ondas entre 1,5 e 2,5 metros de altura da direção entre Leste e Sul (S) com períodos de 10 a 20 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA52
- Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no “cotovelo” durante saída do porto de proa (CA5) em condições meteorológicas CM4 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de até 15 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA54.
- Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré (CA7) em condições meteorológicas CM1 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 10 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de 5 a 15 segundos (s) e maré de sizígia alta), i.e., CA71.
- Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré (CA7) em condições meteorológicas CM2 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 33 nós, ondas entre 1,5 e 2,5 metros de altura da direção

entre Leste e Sul (S) com períodos de 10 a 20 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA72.

- Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao realizar manobra para entrar à ré (CA7) em condições meteorológicas CM4 (i.e., ventos de direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com intensidade variando entre 16 e 27 nós, ondas de até 2,5 metros de altura da direção entre Norte (N) e Leste (E) ou entre Leste e Sul (S) com períodos de até 15 segundos (s) e maré de sizígia baixa), i.e., CA74

Tendo em vista os cenários acidentais citados anteriormente, é possível observar a localização aproximada de cada um na Figura 16 encontrada a seguir, em que são representados por meios de áreas.

Figura 16 - Localização aproximada dos cenários acidentais com interferência de Fatores MOs.



Fonte: Adaptado de (DNH, 2017).

6 DISCUSSÃO

A partir dos resultados da ARM no Porto do Recife, utiliza-se esta seção para sumarização e discussão dos resultados direcionando a observação a infraestrutura do porto estudado, CMs que merecem mais atenção e medidas a serem tomadas para a redução de risco de cenários não negligenciáveis.

O porto do Recife possui três obras de proteção (i.e., molhe externo, molhe de Olinda e quebra-mar), como pode ser observado na Figura 13, a mais externa é o quebra-mar construído com a finalidade de proteger a movimentação no canal de acesso ao porto e a atracação de embarcações no interior do porto. Observa-se que este quebra-mar é importante pois ventos e ondas mais comuns são das direções sudeste (SE) (i.e., 90,15% para ondas e 39,37% para ventos) e nordeste (NE) (i.e., 5,38% para ondas e 23,12% para ventos), mas a posição que foi construído pode fazer com que ondas de SE, que podem chegar a 2,5 m, não sejam mitigadas completamente, o que pode se tornar preocupante quando ocorrer a movimentação durante o canal de acesso ao porto, que chega a ter profundidade de 10,1 m em alguns locais e largura de 260 m. Além disso, apresentando um Fator de Bloqueio de cerca de 0,1, ou seja, 10% da área transversal do canal é ocupada pelo navio.

O porto do Recife apresenta profundidades satisfatórias para maioria dos navios, mas para navios de grande calado (e.g., calado do Costa Luminosa = 8,1m) pode se deparar com FAQs baixos, e uma combinação de marés mais baixas, ventos fortes e ondas de grande altura podem exercer forças que aumenta os riscos de encalhe, ou colisão com o Molhe Externo ou o Molhe de Olinda mostrado na Figura 12, ou outros efeitos indesejados nessas águas rasas. Isso pode ser exemplificado quando a maré atinge valor próximo ou abaixo de 0.0, o que resulta em FAQ aproximadamente 1 m em algumas áreas no interior do porto, como pode ser observado na Figura 13. Atrelado a isso, tem-se o fato de nessas condições ter-se menor domínio sobre a embarcação que apresenta grandes dimensões. Exemplo disso é que se tem como medida de prevenção tomada pelo porto, que a operação de embarcações de passageiros de grandes dimensões ocorra sem outras embarcações operarem ou se movimentarem ao mesmo tempo durante a entrada e saída no porto (LABTRANS, 2015). Observa-se que 32,5% das ondas no canal de acesso passam de 1,5 metros, que podem exercer grandes forças e causar acidentes. Logo, esses

fatores não podem ser negligenciados.

Ao final da metodologia a ARM não categorizou nenhum risco como AL ou CR, o que demonstra que as medidas realizadas pelo Porto de Recife são efetivas na mitigação de riscos. No entanto, riscos CO devem ser objeto de uma análise mais detalhada. Nesse sentido, destacam-se os riscos combinados de cenários acidentais com determinadas condições meteoceanográficas, i.e., CA3 com CM4 (i.e., CA34), CA4 com CM2 (i.e., CA42), CA4 com CM4 (i.e., CA44), CA5 com CM2 (i.e., CA52) e CA5 com CM4 (i.e., CA54) (ver tabela 12, Figura 16 e lista com a descrição destes cenários ao final da seção 5.6).

CA34 (i.e., encalhe ao realizar manobra de giro no “cotovelo” ao entrar no porto de ré, combinado com ventos de até 27 nós, ondas de até 2,5 m e baixa-mar) recebe a classificação CO pois o navio trafega com velocidade em torno de 3 nós, e o FAQ com maré chegando próximo de -0,1 m fica aproximado de 1 m, estimado de acordo com o apresentado ao longo da metodologia, junto a isso forças externas dos fatores MOs podem ser de grande intensidade e tendem a empurrar a embarcação para área mais rasas, podendo ocasionar um encalhe. Nessa situação esse cenário não recebe uma frequência maior, pois o Porto do Recife adota como regra, aproveitar momentos de preamar para grandes navios entrarem e saírem do porto, tendo preferência sobre os demais. (RECIFE, 2015). Tendo em vista esses procedimentos de prevenção do porto, mostra que os resultados da metodologia atendem as expectativas do que é exercido como regra no porto.

CA42 e CA44 (i.e., colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto de ré combinado com ventos de até 33 nós da direção SE, ondas entre 1,5 e 2,5 m na mesma direção dos ventos; e colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto com ventos de até 27 nós nas direções NE e SE e ondas de até 2,5m nas mesmas direções dos ventos) em que os fatores MOs juntos podem exercer forças na ordem de 10^3 Toneladas-força. Tendo em vista que grandes navios de cruzeiro apresentam grande área vélica (e.g., Costa luminosa tem área estimada de 12318,6 m²), essas forças podem ter grande influência pelo fato da embarcação viajar a velocidade muito baixa e essa área vélica superar a área vélica do maior late a vela do mundo (i.e., Black Pearl, que apresenta área de navegação à vela de 2900 m²) . Como ventos de alta velocidade junto com ondas de grande altura podem acontecer com uma frequência relativamente alta, esses cenários receberam uma classificação

CO que pode ser justificada como uma avaliação eficiente, visto que segundo um dos práticos do porto, a partir de ventos acima de 15 nós já existe grande dificuldade para controlar a embarcação no canal de acesso ao porto, principalmente sem o auxílio de navios rebocadores como é exigido por alguns armadores, por acharem que seus navios são autossuficientes. Então, na prática essa situação também ocorre de acordo com o planejado ao longo da metodologia, uma vez que existe uma prevenção quanto a ventos e grandes ondas.

CA52 e CA54 (i.e., colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto de proa, com ventos de até 33 nós da direção SE, ondas entre 1,5 e 2,5 m na mesma direção dos ventos; e colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto de proa com ventos de até 27 nós nas direções NE e SE e ondas de até 2,5m nas mesmas direções dos ventos). Percebe-se que esses cenários são bem parecidos com os CA42 e CA44, a diferença se dá pelo fato de ao entrar no porto o navio entra de ré e ao sair, sai de frente, deslocando o ponto neutro que chega a $\frac{1}{4}$ do comprimento do navio para Popa na entrada e $\frac{1}{4}$ do comprimento partindo-se da proa, para o navio sair do porto do Recife. Dessa forma, navegando de proa o navio tem maior estabilidade direcional, pois foi projetado pra navegar de proa, enquanto que de ré o navio pode ter uma menor estabilidade direcional, conseqüentemente, mais difícil de manobrar. Ademais, como os propulsores são azimutais, não tem leme e navegando de ré não vai ter a desvantagem que teria se fosse hélice convencional com leme, que é pouco fluxo passando pelo leme quando com máquinas a ré, deixando o leme pouco efetivo. Apesar dessa diferença, as frequências para esses cenários se mantêm muito próximas, e as mesmas precauções são necessárias para esses cenários, visto que a embarcação recebe vento de través com grandes velocidades e por apresentarem grande área recebendo o vento, pode ocorrer incidentes indesejados ao longo da operação.

O foco deste trabalho foi fazer a avaliação de riscos em determinada região através do melhoramento no que for possível de uma metodologia já existente (MARINHO, 2019). Entre os principais melhoramentos feitos na metodologia base estão:

- Na etapa 2 esse trabalho leva em consideração a relação inicial de frequência de determinado acidente com sua possível severidade, fato que na metodologia base considera apenas possíveis conseqüências do acidente, para se ter uma

análise mais dentro da realidade, com menos subjetividade, ocorrendo uma maior padronização e com maior qualidade devido a contribuição de especialistas na região.

- Na etapa 3 da metodologia a melhoria se dá porque utiliza apenas documentos expedidos por autoridades ou por corporações, já este trabalho incremento com a opinião de especialistas com experiência na região, garantindo mais confiabilidade nos resultados encontrados posteriormente.
- Na etapa 5 observa-se que a diferença para o artigo-base se dá devido ao fato dele utilizar dados de acordo com um modelo de espalhamento de combustível que pode não dar certo ao variar a região e tipo de embarcação. Este trabalho utiliza opinião de especialistas da região que foram citados ao longo da metodologia. Além disso, utiliza-se como motivo de seleção para próxima etapa a severidade menor (i.e., severidade maior ou igual a III) como classificação em decorrência dos navios do tipo cruzeiro serem de maior investimento e com mais tecnologia em seus componentes que os tornam mais caros e que qualquer acidente pode causar grandes prejuízos financeiros.

A metodologia melhorada não foi capaz de avaliar o tempo gasto para melhoria das condições físicas do porto, custo e outros aspectos que fogem da análise da prevenção de acidentes. Outra limitação, foi encontrada no estudo de caso ao não conseguir dados sobre correntes marítimas da região de estudo, uma vez que não há informações fornecidas pela Marinha do Brasil, nem há equipamentos de medição no Porto do Recife. Cita-se, ainda, como outra limitação o fato da metodologia não considerar outras condições meteoceanográficas que prejudica a navegação segura (e.g., visibilidade restrita devido a nevoeiro e/ou chuva).

Apesar da metodologia não ter como objetivo o gerenciamento de riscos, algumas medidas podem ser tomadas a partir dos resultados. Neste sentido, este sugere destacar a comunicação das condições meteorológicas para que se tenha um planejamento preventivo quanto a operação da embarcação no canal de acesso, na manobra de giro no “cotovelo”, e ou no interior do porto. Ademais, pode-se utilizar os resultados para comunicar às partes interessadas (e.g., armadores, práticos, comandantes e capitania dos portos) e reforçar a necessidade do uso de navios rebocadores para atracar e desatracar no porto navios deste tipo de porte, tendo em vista que existem cenários acidentais não negligenciáveis. Outrossim, há como reduzir

os riscos a níveis negligenciáveis através de medidas de controle, a informação é repassada ao gerenciamento de risco para investigação adicional e para que as medidas cabíveis sejam tomadas. Estes resultados auxiliam na tomada de decisão em diversos sentidos (e.g., planejamento da trajetória do navio, medidas de segurança preventiva, pontos perigosos e até simulação de manobras em treinamentos).

Sugere-se que os CAs ressaltados ao longo do estudo recebam atenção, principalmente CA1, que pode ocorrer maior frequência, exercer forças consideráveis que atrapalhem a operação da embarcação; CA2, que apresenta-se mais severo e que pode causar grandes prejuízos ao meio ambiente, ao cruzeiro e aos passageiros, apesar de ser mais raro de ocorrer; e CA3 que tem uma frequência intermediária com grandes forças e que podem paralisar a operação da embarcação no porto, ou causar grandes acidentes na região do Porto do Recife. Dessa forma, sugere-se que as simulações de manobra nos treinamentos sejam realizadas sob condições desfavoráveis, não apenas sob condições normais de operação.

Este trabalho forneceu informação útil sobre as condições MOs para realização de simulações em condições desfavoráveis que são possíveis de ocorrer no porto do Recife. Assim, condições temporais desfavoráveis, observadas na Tabela 9, na seção 5.3, podem ser utilizadas para simulações de manobras não só para o navio Costa Luminosa, mas para todas as grandes embarcações que operam no Porto do Recife. Além disso, baseado nos resultados dessa ARM, sugere-se que a entrada ou saída de navios de passageiros com LOA maior que 290 m não sejam realizadas em condições de vento maiores que 21 nós, pois a pressão exercida chega a 434,6 Toneladas-força e já perturba a posição do navio de maneira inaceitável. Caso tenha que ser realizada nestas condições, que seja obrigatório o uso de navios rebocadores. Ventos desta intensidade ocorrem em cerca de 16,33% das vezes ao longo do ano e apresentam grandes riscos quando vem na direção entre leste e sudeste, pois atingem o navio de través, que apresenta grande área vélica e conseqüentemente, sofre grandes forças. Esses ventos predominam no inverno, entre os meses de junho e setembro. Assim, devido a essa grande exposição da área vélica, o vento é o principal parâmetro meteorológico que interfere na operação das grandes embarcações.

Portanto, este trabalho sugere que seja declarada impraticabilidade no Porto do Recife para embarcações com comprimento maior que 290 metros quando a intensidade do vento for maior ou igual a 21 nós. Condições desfavoráveis que possam resultar impraticabilidade (conforme definida na Seção 3.4) são normalmente

comunicadas pelo práctico à Capitania dos Portos (CP), cabendo à CP analisar a necessidade de ser declarada a impraticabilidade da barra, suspendendo total ou parcialmente a realização de manobras. Esta pode ser uma decisão difícil para a CP. Por um lado, tem-se a pressão comercial para atracar/desatracar o navio. Por outro lado, tem-se a responsabilidade da CP em prezar pela segurança da navegação. Nesse sentido, este resultado do trabalho é especialmente útil para Capitania dos Portos de Pernambuco (CPPE), servindo como respaldo e auxílio à decisão quanto a declarar impraticabilidade ou não nessas condições. Sugere-se ainda que seja incluído na BRASIL (2021) o limite de 21 nós de vento para embarcações com LOA maior ou igual a 290 metros, como parâmetros para declarar impraticabilidade parcial para estas embarcações nestas condições no Porto do Recife.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho promoveu o melhoramento de algumas etapas da metodologia (MARINHO, 2019) permitindo a produção de resultados mais realistas e confiáveis. O estudo foi feito com um navio específico, o cruzeiro Costa Luminosa que atracou no porto do Recife seis vezes entre os anos de 2015 e 2020, e foram identificados 41 CAs com o auxílio de três especialistas, sendo um deles Prático do Porto do Recife. Os resultados mostram que o estudo está de acordo com a realidade operacional do porto e que fornece informações essenciais para prevenção de acidentes, principalmente quanto à tomada de decisão. Ademais, este trabalho apresenta informação útil para simulações de manobras em simuladores marítimos, que necessitam ter como parâmetros de entrada as condições Meteoceanográficas no porto e suas frequências de ocorrência.

Baseado nos resultados da ARM, sugere-se que manobras com navios de passageiros com comprimento maior que 290 m não sejam realizadas em condições de vento com intensidades maiores que 21 nós, devendo o navio aguardar melhores condições para entrada ou saída do porto. Caso a manobra tenha que ser realizada por qualquer motivo, sugere-se que, pelo menos nessas condições, o uso de navios rebocadores seja obrigatório. Ventos com esta intensidade predominam entre os meses de junho e setembro.

Quanto à metodologia proposta, este trabalho apresenta como limitações o fato dos dados MOs englobarem um único local para cada parâmetro, as correntes marítimas não serem consideradas por falta de dados, e da estimativa de frequência de acidentes não ter uma padronização objetiva, tendo a opinião dos especialistas influência considerável sobre os resultados obtidos. Outrossim, cita-se como limitação o fato da visibilidade restrita devido a nevoeiro, névoa ou chuva não ser considerada. Portanto, este trabalho sugere aumentar o número de especialistas e dados, para que os resultados tenham maior robustez e informações. Ademais, propõe-se utilizar uma maior quantidade de equipamentos para registrar dados MOs em diferentes localidades do porto (e.g., canal de acesso, proximidades do porto) para uma análise mais específica.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Gestão de riscos - Vocabulário ABNT ISO GUIA 73:2009**, 2009a.
- ABNT. **ABNT ISO 31000:2009 — Gestão de Riscos - Diretrizes**, 2009b.
- AHRENS, C. D. **Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere**. 7th Revise ed. Stamford, USA: Cengage Learning, 2014.
- AKYUZ, E.; CELIK, E. A quantitative risk analysis by using interval type-2 fuzzy FMEA approach: the case of oil spill. **Maritime Policy and Management**, v. 45, n. 8, p. 979–994, 2018.
- AROUCHA, L. C. et al. Practical aspects of meteorology and oceanography for mariners: A guide for the perplexed. **Cogent Engineering**, v. 5, n. 1, p. 1–23, 2018.
- AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016.
- BAKSH, A. A. et al. Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. **Ocean Engineering**, v. 159, n. July 2017, p. 422–436, 2018.
- BARBER, C. J. A. **Naval Shiphandler's Guide**. 1st. ed. Annapolis, Maryland.: Naval Institute Press, 2005.
- BRASIL, M. DO. **NORMAS E PROCEDIMENTOS DA CAPITANIA DOS PORTOS DE PERNAMBUCO**, 2021.
- CETESB. Norma Técnica P4.261. **2a Edição**, n. 11, p. 0–140, 2011.
- CHM. **Tábua de marés do Porto do Recife**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare?order=field_estado_new&sort=desc>.
- COLLEGE, M. **Geology and Oceanography Textbooks**. Disponível em: <<https://gotbooks.miracosta.edu/oceans/chapter11.html>>.
- DAVIS, R. N. et al. The diurnal and semidiurnal tides over Ascension Island (° S, 14° W) and their interaction with the stratospheric quasi-biennial oscillation: Studies with meteor radar, eCMAM and WACCM. **Atmospheric Chemistry and**

Physics, v. 13, n. 18, p. 9543–9564, 2013.

DEMPSEY, S. M. et al. Winds and tides of the Antarctic mesosphere and lower thermosphere: One year of meteor-radar observations over Rothera (68°S, 68°W) and comparisons with WACCM and eCMAM. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 212, n. July 2020, p. 105510, 2021.

DHN. **Atlas de carta piloto**. 1993

DNH. **Carta Náutica - Porto do Recife**, 2017.

DPC. **NORMAM-09 Normas da Autoridade Marítima para Inquéritos Administrativos sobre Acidentes e Fatos da Navegação**Marinha Do Brasil, Diretoria de Portos E Costa (DPC), , 2003.

DPC. NORMAM-12 - Normas da Autoridade Marítima para o Serviço de Praticagem. **Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC)**, 2011.

DUARTE, H. DE O. **Análise Quantitativa de Risco de uma Unidade de Recuperação de Enxofre em uma Refinaria de Petróleo**. Recife: UFPE, 2009.

DUARTE, H. O. et al. Review of practical aspects of shallow water and bank effects. **Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering**, v. 158, n. July, p. 177–186, 2016.

DUARTE, H. O. et al. A novel quantitative ecological and microbial risk assessment methodology: theory and practice. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 26, n. 6, p. 1622–1645, 2020.

DUARTE, H. O.; DROGUETT, E. L.; MOURA, M. C. Quantitative ecological risk assessment of shortfin mako shark (*Isurus oxyrinchus*): Proposed model and application example. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 3, p. 3691–3709, 2018.

DZIADOSZ, A.; REJMENT, M. Risk Analysis in Construction Project - Chosen Methods. **Procedia Engineering**, v. 122, n. Orsdce, p. 258–265, 2015.

ECMWF. **ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present**. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>>. Acesso em: 1 fev. 2022.

FLEETMON. **Costa Luminosa.** Disponível em: [<https://www.fleetmon.com/vessels/carnival-luminosa_9398905_60002/>](https://www.fleetmon.com/vessels/carnival-luminosa_9398905_60002/). Acesso em: 26 dez. 2021.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia.** 4th. ed. São Paulo, Brasil: Cengage Learning, 2010.

HENSEN, C. H. F. **Tug Use in Port: a practical guide.** 2a edition ed. London, England: The Nautical Institute, 2003.

IMO. Explanatory notes to the standards for ship manoeuvrability. **International Maritime Organization**, v. 137, n. 76, 2002.

JIANG, M. et al. Risk analysis of maritime accidents along the main route of the Maritime Silk Road: a Bayesian network approach. **Maritime Policy and Management**, v. 47, n. 6, p. 815–832, 2020.

JOURNÉE, J. M. J.; MASSIE, W. W. **Offshore Hydromechanics.** 1th. ed. [s.l.] Delf University of Technology, 2001.

LABTRANS. **Plano mestre: Porto do Recife** Florianópolis Universidade Federal de Santa Catarina, , 2015. Disponível em: [<http://www.portodorecife.pe.gov.br/porto_cidade.php>](http://www.portodorecife.pe.gov.br/porto_cidade.php)

LEWIS, K. A. et al. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 22, n. 4, p. 1050–1064, 2016.

LIM, G. J. et al. Models and computational algorithms for maritime risk analysis: a review. **Annals of Operations Research**, v. 271, n. 2, p. 765–786, 2018.

LOBO, P. R. V.; SOARES, C. A. **Meteorologia e Oceanografia: Usuário Navegante.** 4. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2019.

MACELREVEY, D. H.; MACELREVEY, D. E. **Shiphandling for the Mariner**, 2018.

MARINETRAFFIC. **Costa Luminosa.** Disponível em: [<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:279917/mmsi:311001201/i mo:9398905/vessel:CARNIVAL_LUMINOSA>](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:279917/mmsi:311001201/i mo:9398905/vessel:CARNIVAL_LUMINOSA). Acesso em: 20 dez. 2021.

MARINHA, C. DE H. DA. **Cartas de Correntes de Maré.** Disponível em:

<<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/cartas-de-correntes-de-mare>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

MARINHO, L. Methodology for Maritime Risk Assessment in Ports due to Meteorological Factors: The Case of the port of Suape, Brazil. p. 17, 2019.

MARTINS, M. R.; MATURANA, M. C. Human error contribution in collision and grounding of oil tankers. **Risk Analysis**, v. 30, n. 4, p. 674–698, 2010.

MARTINS, M. R.; NATACCI, F. B. Metodologia Para Análise Preliminar De Riscos De Um Navio De Transporte De Gás Natural Comprimido. n. November, p. 15, 2009.

MAZAS, F.; HAMM, L. An event-based approach for extreme joint probabilities of waves and sea levels. **Coastal Engineering**, v. 122, n. February, p. 44–59, 2017.

MIGUENS, A. P. Navegação: A ciência e a arte. v. 1, n. 3, p. 509, 2018.

PARKER, W. S. Reanalyses and observations: What's the Difference? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 9, p. 1565–1572, 2016.

PETROBRAS. **Diretriz de Engenharia de Segurança**, 2018.

PIANC. **Harbour Approach Channels Design Guideline**. Bruxelas, Belgica: PIANC REPORT N° 121, 2014.

RECIFE, P. DO. **Características ambientais da área de influência do Porto**. Disponível em: <<https://www.portodorecife.pe.gov.br/meioambiente.php?categoria=9>>. Acesso em: 6 jul. 2023.

ROWE, C. R. W. **THE SHIPHANDLER ' S GUIDE for Masters and Navigating Officers, Pilots and Tug Masters**. Second edition. London, England: The Nautical Institute, 2000.

SIQUEIRA, P. G.; MOURA, M. DAS C.; DUARTE, H. O. A Bayesian population variability based method for estimating frequency of maritime accidents. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 163, p. 308–320, 2022.

SIQUEIRA, P. G.; MOURA, M. DAS C.; DUARTE, H. O. Quantitative ecological risk assessment of oil spills: The case of the Fernando de Noronha Archipelago. **Marine Pollution Bulletin**, v. 189, n. March, 2023.

SPRENGER, F. et al. Experimental Studies on Seakeeping and Maneuverability of Ships in Adverse Weather Conditions. **Journal of Ship Research**, v. 61, n. 3, p. 131–152, 2017.

SWIFT, A. J. **Bridge Team Management: A Practical Guide**. [s.l.] The Nautical Institute, 1993.

TANG, X. et al. Numerical investigation of the maneuverability of ships advancing in the non-uniform flow and shallow water areas. **Ocean Engineering**, v. 195, n. September 2019, p. 106679, 2020.

WHITNEY G.G., F. D. R.; YÜKSEL BOZKURT, A. E.; WHITNEY G.G., F. D. R. No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析
Title. **Ph.D. thesis, Central-South University of Technology, China**, v. 76, n. 3, p. 61–64, 2008.

ZHANG, J. et al. Maritime Transportation Risk Assessment of Tianjin Port with Bayesian Belief Networks. **Risk Analysis**, v. 36, n. 6, p. 1171–1187, 2016.

ZHANG, L. et al. Ship accident consequences and contributing factors analyses using ship accident investigation reports. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability**, v. 233, n. 1, p. 35–47, 2019.

APÊNDICES A – PLANILHAS DE CENÁRIOS AVALIADOS

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Ponto de embarque do práctico			Carga principal: Pessoas			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
1	Outros	Queda do práctico da escada de acesso ao navio no mar	Lesões graves intramuros ou leves extramuros ao práctico	C	III	CO	
2	Outros	Queda do práctico da escada de acesso ao navio na lancha	Lesões graves extramuros ou fatalidade intramuros ao práctico; Sem danos ao cruzeiro e ao meio ambiente	B	IV	CO	
3	Outros	Queda do práctico da lancha no mar	Lesões leves ao práctico	C	II	NE	
4	Naufração	Afundamento total ou parcial da lancha do práctico devido as más condições climáticas	Lesões graves extramuros ou fatalidade intramuros; danos severos a lancha, podendo levar à perda; danos moderados ao meio ambiente	A	IV	NE	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Ponto de embarque do práctico			Carga principal: Pessoas			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
5	Abalroamento	Abalroamento com a lancha do práctico durante a aproximação para embarque	Lesões leves extramuros ao práctico ou tripulação da lancha; Danos leves a estrutura da lancha; danos insignificantes ao meio ambiente	D	II	CO	
6	Naufração	Afundamento total ou parcial da lancha do práctico devido a problemas mecânicos	Lesões graves extramuros ou fatalidade intramuros; danos severos a lancha, podendo levar à perda; danos moderados ao meio ambiente	B	IV	CO	
7	Naufração	Embarcamento da lancha do práctico devido a condições climáticas desfavoráveis	Lesões graves extramuros ou fatalidade intramuros; danos severos a lancha, podendo levar à perda; danos moderados ao meio ambiente	A	IV	NE	
8	Explosão	Explosão do motor da lancha do práctico, devido a gases que ficam no porão	Lesões leves à tripulação da lancha; danos leves a lancha; danos insignificantes ao meio ambiente	B	II	NE	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Ponto de embarque do práctico			Carga principal: Pessoas			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
9	Encalhe	Encalhe próximo às regiões de águas rasas sem derramamento	Lesões graves ou fatalidade intarmuros a tripulação; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos leves ao meio ambiente	B	IV	CO	
10	Encalhe	Encalhe próximo às regiões de águas rasas com derramamento	Lesões leves a tripulação; danos moderados ao fundo do cruzeiro; danos severos com efeito localizado ao meio ambiente	A	IV	NE	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Cais ou ancoradouro			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
11	outros	Queda de equipamento na água durante manobras no cais	Sem lesões; Danos insignificantes ao meio ambiente	C	I	NE	
12	incêndio	incêndio devido a problemas no sistema elétrico por sobrecarga durante manobras no cais	lesões graves ao pessoal responsável pela segurança; danos moderados a embarcação; danos moderados ao meio ambiente	A	III	NE	
13	Outros	Queda de tripulante ao movimentar-se para fixar cabo de ligação do rebocador	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros ao tripulante	B	IV	CO	
14	Outros	Complicações na amarração da embarcação ao cais	Sem lesões ou no máximo caso de primeiros socorros ao operário do porto	E	I	CO	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Cais ou ancoradouro			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
15	Encalhe	Encalhe devido a fatores meteoceanográficos	Lesões graves ou fatalidade ao tripulante e/ou passageiros; danos seversos ao casco do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	B	IV	CO	
16	outros	ruptura de cabos de conexão	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros; Danos insignificantes ao meio ambiente; Sem danos ao cruzeiro	E	I	CO	
17	Abalroamento	Abalroamento com pequenas embarcações no cais	Lesões graves extramuros; danos leves ao cruzeiro e danos severos a outras embarcações; danos leves ao meio ambiente	C	IV	AL	
18	Colisão	Colisão com o cais devido a perda de controle causada problemas mecânicos	Lesões leves; danos moderados à embarcação e a estrutura do porto; danos leves ao meio ambiente	C	III	CO	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Cais ou ancoradouro			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
19	Abalroamento	Abalroamento do cruzeiro com outra embarcação grande que esteja no cais	Lesões leves ao práctico ou a tripulação; danos moderados a estrutura das embarcações; danos leves ao meio ambiente	C	III	CO	
20	outros	afrouxamento dos cabos ou ruptura devido a variação de maré, causando o derretimento próximo ao tambor do guincho	Sem lesões, ou no máximo caso de primeiros socorros; Danos insignificantes ao meio ambiente; Sem danos ao cruzeiro	D	I	NE	
21	outros	queda de passageiros na rampa devido a instabilidade de flutuadores de acesso ao cruzeiro	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros; Danos insignificantes ao meio ambiente; Sem danos ao cruzeiro	D	I	NE	
22	Outros	Queda de tripulante ao movimentar-se para desfixar cabo de ligação do rebocador	Lesões graves intramuros ou leves extramuros; sem danos ao cruzeiro e ao meio ambiente	C	III	CO	
23	Outros	Complicações na amarração da embarcação no ancoradouro	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros ao operário do porto	E	I	CO	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Canal de acesso ao porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
24	Naufração	Afundamento total ou parcial do rebocador no canal	Lesões graves ou fatalidade intramuros; Danos severos, podendo levar à perda do rebocador; Danos leves ao meio ambiente	A	IV	NE	
25	outros	Queda de equipamento na água durante manobras no canal	Sem lesões; Danos insignificantes ao meio ambiente	D	I	NE	
26	Abalroamento	Abalroamento com navio rebocador durante manobra para atracar	Lesões graves ou fatalidade intramuros a tripulação do rebocador; danos leves ao cruzeiro e severos ao rebocador; Danos leves ao meio ambiente	A	IV	NE	
27	Naufração	Afundamento parcial do cruzeiro devido a avaria na casa de máquinas	Múltiplas fatalidades intramuros ou extramuros; Danos severos ao cruzeiro e danos catastróficos, podendo levar à paralisação indefinida de atividades do porto; danos severos com efeito localizado	A	V	CO	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Canal de acesso ao porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
28	Naufração	Embarcamento do cruzeiro devido a encalhe no canal	Múltiplas fatalidades intramuros ou extramuros; Danos severos ao cruzeiro e danos catastróficos, podendo levar à paralização indefinida de atividades do porto; danos severos com efeito localixado	A	V	CO	
29	Colisão	Colisão com molhe de proteção após perda de controle da embarcação devido a fatores MOs na entrada	Lesões leves à tripulação; Danos moderados ao costado do cruzeiro, danos moderados ao molhe do porto; Danos leves ao meio ambiente	D	III	AL	
30	Colisão	Colisão com o molhe devido a perda de controle causada por problemas mecânicos	Fatalidades intramuros ou lesões graves extramuros; Danos severos ao cruzeiro; danos severos com efeito localixado ao meio ambiente	B	IV	CO	
31	incêndio	incêndio devido a problemas no sistema elétrico por sobrecarga durante manobras no canal	lesões graves ao pessoal responsável pela segurança; danos moderados a embarcação; danos severos ao meio ambiente	A	IV	NE	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Canal de acesso ao porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
32	Colisão	Colisão com o molhe de proteção do porto durante saída do porto devido a fatores meteoceanográficos	Lesões graves ou fatalidade ao tripulante; danos severos ao casco da embarcação e ao molhe; danos leves ao meio ambiente	B	IV	CO	
33	Naufrágio	Entrada de água na embarcação a partir de danos no fundo do casco	Lesões graves ou fatalidade intramuros; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	B	IV	CO	
34	Abalroamento	Abalroamento frontal com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões graves ou fatalidade intramuros; danos catastróficos à estrutura da embarcação, podendo levar à paralisação indefinida de atividade do porto; danos severos ao meio ambiente com efeitos localizados	A	V	CO	
35	Abalroamento	Abalroamento lateral com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões graves ou fatalidade intramuros; danos severos a embarcação, podendo levar à perda de embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeitos localizados	A	IV	NE	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Canal de acesso ao porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
36	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo" ao entrar no porto	Lesões leves extramuros aos tripulantes; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	C	IV	AL	
37	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra para giro no cotovelo, ao entrar no porto que impeça a movimentação da embarcação	Lesões graves extramuros; Danos catastróficos, podendo levar à paralisação indefinida de atividades do porto; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	V	CO	
38	Colisão	Choque mecânico entre a embarcação e os recifes	Lesões leves a tripulação; danos moderados ao casco da embarcação; danos leves ao meio ambiente	C	III	CO	
39	Outros	Queda de tripulante na realização das manobras para atracar o cruzeiro	Lesões graves ou fatalidade intramuros; Sem danos ao cruzeiro e ao meio ambiente	B	IV	CO	
40	Colisão	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a entrada no porto	Lesões leves; danos moderados à estrutura do molhe de proteção porto; Danos insignificantes ao meio ambiente	D	III	AL	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Canal de acesso ao porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
41	Colisão	Colisão com o molhe de proteção ao realizar manobra de giro no "cotovelo" durante a saída do porto	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros; danos leves à estrutura do molhe de proteção porto e ao cruzeiro; Danos insignificantes ao meio ambiente	D	III	AL	
42	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra de giro no "cotovelo", ao sair do porto	Lesões leves extramuros aos tripulantes; danos severos ao fundo do cruzeiro; danos moderados ao meio ambiente	C	IV	AL	
43	Encalhe	Encalhe ao realizar manobra para giro no cotovelo, ao sair do porto que impeça a movimentação da embarcação	Lesões graves extramuros; Danos catastróficos, podendo levar à paralisação indefinida de atividades do porto; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	V	CO	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto do Recife			Embarcação: Navio de Passageiros			Analista:	
Trecho: Proximidades do porto			Carga principal: Passageiros			Data:	
Nº	Categoria	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Grau de frequência	Grau de Severidade	Classificação	Ações Recomendadas / Observações
44	Outros	Queda de tripulante na realização das manobras para entrar no canal de ré	Lesões graves ou fatalidade intramuros; Sem danos ao cruzeiro e ao meio ambiente	B	IV	CO	
45	Abalroamento	Abalroamento com embarcações nas proximidades do porto ao relaizar manobra para entrar à ré	Lesões graves intramuros; danos leves ao cruzeiro, danos moderados a outras embarcações; danos leves ao meio ambiente	C	IV	AL	
46	outros	Queda de equipamento na água durante manobras nas proximidades do porto	Sem lesões; Sem danos ao cruzeiro; Danos insignificantes ao meio ambiente	C	I	NE	
47	Abalroamento	Abalroamento com rebocador durante manobra de giro para entrada de ré	Lesões moderados ou graves; Pequenos danos ao rebocador e a proa da cruzeiro; sem danos ao meio ambiente	A	III	NE	
48	Colisão	Colisão com defensas do porto	Sem lesões, ou no máximo, casos de primeiros socorros; danos leves a estrutura do porto; Sem danos ao meio ambiente	D	I	NE	

APÊNDICES B – FREQUÊNCIAS METEOCENOGRÁFICAS

Vento					
Velocidade (nós)	N - E	E - S	S - W	W - N	Total
0 - 1	0,0700%	0,0573%	0,0255%	0,0637%	0,2165%
1 - 3	0,3948%	0,3884%	0,3056%	0,3884%	1,4772%
3 - 6	1,7000%	1,7764%	1,3371%	1,5726%	6,3861%
6 - 10	4,3614%	5,1827%	3,5400%	3,7693%	16,8534%
10 - 16	9,0348%	14,5549%	5,3737%	6,1696%	35,1330%
16 - 21	6,2524%	12,1737%	2,3876%	2,7887%	23,6024%
21 - 27	3,4700%	7,4557%	1,0060%	0,9105%	12,8422%
27 - 33	0,8659%	1,8401%	0,2483%	0,1528%	3,1071%
33 - 40	0,1082%	0,1910%	0,0318%	0,0509%	0,3819%
Total	26,2575%	43,6203%	14,2557%	15,8665%	100,0000%

Ondas (ERA-5)					
Altura (m)	N - E	E - S	S - W	W - N	Total
0,5 - 1,0	0,5030%	1,5726%	0,0000%	0,0000%	2,0756%
1,0 - 1,5	5,3865%	59,8306%	0,0000%	0,0000%	65,2171%
1,5 - 2,0	0,2037%	28,7470%	0,0064%	0,0000%	28,9571%
2,0 - 2,5	0,0000%	3,4445%	0,0000%	0,0000%	3,4445%
2,5 - 3,0	0,0000%	0,2992%	0,0000%	0,0000%	0,2992%
3,0 - 3,5	0,0000%	0,0064%	0,0000%	0,0000%	0,0064%
Total	6,0932%	93,9003%	0,0064%	0,0000%	100,00%

Ondas (ERA-5)					
Período de picos (s)	N - E	E - S	S - W	W - N	Total
0,0 - 5,0	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%	0,0000%
5,0 - 10,0	4,1895%	70,0879%	0,0064%	0,0000%	74,2838%
10,0 - 15,0	1,7318%	22,1826%	0,0000%	0,0000%	23,9144%
15,0 - 20,0	0,1719%	1,6300%	0,0000%	0,0000%	1,8019%
Total	6,0932%	93,9005%	0,0064%	0,0000%	100,00%