



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL**

GIOVANNA MABILY PINTO ABDEL AZIZ

**AS TECNOLOGIAS 4.0 COMO ALTERNATIVAS DE PREVENÇÃO DE
ACIDENTES COM EMBARCAÇÕES NA REGIÃO AMAZÔNICA**

MANAUS – AM

2022

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

GIOVANNA MABILY PINTO ABDEL AZIZ

**AS TECNOLOGIAS 4.0 COMO ALTERNATIVAS DE PREVENÇÃO DE
ACIDENTES COM EMBARCAÇÕES NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade do Estado do Amazonas, como parte das
exigências para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Naval.

Orientador: Prof.º Dr.: Jassiel Vladimir
Hernández Fontes

MANAUS – AM
2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

P659tt Aziz, Giovanna Mabily Pinto Abdel
As tecnologias 4.0 como alternativas de prevenção de
acidentes com embarcações na região Amazônica / Giovanna
Mabily Pinto Abdel Aziz. Manaus : [s.n.], 2022.
80 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Naval - Universidade
do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.

Inclui bibliografia

Orientador: Fontes, Jassiel Vladimir

1. Prevenção de acidentes. 2. Indústria Naval. 3.
Tecnologias da Indústria 4.0. I. Fontes, Jassiel Vladimir
(Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III.
As tecnologias 4.0 como alternativas de prevenção de
acidentes com embarcações na região Amazônica

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

GIOVANNA MABILY PINTO ABDEL AZIZ

**AS TECNOLOGIAS 4.0 COMO ALTERNATIVAS DE PREVENÇÃO DE
ACIDENTES COM EMBARCAÇÕES NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade do Estado do
Amazonas, como parte das exigências para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Naval.

Aprovado em: 13 de outubro de 2022

BANCA EXAMINADORA:

Prof.º Dr. Jassiel Vladimir Hernández Fontes
Universidade do Estado do Amazonas

Prof.º Dr. Jose Ramon Hechavarria Perez
Universidade do Estado do Amazonas

Prof.º Me. Harlysson Wheiny Silva Maia
Universidade do Estado do Amazonas

Dr. Irving David Hernández
Universidade Federal do Rio de Janeiro

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente apoiado pelo Governo do Estado do Amazonas com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM por meio do projeto de pesquisa intitulado “Acidentes com embarcações na região amazônica: identificação de causas e alternativas de prevenção”, chamada N°010/2021 – CT&I Áreas Prioritárias.

Este trabalho contou com o auxílio e apoio de diversas pessoas, dentre as quais agradeço.

À Deus, que me deu coragem para superar os obstáculos, além de todas as oportunidades e força de vontade permitidas a mim.

À minha família, principalmente meu pai e irmãos que nunca me deixaram desistir e estiveram sempre com todo o apoio e paciência.

Aos professores orientadores, por todo o ensinamento. Principalmente ao Prof.º Dr. Jassiel Vladimir Hernández Fontes que esteve disponível para retirada de dúvidas, além da sua orientação imprescindível e presente.

RESUMO

O uso de embarcações na região amazônica desempenha um papel importante nas atividades comerciais da região norte do Brasil; porém enfrenta diversos riscos de acidentes que podem resultar em perda de vidas, propriedades e danos ao meio ambiente. As tecnologias da indústria 4.0 podem ser alternativas para prevenir acidentes em diversas atividades da região que envolvam o uso de embarcações. Porém, as tecnologias da Indústria 4.0 são recentes e apesar da crescente atenção acerca da atuação destas tecnologias em diversas áreas da engenharia, ainda há falta de informação relacionada com as alternativas de aplicação na indústria naval regional. O presente trabalho visa conhecer alternativas da Indústria 4.0 que poderiam ser utilizadas para reduzir acidentes com o uso de embarcações na região amazônica. Primeiro, foram apresentados alguns dos acidentes mais comuns que podem acontecer com embarcações na região. Depois, foram revisados e documentados os conceitos de tecnologias 4.0 mais utilizados em aplicações marítimas: Sistemas ciberfísicos, realidade aumentada e simulação, análise de macrodados, computação em nuvem e internet das coisas. Finalmente, foram discutidas as possibilidades de aplicação de tecnologias 4.0 para prevenir acidentes na região amazônica, identificando as possíveis limitações. Foi encontrado na revisão bibliográfica que as colisões são os acidentes com embarcações mais comuns, sendo os sistemas de identificação automática a tecnologia mais usada para o seu controle. Em contraste, foi visto que as aplicações da computação em nuvem, a internet das coisas a análise de macrodados (*bigdata*) na prevenção de acidentes na indústria naval ainda precisam ser mais exploradas. Espera-se que o presente trabalho possa contribuir na prevenção de acidentes no futuro da região amazônica.

Palvaras-chave: Prevenção de acidentes, Indústria naval, Tecnologias da Indústria 4.0.

ABSTRACT

The use of vessels in the Amazon region plays an important role in the commercial activities of the northern region of Brazil; however, it faces several risks of accidents that can result in loss of lives, properties, and environmental damage. Industry 4.0 technologies can be alternatives to prevent accidents in various activities in the region that involve the use of vessels. However, Industry 4.0 technologies are recent and despite the growing attention on applications of these technologies in several engineering areas, there is still a lack of information related to the alternatives of application in the regional naval industry. The present work aims to know alternatives of Industry 4.0 that could be used to reduce accidents with the use of vessels in the Amazon region. First, some of the most common accidents that can happen to vessels in the region were presented. Therefore, the concepts of 4.0 technologies most used in maritime applications were reviewed and documented: cyber-physical systems, augmented reality and simulation, big data analytics, cloud computing and internet of things. Finally, the possibilities of applying 4.0 technologies to prevent accidents in the Amazon region were discussed, identifying possible limitations. It was found in the literature review that collisions are the most common accidents with vessels, and automatic identification systems are the most used technology for their control. In contrast, it was seen that the applications of cloud computing, IoT and bigdata analysis in accident prevention in the shipping industry still need to be explored. It is hoped that the present work can contribute to the prevention of accidents in the future of the Amazon region.

Keywords: Accident prevention, Naval industry, Industry 4.0 technologies, Vessels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa que ilustra a região amazônica (contorno vermelho), ocupando grande parte da América do Sul. O mapa inclui uma escala que define a altura das regiões (SRTM DEM, em metros) e a descrição de alguns dos rios mais importantes da região.	13
Figura 2. Representações artísticas de alguns exemplos de acidentes com embarcações que têm acontecido na Amazônia brasileira.	14
Figura 3. Dimensões da Indústria 4.0 que precisam ser consideradas para fomentar a sustentabilidade ambiental.....	17
Figura 4. Diagrama que apresenta os recursos inteligentes da “Medicina 4.0” para cuidados da saúde.	19
Figura 5. Diagrama que apresenta os benefícios para o gerenciamento de manufatura utilizando tecnologias 4.0.	21
Figura 6. Evolução do desenvolvimento dos portos ao longo dos anos.	23
Figura 7. Porcentagens de ocorrências de acidentes comuns com embarcações em operação sugeridas pelo EMSA, 2017. (<i>European Maritime Safety Agency</i>).	27
Figura 8. Exemplo de uma simulação numérica utilizando Métodos dos Elementos Finitos (FEM, Finite Element Method) para avaliar os efeitos de colisão entre a proa de uma embarcação com velocidade de avanço e o costado de uma embarcação flutuante.....	28
Figura 9. (a) Classificação de cenários de colisão segundo as posições relativas entre duas embarcações. (b) Elementos estruturais da embarcação que recebe o impacto.	29
Figura 10. Exemplo de simulação de incêndio e explosão em uma embarcação tipo FPSO. ...	30
Figura 11. Resultados da simulação devida a explosão e incêndio.	31
Figura 12. Exemplo de uma embarcação considerada para simular diversas condições de alagamento utilizando fluidodinâmica computacional.	32
Figura 13. Resultados das simulações CFD que mostram diversas condições de alagamento pela proa e popa da embarcação.	33
Figura 14. Exemplo de estudo de alagamento em uma embarcação Ro-Pax.....	34
Figura 15. Exemplo da configuração de um experimento para estudar o problema de alagamento em uma embarcação	35
Figura 16. Representação artística de uma embarcação encalhada na costa do Maranhão, Brasil (navio Stellar Banner).	36
Figura 17. Exemplo de um estudo relacionado com a avaliação dos danos estruturais durante o encalhe de uma embarcação.	37

Figura 18. Exemplo de análise de riscos de encalhe de embarcações, considerando o caso de estudo de uma costa na Coreia do Sul.	38
Figura 19. Exemplo de pesquisa relacionada com o monitoramento e recuperação de um acidente de derramamento de óleo no mar.	39
Figura 20. As quatro revoluções industriais incluindo alguns desafios de implementação.	40
Figura 21. Tecnologia AIS.	47
Figura 22. Exemplos de visualização por meio de sistemas ECDIS.	49
Figura 23. Gravador de dados de viagem (VDR, Voyage Data Recorder).	51
Figura 24. Exemplos de serviço de tráfego de embarcações (VTS, Vessel Traffic Service). .	52
Figura 25. Um sistema de típico de bordo Radar/ARPA.	54
Figura 26. Realidade Aumentada em aplicações marítimas.	56
Figura 27. Exemplo de aplicação de realidade aumentada para ajudar na navegação com pouca visibilidade.	57
Figura 28. (a) Algumas aplicações comuns do BDA na indústria marítima. (b) Proposta de fluxograma de dados no desempenho do navio e informações de navegação. (c) Exemplo do uso de BDA para prever a rota de uma embarcação. (d) Exemplo de uso de BDA para otimizar a rota de embarcação.	59
Figura 29. (a) Diagrama da arquitetura pensada pela NOAA para acrescentar a disponibilidade de dados em nuvem no projeto NOAA BDP (Big Data Project – Projeto de Macrodados da NOAA). (b) Exemplo de visualização rápida na nuvem utilizando ferramentas de visualização livres do software Python Jupyter.	63
Figura 30. Conceitos da Internet das Coisas (IoT, Internet of Things).	64
Figura 31. (a) Ilustração da arquitetura de uma IoT marítima. (b) Conceito de redes de comunicação marítima (Maritime Communication Networks, MNCs) no futuro.	65
Figura 32. Arquitetura física comum de sistemas de proteção e monitoramento de ambiente marinho baseados em IoT.	66
Figura 33. Sistema de boia com sensores para monitoramento de energia renovável do oceano. (a) Configuração dos dispositivos instalados na estrutura flutuante. (b) Vista da parte inferior. (c) Estrutura flutuando com um sistema de ancoragem.	67
Figura 34. Bóia instrumentada com sensores de baixo custo para monitorar atividades de aquicultura.	68
Figura 35. Encalhe do navio Ever Given no Canal de Suez.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Definição das tecnologias 4.0 consideradas no presente trabalho.	41
Tabela 2. Alguns tipos de sistemas ciberfísicos utilizados em aplicações de transporte marítimo.	42
Tabela 3. Características essenciais e modelos de serviço da tecnologia CC.	60
Tabela 4. Principais desafios para implementação de tecnologias 4.0 segundo Siviero.....	71
Tabela 5. Principais desafios regionais para implementar tecnologias 4.0 na prevenção de acidentes com embarcações na região amazônica.	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4. METODOLOGIA	25
5. ACIDENTES COMUNS COM O USO DE EMBARCAÇÕES	25
5.1. COLISÃO.....	27
5.2. INCÊNDIOS OU EXPLOSÕES	29
5.3. ALAGAMENTO.....	31
5.4. ENCALHE	35
5.5. DERRAMAMENTO DE ÓLEO.....	38
6. TECNOLOGIAS 4.0 MAIS COMUNS	40
6.1. CPSS – CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (SISTEMAS CIBERFÍSICOS)	41
6.1.1. AIS – Automatic Identification System	45
6.1.2. ECDIS – Electronic Chart Display and Information System	47
6.1.3. AGN – Autonomous Guidance and Navigation	49
6.1.4. GPS – Global Positioning System	50
6.1.5. VDR – Voyage Data Recorder	50
6.1.6. VTS – Vessel Traffic Service	51
6.1.7. ARPA – Automatic Radar Plotting Aids	53
6.1.8. IBS – Integrated Bridge Systems	54
6.1.9. IR – Intelligent Robotics	55
6.2. AR – AUGMENTED REALITY & SIMULATION (REALIDADE AUMENTADA E SIMULAÇÃO).....	55
6.3. BDA - BIG DATA ANALYTICS (ANÁLISE DE MACRODADOS).....	58
6.4. CC – CLOUD COMPUTING (COMPUTAÇÃO EM NUVEM).....	60
6.5. IOT – INTERNET OF THINGS (INTERNET DAS COISAS).....	63
7. DISCUSSÃO	68
8. DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS 4.0 NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES REGIONAL	70
9. CONCLUSÃO	74

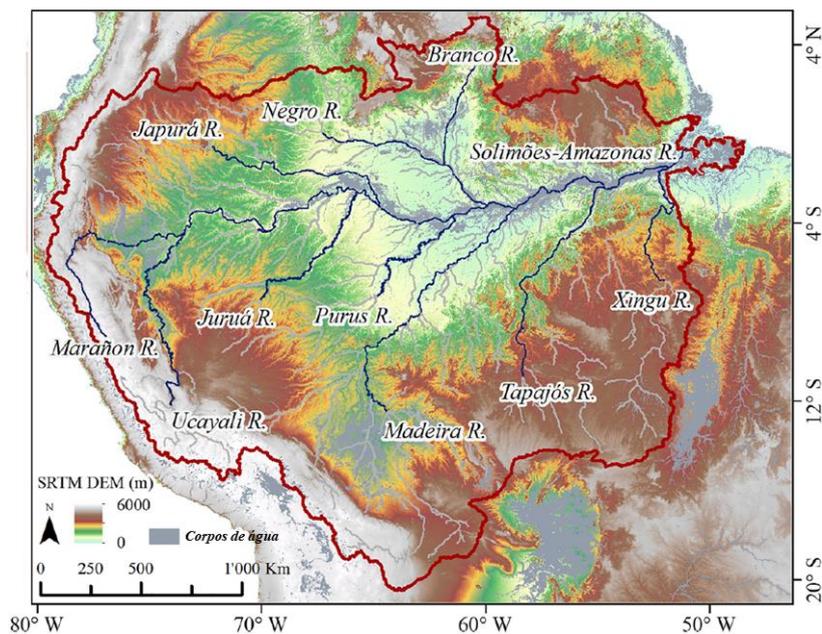
REFERÊNCIAS	74
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

Atividades comerciais desenvolvidas através do meio aquático são responsáveis pelo desenvolvimento de muitas cidades, sendo possível o transporte de cargas e passageiros, assim como a realização de atividades de pesca, pesquisa e recreio. As atividades comerciais utilizando embarcações, seja para fornecimento de alimentos ou outras mercadorias ou como meio de conexão entre diversas regiões, apresentam uma série de oportunidades e benefícios. Entretanto, existem desafios em termos de segurança das pessoas e do meio ambiente que precisam ser atendidos para garantir a sustentabilidade destas operações.

No Brasil, existem regiões nas quais as atividades comerciais utilizando embarcações que operam em diversas condições ambientais de forma contínua. Como exemplo, é possível mencionar a indústria e comércio naval na região norte do país, que possui um dos maiores sistemas hidroviários no mundo, funcionando como meio de comunicação entre vários estabelecimentos humanos. A Figura 1 mostra este sistema hidroviário que se encontra na Amazônia (ver contorno vermelho), em uma das regiões com mais biodiversidade do planeta. Na figura, pode-se verificar a complexidade do sistema de rios, identificando alguns dos rios mais conhecidos dentro do Brasil, tais como o Solimões-Amazonas, Branco, Negro, Juruá, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu.

Figura 1. Mapa que ilustra a região amazônica (contorno vermelho), ocupando grande parte da América do Sul. O mapa inclui uma escala que define a altura das regiões (SRTM DEM, em metros) e a descrição de alguns dos rios mais importantes da região.



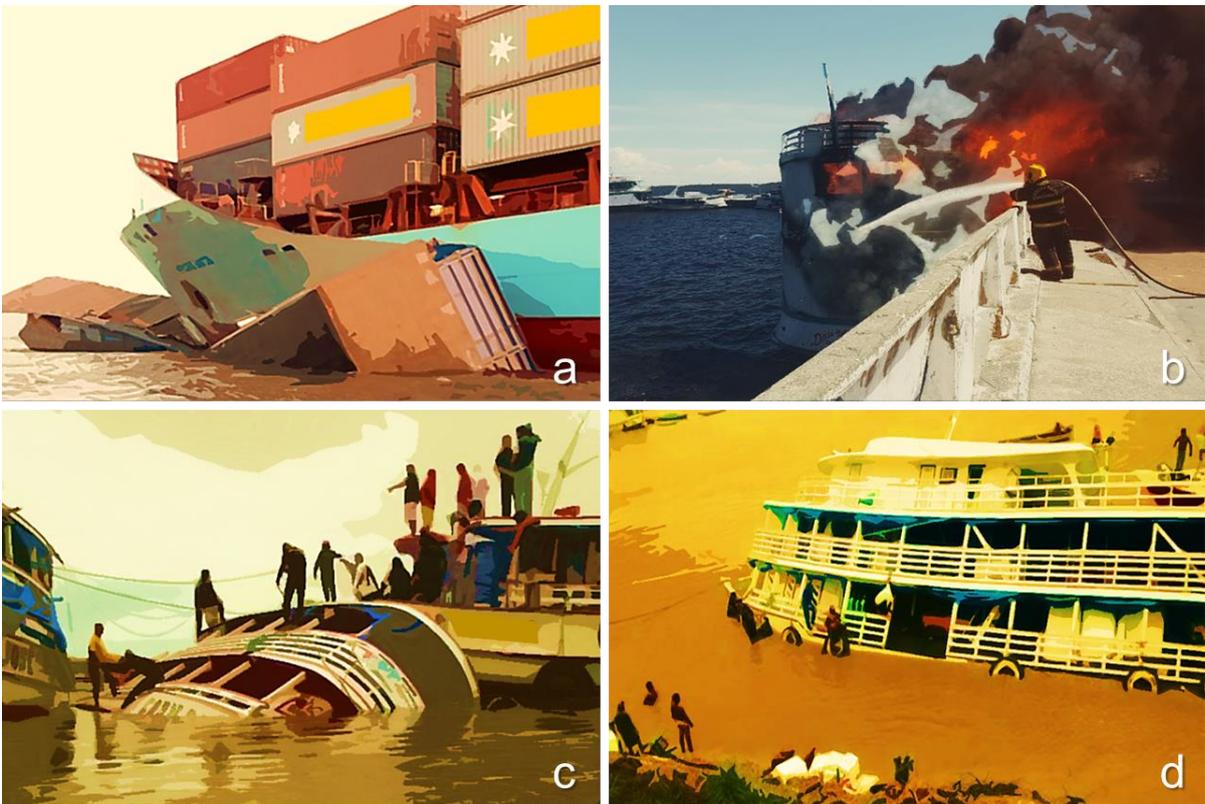
Fonte: Fassoni-Andrade et al. (2021).

Na Figura 1, pode-se observar a complexidade do sistema de rios (corpos de água) dentro da região amazônica, variando significativamente em forma, número de berços e boca. O sistema fluvial da região amazônica é o meio de desenvolvimento de uma indústria naval ativa, utilizando embarcações de maneira constante para diversas atividades comerciais.

Nesse sentido, muitas das embarcações utilizadas na região são os principais elementos da interação entre cidades sem acesso a rodovias. O aumento na segurança e na eficiência dessas embarcações depende significativamente do desenvolvimento da tecnologia na região. A complexidade da região, a extensão do sistema hidroviário, a falta de sinalização e de levantamentos batimétricos nas vias, assim como a falta de divulgação de conceitos técnicos e científicos, são fatores que precisam ser atendidos para prevenir acidentes comuns com embarcações na região. Na Amazônia brasileira tem acontecido acidentes e, muitas vezes catástrofes, relacionadas com estes fatores. Por exemplo, a Figura 2 mostra quatro representações artísticas de exemplos de acidentes que têm acontecido com embarcações operando na região amazônica. O primeiro exemplo (Figura 2a) consiste no impacto de uma embarcação que transportava carga do tipo contêiner com um comboio de balsas de carga. Sendo que o impacto da maior embarcação aconteceu pela proa, as consequências estruturais na barça, que é de menor porte, foram devastadoras. Por outro lado, a Figura 2b mostra um exemplo de incêndio em uma embarcação que se encontrava atracada em um porto, no Estado do Amazonas. Caso estes tipos de acidentes ocorram longe de um porto, as consequências podem ser muito graves, devido à dificuldade de se obter um pronto socorro. As Figuras 2c e 2d, apresentam exemplos de naufrágios de embarcações, as quais emborcaram após uma perda de flutuabilidade, possivelmente causada após uma colisão ou condição de alagamento. Segundo Portal do Holanda (2017), a situação da Figura 2d ocorreu logo após uma interação da embarcação com um tronco. Cabe mencionar que devido à existência de uma grande diversidade de plantas na região amazônica, é comum que existam troncos e galhos. Além de diversas espécies de plantas flutuando nos rios, o que pode aumentar ainda mais os riscos a uma navegação segura.

Figura 2. Representações artísticas de alguns exemplos de acidentes com embarcações que têm acontecido na Amazônia brasileira. (a) Colisão de uma embarcação de carga com um comboio de nove balsas, ocorrido no rio Amazonas, entre os municípios de Óbidos e Oriximiná, no Estado do Pará. (b) Incêndio em uma embarcação no Porto de Manaus Moderna, no Estado do Amazonas. (c) Naufrágio de uma embarcação de 80 passageiros no

rio Solimões, no Estado do Amazonas. (d) Naufrágio de embarcação após colidir com um tronco de madeira, no do rio Purus, no município de Anamá.



Fonte: Modificado de (a): Folhadelondrina (2017); (b): Amazonianarede (2018); (c) Minutouno (2008); (d) Portaldoholanda (2017).

Independentemente dos riscos que possam existir envolvendo a propulsão e modos de operação das embarcações, pesquisas recentes têm atribuído as razões de diversos acidentes a fatores humanos (CORADDU et al., 2020). Na região amazônica, esta problemática precisa de alternativas que ajudem a reduzir os riscos de acidentes nas operações com embarcações. Alternativas e perspectivas de médio e longo prazo em outras partes do mundo estão incluindo atuação com navios autônomos, não tripulados ou controlados remotamente. Embora muitas questões envolvendo outras alternativas tenham sido inicialmente melhoradas pela tecnologia atual, o planejamento baseado em dados em tempo real e as práticas de gerenciamento das operações das embarcações estão altamente integrados pelas tecnologias da Indústria 4.0, também conhecida como a quarta revolução industrial. A implementação destas tecnologias para prevenir acidentes na região amazônica pode ser uma alternativa a longo prazo.

Nesse contexto, o presente trabalho se concentra em discutir as limitações e possibilidades de implementar tecnologias da indústria 4.0 para uma possível redução de acidentes com embarcações regionais. Até agora, pesquisas internacionais que relacionem estes

tópicos (Indústria 4.0 e prevenção de acidentes marítimos) está em fase de amadurecimento para diversas tecnologias (SEPEHRI et al., 2021). Por este motivo, o presente trabalho visa introduzir alguns conceitos, relacionados com tipos de acidentes e tecnologias 4.0 comuns, que possam ser de utilidade no desenvolvimento de operações com embarcações regionais mais seguras. As limitações e possibilidades de implementação de algumas tecnologias, considerando a realidade local e relacionando com o uso de embarcações na região Amazônica, são discutidas.

O presente trabalho é dividido na seguinte estrutura: O Capítulo 2 define os objetivos gerais e específicos. O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica relacionada com o uso de tecnologias 4.0 em diversas áreas. O Capítulo 4 descreve a metodologia utilizada. Subsequentemente, o Capítulo 5 e o Capítulo 6 apresentam conceitos básicos de acidentes e tecnologias 4.0 mais comuns, respectivamente. Logo depois, o Capítulo 7 descreve aplicações específicas de tecnologias 4.0 na operação de embarcações e o Capítulo 8 discute os desafios de implementação na região amazônica. Finalmente, as conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 9.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Pesquisar e discutir as tecnologias 4.0 que poderiam ser implementadas para reduzir o risco de acidentes nas operações com embarcações, considerando o caso da região amazônica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discutir os principais riscos de acidentes enfrentados nas atividades com embarcações na região.
- Apresentar e discutir as tecnologias da Indústria 4.0 mais comuns;
- Avaliar as possibilidades de implementação de tecnologias 4.0 na prevenção de acidentes com embarcações;
- Discutir as limitações existentes e algumas possibilidades para implementar as tecnologias 4.0 para prevenir acidentes nas atividades onde sejam empregadas embarcações na região amazônica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados trabalhos já existentes que são relevantes para a pesquisa. O presente trabalho tem como propósito descrever algumas alternativas de implementação de tecnologias da Indústria 4.0, visando o desenvolvimento sustentável das atividades navais na região amazônica. Especificamente, visa-se conhecer mais a cerca das possibilidades da Indústria 4.0 para prevenção de acidentes durante as operações com embarcações regionais.

As tecnologias da Indústria 4.0 podem ser consideradas como tecnologias modernas que podem ser utilizadas para realizar inovações em diversas áreas da engenharia, incluindo operações mais sustentáveis. Dentre estas tecnologias, é possível mencionar a Inteligência Artificial (*AI, Artificial Intelligence*), A Internet das Coisas (*IoT, Internet of Things*), análise de dados massivos (*Big Data*), Aprendizado de Máquinas (*ML, Machine Learning*), entre outras tecnologias que estão sendo utilizadas para implementar a Indústria 4.0 (JAVAID et al., 2022).

Atualmente, as Nações Unidas têm diversos objetivos para o desenvolvimento sustentável (UN, 2020), dentre eles, garantir a saúde e o bem estar das pessoas (objetivo número 3), que estaria relacionado com a redução de acidentes com embarcações. Javaid et al. (2022) propõe que os tópicos principais que precisam ser considerados para uma adequada implementação das tecnologias 4.0, para o desenvolvimento de um ambiente sustentável são: Energia, Recursos Naturais, Materiais, Resíduos e Emissões, entre outros, como exemplificado na Figura 3.

Figura 3. Dimensões da Indústria 4.0 que precisam ser consideradas para fomentar a sustentabilidade ambiental.



Fonte: Javaid et al. (2022).

Embora a adoção de novas tecnologias é um fator importante no desenvolvimento econômico de uma região, muitas vezes o processo de adoção dessas tecnologias não acontece rapidamente. Isto se deve principalmente à velocidade das mudanças tecnológicas e à necessidade de autonomia das capacidades para assimilar novos conhecimentos. Delera et al. (2022) discutiu a problemática da adoção de novas tecnologias em países em desenvolvimento, considerando os casos de estudo de empresas de manufatura. Foi concluído que a participação em redes internacionais pode contribuir na assimilação de novas tecnologias.

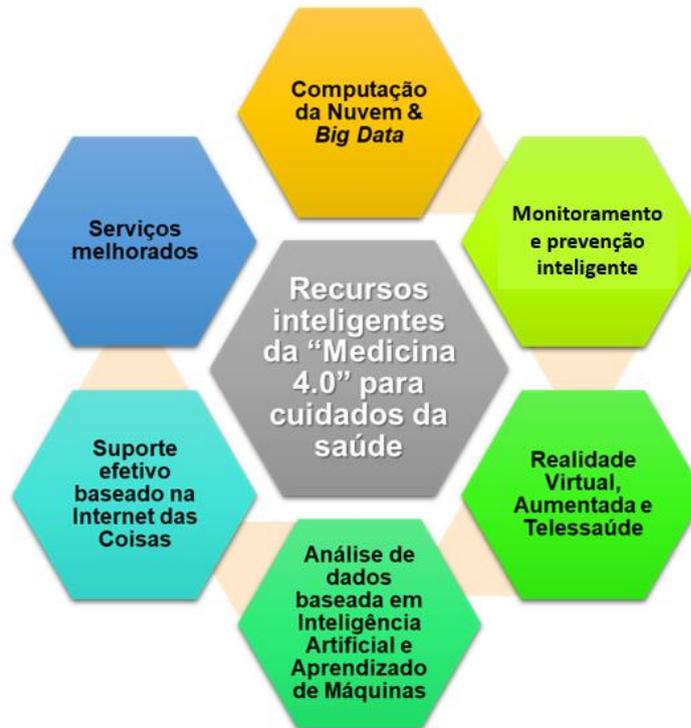
As tecnologias 4.0 estão tendo aplicação em diversas áreas da ciência e tecnologia, incluindo a medicina, a indústria da construção, a indústria da madeira, agricultura, indústria do plástico e até na prevenção de infecções respiratórias como a COVID-19. Um resumo de contribuições recentes é apresentado a seguir.

Como primeiro exemplo das aplicações das tecnologias da Indústria 4.0, cabe mencionar as aplicações na área da saúde. Haleem et al. (2022) discutem as características, capacidades e aplicações possíveis das tecnologias 4.0 para cuidado da saúde. A aplicação das tecnologias 4.0 à área da saúde é conhecida como “Medical 4.0”, tratando-se da quarta revolução médica. No trabalho de Haleem et al. (2022) é discutido que com a implementação das tecnologias 4.0, os avanços médicos serão mais rápidos e eficazes, fornecendo medicamentos de maneira mais adequada aos pacientes. Por exemplo, os dados dos pacientes poderão ser coletados de maneira eletrônica, sendo compreendidos e diagnosticados por meio de ferramentas tecnológicas. Assim, as técnicas convencionais de tratamento centradas no médico, poderão ser centradas na análise e seguimento do paciente.

O uso de hospitais, clínicas e outras instituições com ferramentas de saúde 4.0 poderá otimizar e automatizar os serviços médicos e os benefícios entregues aos seus pacientes. As possibilidades de melhora nos software de saúde digital permitirão alguns benefícios, como ajudar a equipe médica a reconhecer as principais doenças precocemente, minimizando erros médicos e colaborado em conjunto na avaliação de um caso médico.

Dentre as aplicações possíveis podem se mencionar a implementação de tecnologias de telemedicina, dispositivos médicos habilitados para IA (Inteligência Artificial) e tecnologias que coletam informações de várias fontes. Estes últimos poderão incluir coleta de informações das redes sociais, realização de atividades financeiras online (Exemplo: comércio eletrônico, transações online), e análises de padrões e tendências que ajudem a otimizar processos. A proposta de recursos inteligentes na “Medicina 4.0” descritos por Haleem et al. (2022) são apresentados no diagrama da Figura 4.

Figura 4. Diagrama que apresenta os recursos inteligentes da “Medicina 4.0” para cuidados da saúde.



Fonte: Haleem et al. (2022).

Paranitharan et al. (2022) discutiram os desafios e as possibilidades de aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na contenção do espalhamento do Covid-19, que foi um vírus que recentemente causou uma pandemia global, gerando diversos desafios relacionados com a saúde das pessoas e com a demanda por equipamentos médicos, medicamentos e acessórios. Tecnologias da informação avançada foram fundamentais para rastrear e monitorar a propagação do vírus por meio de análises de bancos de dados. Os relatos de casos também foram considerados neste estudo. No estudo de Paranitharan et al. (2022) são discutidos alguns desafios significativos ou barreiras para conter a propagação de Covid-19, avaliando várias tecnologias úteis da indústria 4.0 para controlar e gerenciar a pandemia de Covid-19.

De maneira similar, Moosavi et al. (2021) pesquisaram as alternativas de uso de diversas tecnologias 4.0 para combater possíveis pandemias devido à relevância social que teve a Covid-19. Dentre elas, podem se mencionar: Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Computação em Nuvem, Aprendizado de Máquina, Segurança Cibernética, Big data, Cadeia de blocos (*blockchain*), Digitalização e Sistemas Ciberfísicos. Os autores manifestam que o

acontecimento da Covid-19 acelerou a transformação digital da sociedade com relação ao uso da Indústria 4.0.

A sustentabilidade é um tópico de relevância na indústria naval atual, pois é requerido diminuir os impactos socioambientais negativos causados durante os processos de produção em diferentes áreas. As aplicações das tecnologias 4.0 para acrescentar o desenvolvimento sustentável também estão sendo estudadas atualmente, como no caso da indústria do plástico. Nara et al. (2021) avaliaram o impacto esperado das tecnologias 4.0 considerando o caso de estudo da indústria do plástico no Brasil. Os autores apresentaram um estudo estatístico baseado em um método multicritério para identificar as tecnologias 4.0 com maior e menor impacto no desenvolvimento sustentável. Foi concluído que a Internet das Coisas, Sistemas Cyber Físicos, sensores e Big Data são tecnologias muito relevantes no desenvolvimento sustentável. Impactos negativos foram encontrados na aplicação de robôs (para substituição de empregos) e a pouca influência da Computação da Nuvem e tecnologias de integração de sistemas no desenvolvimento sustentável.

Molinaro e Orzes (2022) realizaram uma revisão de estudos relacionados com a contribuição das tecnologias 4.0 na indústria da madeira, considerando o processo de coleta e elaboração de produtos finais. O estudo discutiu as tecnologias 4.0 que são comumente usadas nessa indústria, proporcionando informações úteis para tomada de decisões e oportunidades para novos estudos nesse tópico. Foram identificadas algumas tecnologias que não têm sido amplamente exploradas nessa indústria, incluindo: cadeia de blocos (*blockchain*), realidade aumentada, assim como robôs autônomos e colaborativos.

A indústria naval requer do uso de produtos obtidos através de processos de manufatura. Ammar et al. (2021) pesquisaram as alternativas para melhorar os sistemas organizacionais de controle de qualidade e manufatura de materiais, visando a solução de problemas de manufatura complexos em diversas aplicações. Os autores identificaram cinco razões principais para a falha de uma ferramenta ou equipamento: desgaste, falta de treinamento, erros de operação, desenho ou manufatura defeituosos, manutenção inadequada, negligência de terceiros. Por outro lado, também propuseram cinco características de um gerenciamento de manufatura adequado: simplicidade, interoperabilidade, segurança, inteligência e automação. Finalmente, propuseram oito benefícios de um gerenciamento efetivo de manufatura, como mostrado na Figura 5.

Figura 5. Diagrama que apresenta os benefícios para o gerenciamento de manufatura utilizando tecnologias 4.0.



Fonte: Ammar et al. (2021).

Todos os dias, diversos tipos de cargas, incluindo alimentos de origem agrícola, são transportadas utilizando embarcações, sendo necessário otimizar os processos de produção e transporte. Yadav et al. (2022) avaliaram a aplicação das tecnologias 4.0 no setor da agricultura, salientando a importância que estas tecnologias têm ao longo da cadeia de abastecimento de produtos agrícolas, para atender a demanda global de alimentação e manter padrões adequados para garantir proteção alimentar. A pesquisa revisou estudos relacionados com a rastreabilidade e segurança alimentar, sistemas de informação e gestão, desperdício de alimentos, controle e monitoramento, tomadas de decisão e agronegócio, dentre outras aplicações. Foi concluído que a integração de diversas tecnologias 4.0 pode oferecer soluções de baixo custo para capacitar e fomentar a sustentabilidade nessa área.

A segurança no trabalho é um assunto de vital importância em diversas áreas de atuação na indústria naval. Esse é um tema vital em atividades de construção naval e transporte marítimo. Zorzenon et al. (2022) realizaram um estudo de revisão, visando conhecer mais sobre o impacto potencial da indústria 4.0 na saúde e segurança no trabalho. Eles concluíram que esta linha de pesquisa está tendo mais interesse na Europa, identificando algumas das aplicações de

tecnologias 4.0 mais relevantes, considerando impactos positivos e negativos. Aplicações de tecnologias com potencial para impactos positivos em saúde e segurança ocupacional são: contribuir na mitigação de riscos ocupacionais, buscar um ambiente de trabalho mais seguro, implementar ações para manter os trabalhadores mais saudáveis. Com relação aos impactos negativos, alguns tópicos de interesse podem estar baseados em reduzir a fadiga, doenças, estresse, problemas musculoesqueléticos e riscos psicossociais.

Por se tratar de tecnologias novas, a implementação de tecnologias 4.0 em diversas áreas de atuação, incluindo a indústria naval, requer de capacitação das pessoas, sendo necessário melhorar o envolvimento e treinamento de empregadores e empregados. Gajek et al. (2022) discutiram o assunto da educação nos processos de segurança nos futuros empregados na indústria 4.0. Segundo eles, já existem cursos de mestrado em alguns países relacionados com alguns tópicos das tecnologias 4.0 e que a definição de “Segurança 4.0” requer treinamento para avaliar as intersecções da Indústria 4.0 e Segurança 4.0, considerando modelos pedagógicos adequados.

Na área de transporte rodoviário, a redução de acidentes de pedestres considerando o caso de veículos de rodas automatizados tem sido foco de estudo para verificar a aplicabilidade de tecnologias 4.0 (ZAVODJANČÍK; KASANICKÝ; DEMČÁKOVÁ, 2021). Zavodjancík et al. (2021) discutiram as medidas e formas de redução da ocorrência de acidentes de trânsito entre veículos e pedestres, ou pelo menos minimizar as consequências de um acidente de trânsito. Foi concluído que tecnologias e procedimentos utilizados na automação rodoviária de veículos podem reduzir significativamente os acidentes, sendo necessária a correta detecção de pedestres por um veículo rodoviário automatizado. De maneira similar, Martynenko et al. (2022) pesquisaram alternativas para aumentar a eficiência de métodos de pesquisa para prevenir acidentes ferroviários. Foi salientada a importância de desenvolver recomendações para identificar causas de acidentes e melhorar a segurança do trânsito em curvas e terrenos montanhosos.

Aplicações navais relacionadas com veículos autônomos estão sendo desenvolvidas atualmente com o uso de tecnologias 4.0, particularmente em embarcações que operam na superfície no mar e robôs submarinos. Höyhtyä et al. (2017) e Felski et al. (2020) apresentaram os desafios e ameaças no uso de embarcações autônomas no oceano, enquanto Sahoo et al. (2019) apresentaram os avanços mais recentes relacionados com veículos subaquáticos autônomos. Uma revisão das características hidrodinâmicas destes últimos foi feita por Panda et al. (2021).

Desde uma abordagem mais relacionada com a prevenção de acidentes com veículos autônomos, Petrovic et al. (2020) pesquisaram os acidentes de tráfego com veículos autônomos, avaliando os tipos de colisão, tipos de manobras e erros comuns dos condutores dos veículos. Foi concluído que os acidentes na parte traseira de veículos autônomos são mais comuns. Erros de operação mais comuns são os relacionados com velocidade de avanço insegura e seguir muito de perto outros veículos ou objetos.

Recentemente, De la Peña Zarzuelo et al. (2020) apresentaram uma revisão considerável das aplicações da Indústria 4.0 na indústria portuária e marítima, descrevendo a evolução das tecnologias e funções portuárias ao longo dos anos (Figura 6). A partir da pesquisa, foi constatado que tecnologias relevantes destas indústrias estão relacionadas com soluções da internet das coisas e sensoriamento, aplicações de cibersegurança, computação em nuvem, manufatura aditiva com impressão 3D, big data, realidade aumentada, simulação e modelagem. Algumas delas se encontram aplicadas na indústria marítima, enquanto outras ainda estão em fase de pesquisa e amadurecimento tecnológico. A pesquisa de De la Peña Zarzuelo et al. (2020) também analisa o estado da arte sobre as novas tecnologias 4.0 emergentes, resumindo como os portos e terminais estão implantando projetos na nova era de tecnologias inteligentes e 4.0.

Figura 6. Evolução do desenvolvimento dos portos ao longo dos anos.



Fonte: Deloitte (2017) *apud* De la Peña Zarzuelo et al. (2020).

Por outro lado, com relação à área das aplicações marítimas, Sullivan et al. (2020) explicaram o conceito “*Maritime 4.0*” (Marítimo 4.0), avaliando as oportunidades na digitalização e manufatura avançada para o desenvolvimento de embarcações. Eles salientaram a importância da integração de tecnologias 4.0 para melhorar os processos de fabricação. No trabalho, os autores explicaram conceitos básicos relacionados com a relevância da digitalização nos sistemas de desenho e construção de embarcações. Além disso, propuseram que o conceito Marítimo 4.0 (*Maritime 4.0 – M4.0*) se refere aos seguintes tópicos:

- A integração automatizada de dados reais na tomada de decisões;

- A adoção e implementação de tecnologias conectadas para projeto, produção e operação;
- Redução do impacto ambiental da embarcação, relacionado à produção, operação, descarte (incluindo emissões, ruído subaquático e utilização de material);
- Operação acessível e sustentável;
- Redução de riscos, aumentando a segurança e proteção.

Nesse contexto, segundo Sullivan et al. (2020), os principais elementos do M4.0 estão relacionados com: (1) Desenho da embarcação; (2) Construção da embarcação; (3) Operação; e (4) Serviço; e os tópicos principais de M4.0 a serem discutidos são: inovação, sustentabilidade, segurança e seguridade e operações automatizadas e conectadas.

Sepehri et al. (2021) apresentaram uma das contribuições mais recentes das aplicações da indústria 4.0 na Engenharia Naval. Eles desenvolveram um estudo de revisão do uso de tecnologias 4.0 para prevenir acidentes em atividades do transporte marítimo. A aplicação destas tecnologias para a área de transporte marítimo é conhecida também como “*Shipping 4.0*”. Basicamente, o estudo consistiu em apresentar as tecnologias 4.0 mais comuns, identificar os riscos críticos de acidentes de transporte marítimo, analisar o papel das tecnologias 4.0 no controle desses riscos, propondo recomendações para desenvolvimentos futuros. Na pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática que apresentou como as abordagens da Indústria 4.0 podem ser usadas para prevenir acidentes, assim como as lacunas que ainda existem. De modo geral, foi concluído que a colisão é o acidente mais comum entre embarcações, enquanto a tecnologia mais comum para controlar os acidentes está baseada em sistema de identificação automática. Por outro lado, é necessário explorar mais as possibilidades de uso de tecnologias como computação em nuvem, internet das coisas e análise de big data.

4. METODOLOGIA

Neste trabalho, uma revisão sistemática da literatura (SLR – Systematic Literature Review) foi usada para coletar e analisar documentos relevantes, que foram usados para desenvolver uma estrutura conceitual para orientar pesquisas futuras sobre a mitigação do risco de acidentes de navios usando tecnologias da Indústria 4.0.

O presente estudo foi desenvolvido como explicado a seguir:

Primeiro, a literatura relevante foi amplamente pesquisada e filtrada a partir de bancos de dados científicos selecionados usando palavras-chave adequadas. Foi feita uma revisão detalhada da literatura sobre tipos comuns de acidentes na região amazônica e as tecnologias 4.0 mais utilizadas na indústria naval. Por isso, foram escolhidos Google Scholar e Scopus como bases de busca. Artigos relacionados de editores conhecidos, incluindo Elsevier, IEEE, Springer, Taylor & Francis, Wiley, Emerald e MDPI também foram utilizados em outras pesquisas relacionadas à Indústria 4.0. Também foram consultadas bases de dados, notícias, normas e regulações internacionais e relatórios técnicos disponíveis na internet.

Foram feitas traduções e resumos dos conceitos mais relevantes de cada tópico. Foram consideradas fontes de livre acesso, com texto e imagens de uso livre de adaptação. A maioria das imagens usadas para fins explicativos, foi utilizada sob a licença Creative Commons CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

O trabalho está organizado principalmente por três seções, correspondentes à revisão de acidentes com embarcações, às tecnologias 4.0 aplicáveis na indústria naval e às barreiras que podem ser encontradas para implementação na região amazônica.

5. ACIDENTES COMUNS COM O USO DE EMBARCAÇÕES

Antes da descrição de acidentes comuns com o uso de embarcações, é necessário conhecer a definição do risco adequado ao contexto, pois podem existir riscos diversos, tais como ambientais, epidemiológicos, de acidentes etc. No caso do presente trabalho, considera-se o contexto de riscos de acidentes em atividades navais. Também, é importante salientar o que os termos "Perigo" e "Risco" estão relacionados, porém são diferentes.

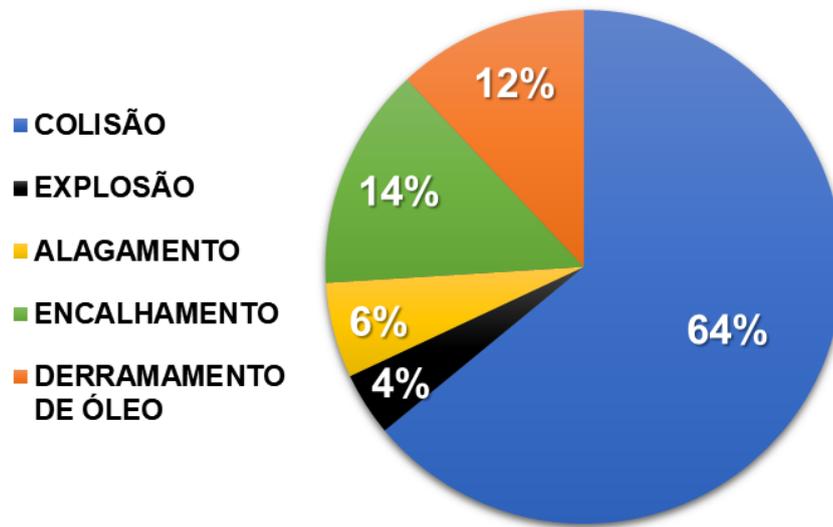
Segundo Sanders e McCormick (1993), “Perigo” pode ser definido como: “uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte”.

Outra definição de “Perigo” é dada por Kolloru (1995): “ Um perigo é um agente químico, biológico ou físico ou um conjunto de condições que apresentam uma fonte de risco mas não o risco em si”. Por outro lado, “Risco” é definido por Sanders e McCormick (1993) como “a probabilidade ou chance de lesão ou morte”. Outra definição mais detalhada é proposta por Kolloru (1995): “Risco é uma função da natureza do perigo, acessibilidade ou acesso de contato (potencial de exposição), características da população exposta (receptores), a probabilidade de ocorrência e a magnitude da exposição e das consequências”. Alguns autores entendem o “Risco” como a probabilidade de perder, ganhar algo, ou a vulnerabilidade de algo acontecer, ou mesmo uma relação hipotética entre perigo e segurança (RIBEIRO, 2018).

No âmbito da saúde e segurança ocupacional no trabalho (*OH&S, Occupational Health and Safety*) existem algumas normativas que devem ser conhecidas para tratar problemas relacionados com identificação de perigos, avaliações e controles de riscos. Por exemplo, as normas britânicas propuseram as series para gestão de saúde e segurança ocupacional OHSAS (*Occupational Health and Safety Assessment Series*), que é um padrão reconhecido para avaliar e certificar sistemas de gerenciamento de *OH&S* (BSI, 2022). O padrão foi desenvolvido para ser compatível com as normativas de qualidade ISO 9001 e ISO 14001. A norma *BS OHSAS 18001:2007* define o “Perigo” como “fonte, situação ou ato com potencial de dano em termos de lesão humana ou problemas de saúde, ou uma combinação destes”. A mesma norma define “Risco” como “combinação da probabilidade de ocorrência de um evento ou exposição perigosa e a gravidade da lesão ou doença que pode ser causada pelo evento ou exposição” (ADVISERA, 2015).

De maneira geral, acidentes comuns com embarcações em operação, que afetam consideravelmente as vidas humanas e o meio ambiente, podem ser classificados como colisão, fogo e ou explosão, alagamento, encalhe e derramamento de combustíveis (MROZOWSKA, 2021; SEPEHRI et al., 2021). A Figura 7 ilustra a porcentagem de ocorrência destes acidentes, baseado nos resultados da pesquisa de revisão desenvolvida por Sepehri et al. (2021). Embora os resultados apresentados na figura apenas são representativos das amostras consideradas na pesquisa de Sepehri et al., pelo menos permitem ter uma ideia que o acidente mais comum podem ser o encalhamento e a colisão, sendo o fogo/explosão o menos comum. Nos parágrafos a seguir, são descritos brevemente os tipos de acidentes em embarcações em operação mencionados acima, incluindo alguns métodos que estão sendo utilizados atualmente para seu estudo.

Figura 7. Porcentagens de ocorrências de acidentes comuns com embarcações em operação sugeridas pelo EMSA, 2017. (*European Maritime Safety Agency*).



Fonte: Sepehri et al. (2021).

5.1. COLISÃO

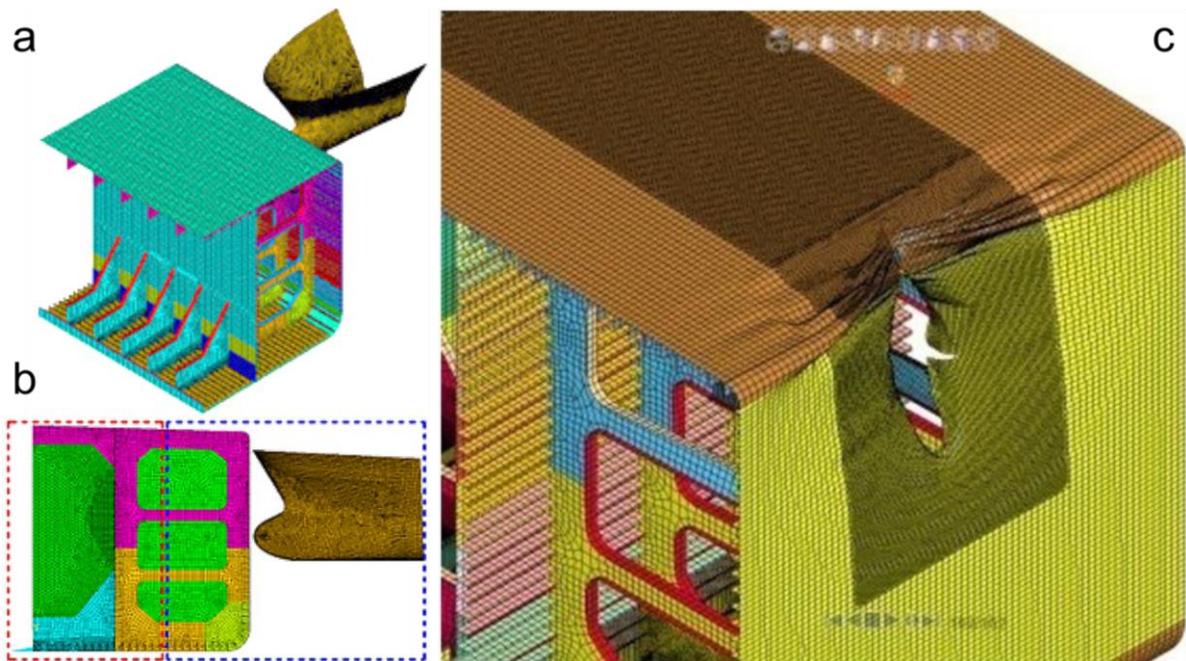
Na forma mais simples, uma colisão pode ser definida como qualquer impacto entre qualquer parte da embarcação com outra embarcação ou objeto. Alguns fatores relevantes, relacionados à colisão de navios são os seguintes (BAI; JIN, 2016):

- A propriedade da colisão: seja a colisão com algum corpo rígido (ou flexível), plataforma offshore ou outra embarcação;
- A força da colisão: considerando velocidade de avanço, deslocamento, navio pela proa, calado e azimute relativo da embarcação em colisão;
- A condição do navio atingido: considerando o deslocamento, calado, velocidade de avanço e azimute relativo;
- Condições ambientais: correnteza, ondas e vento;
- A capacidade da estrutura do navio para suportar a colisão. A resposta estrutural depende bastante da posição relativa de colisão.

A Figura 8 mostra um exemplo de uma simulação computacional que foi feita por Martinez et al. (2020) para estudar a colisão entre duas embarcações. O estudo foi realizado considerando software de Método dos Elementos Finitos (FEM, *Finite Element Method*) para verificar o dano estrutural causado na colisão. As Figuras 8a e 8b mostram uma perspectiva tridimensional e uma vista bidimensional, respectivamente, de uma embarcação com bulbo atingindo o costado de uma estrutura maior. A Figura 8c mostra o resultado da simulação

computacional, na qual pode ser observado o dano estrutural após a colisão. Este tipo de ferramenta numérica é de muita relevância atual para avaliar diversos cenários de colisão entre embarcações.

Figura 8. Exemplo de uma simulação numérica utilizando Métodos dos Elementos Finitos (FEM, Finite Element Method) para avaliar os efeitos de colisão entre a proa de uma embarcação com velocidade de avanço e o costado de uma embarcação flutuante.

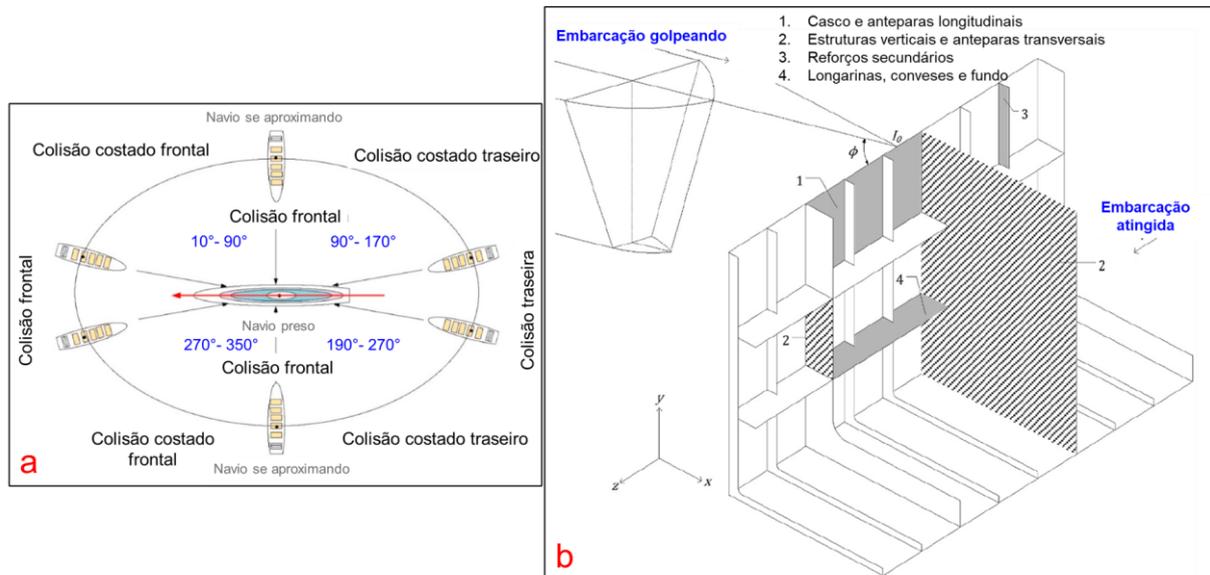


(a) Vista isométrica da interação. (b) Vista longitudinal da proa da embarcação com velocidade de avanço interagindo com o costado da embarcação flutuante. (c) Resultado da simulação numérica após do impacto.

Fonte: Martinez et al. (2020).

A Figura 9a ilustra uma classificação das possíveis posições de colisão relativas que podem acontecer entre duas embarcações, como proposto por Zhang et al. (2021), que propuseram um método para a avaliação direta de danos por colisão de navios em condições reais. Durante a análise de colisões, é importante analisar a resistência estrutural da embarcação que recebe o impacto. A Figura 9b define os elementos estruturais da embarcação a ser atingida, como definido por Zhang et al. (2021).

Figura 9. (a) Classificação de cenários de colisão segundo as posições relativas entre duas embarcações. (b) Elementos estruturais da embarcação que recebe o impacto.



Fonte: Zhang et al. (2021).

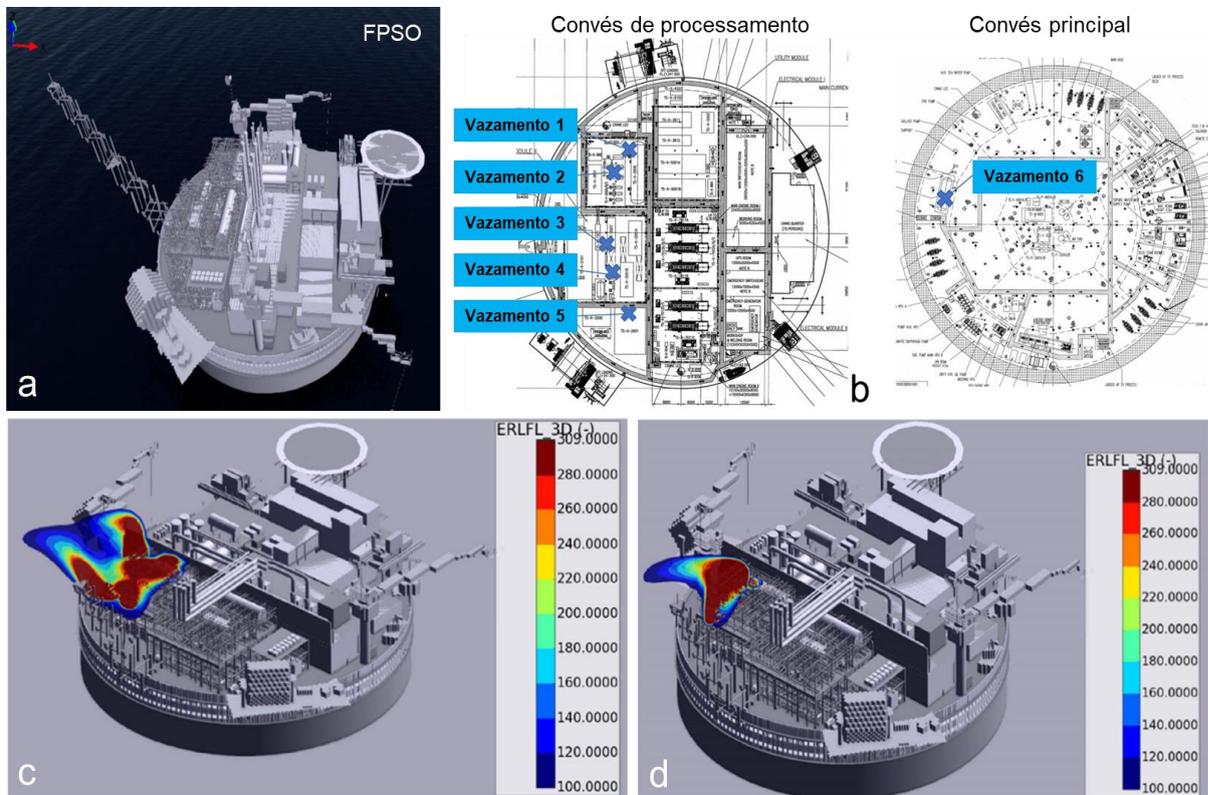
5.2. INCÊNDIOS OU EXPLOSÕES

Outros acidentes muito comuns nas operações de embarcações ou sistemas flutuantes são os incêndios (fogo) ou as explosões. Para que estes eventos possam acontecer é necessário que existam três elementos (o “triângulo do fogo”): combustível, calor e oxigênio. Por exemplo, em embarcações do tipo navio-tanque os acidentes de incêndio e explosão ocorrem frequentemente porque costumam transportar grandes quantidades de carga perigosa. Para prevenir acidentes de incêndio e explosão, é fundamental conhecer e avaliar os diversos fatores que causam acidentes e seus efeitos (AHN; YU; KIM, 2021). Por exemplo, para o caso de acidentes por explosão causados por ambiente da atmosfera de tanques inseguros, Ahn et al. (2021) propuseram que os principais fatores que podem propiciar acidentes estão relacionados com fatores humanos, fatores de equipamentos e máquinas, fatores da média (comunicação) e fatores de gerenciamento.

Atualmente, estão sendo utilizadas ferramentas de simulação numérica computacional para avaliar eventos de incêndio e explosão em embarcações. Um exemplo muito recente é o estudo publicado por Xie et al. (2022), que realizaram uma análise de fluidodinâmica computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) para pesquisar diversos cenários de incêndio e explosão em uma unidade flutuante de produção, armazenamento e transferência sistema flutuante (FPSO, *Floating Production Storage and Offloading*) na China (Figura 10a).

Nas simulações foram consideradas diversos pontos de vazamento de combustível nos conveses de processamento e principal (Figura 10b). As Figuras 10c e 10d mostram alguns exemplos de cenários de vazamento simulados, considerando diferentes velocidades do vento.

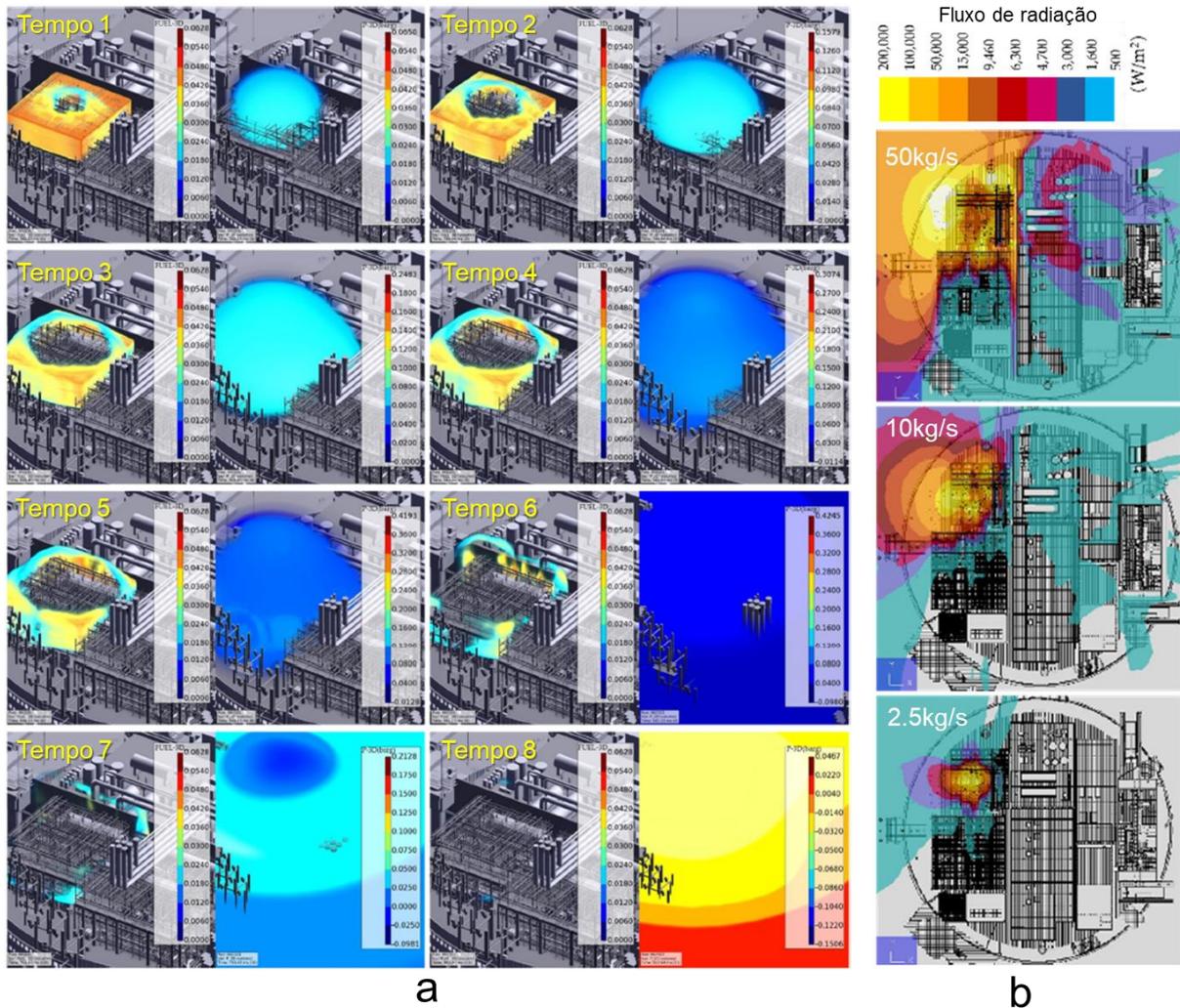
Figura 10. Exemplo de simulação de incêndio e explosão em uma embarcação tipo FPSO. (a) Vista tridimensional do FPSO. (b) Pontos de vazamento de gás nos conveses da embarcação, utilizados na simulação computacional. (c) Nuvem de gás simulada, considerando uma taxa de vazamento de 50 kg/s, direção de vento pelo Leste, velocidade do vento de 6m/s. (d) Nuvem de gás simulada, considerando uma taxa de vazamento de 25 kg/s, direção de vento pelo Leste, velocidade do vento de 6 m/s.



Fonte: Xie et al. (2022).

Os resultados das simulações de explosão e incêndio (propagação do fogo) são apresentados nas Figuras 11a e 11b, respectivamente. Na Figura 11a pode ser analisada a evolução no tempo da nuvem de gás e da onda de sobre pressão que são formadas. Por outro lado, na Figura 11b é possível ver os resultados do fluxo de radiação para diferentes taxas de vazamento (50, 10 e 2.5 kg/s).

Figura 11. Resultados da simulação devida a explosão e incêndio. (a) Simulação da evolução no tempo de um caso de estudo de explosão. As figuras da esquerda mostram a nuvem de gás e as da direita mostram a onda de sobrepressão. (b) Resultados da simulação de incêndio no convés de processamento, para diferentes taxas de vazamento de gás.



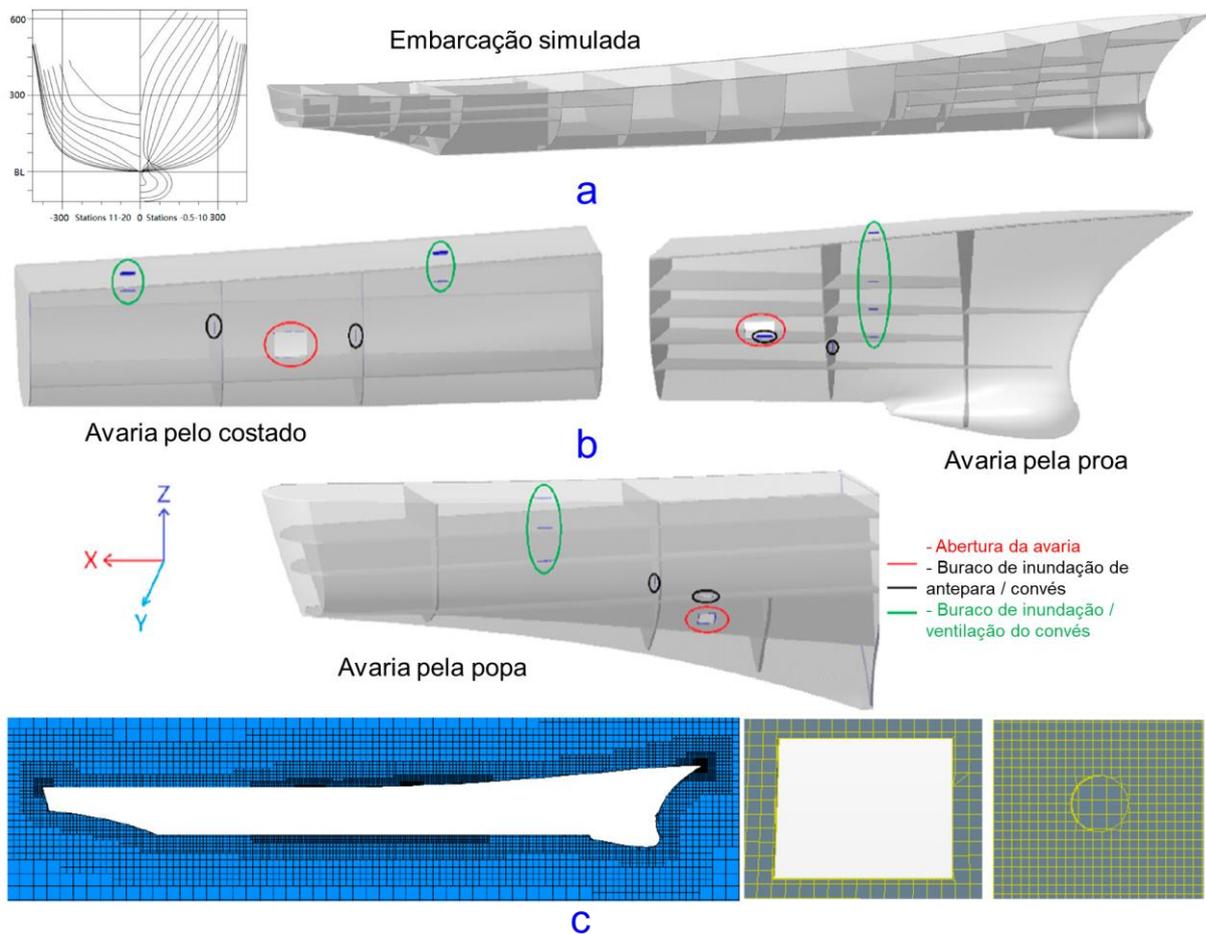
Fonte: Xie et al. (2022).

5.3. ALAGAMENTO

Outro tipo de acidente comum em embarcações são os alagamentos, tanto em porões, tanques, conveses etc. Estes problemas podem acontecer por diversas razões, incluindo as avarias causadas durante colisões, falhas na soldagem, água embarcada, entre outros problemas que facilitem a inundação de espaços abertos ou com avaria. A inunda o destes espaços pode causar mudança da estabilidade da embarca o e, conseqüentemente, dos seus movimentos, podendo causar condi oes de risco.

As novas tecnologias de simulação computacional e de digitalização estão permitindo analisar este problema com muito detalhe, permitindo o estudo de diversas condições de alagamento. Um exemplo recente feito em uma velocidade de avanço foi analisado por Zhang et al. (2019) utilizando métodos CFD. O casco da embarcação simulada corresponde ao da embarcação US Navy Destroyer DTMB 5415 (Figura 12a). No estudo, diversas condições de alagamento foram simuladas, como ilustrado na Figura 12b, sendo necessário de realizar refinamentos das malhas computacionais muito finas para representar as avarias (Figura 12c).

Figura 12. Exemplo de uma embarcação considerada para simular diversas condições de alagamento utilizando fluidodinâmica computacional. (a) Plano de linhas e vista tridimensional longitudinal da embarcação. (b) Condições de avaria na proa, costado e popa. (c) Malhas do casco e das avarias consideradas para realizar as simulações numéricas.

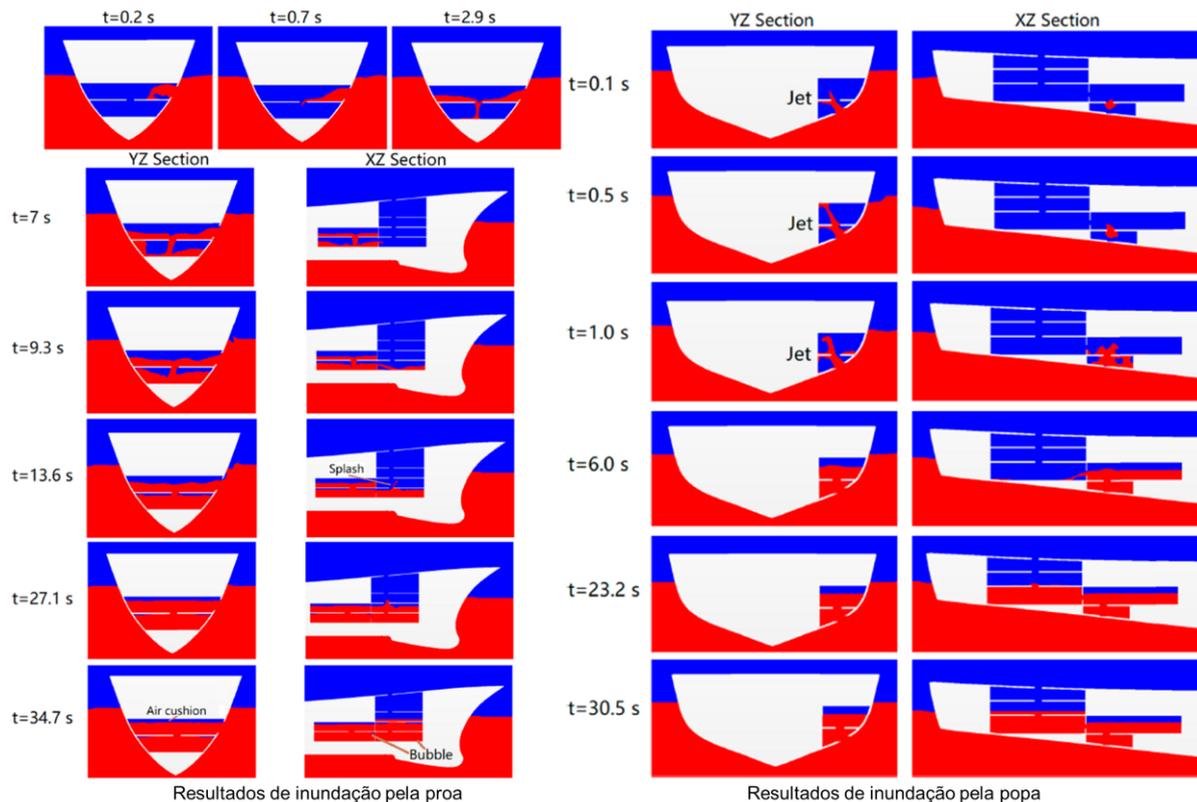


Fonte: Zhang et al. (2019).

Com as simulações CFD feitas por Zhang et al. (2019) foi possível avaliar algumas condições de alagamento que teriam sido muito difíceis de analisar fisicamente. A Figura 13 mostra as condições de alagamento pela proa e popa, durante alguns instantes de tempo. É

importante mencionar que além de visualizar a evolução do volume de água invadindo o interior da embarcação, o uso de análises CFD permite avaliar diversos parâmetros hidrodinâmicos, como velocidades e pressões.

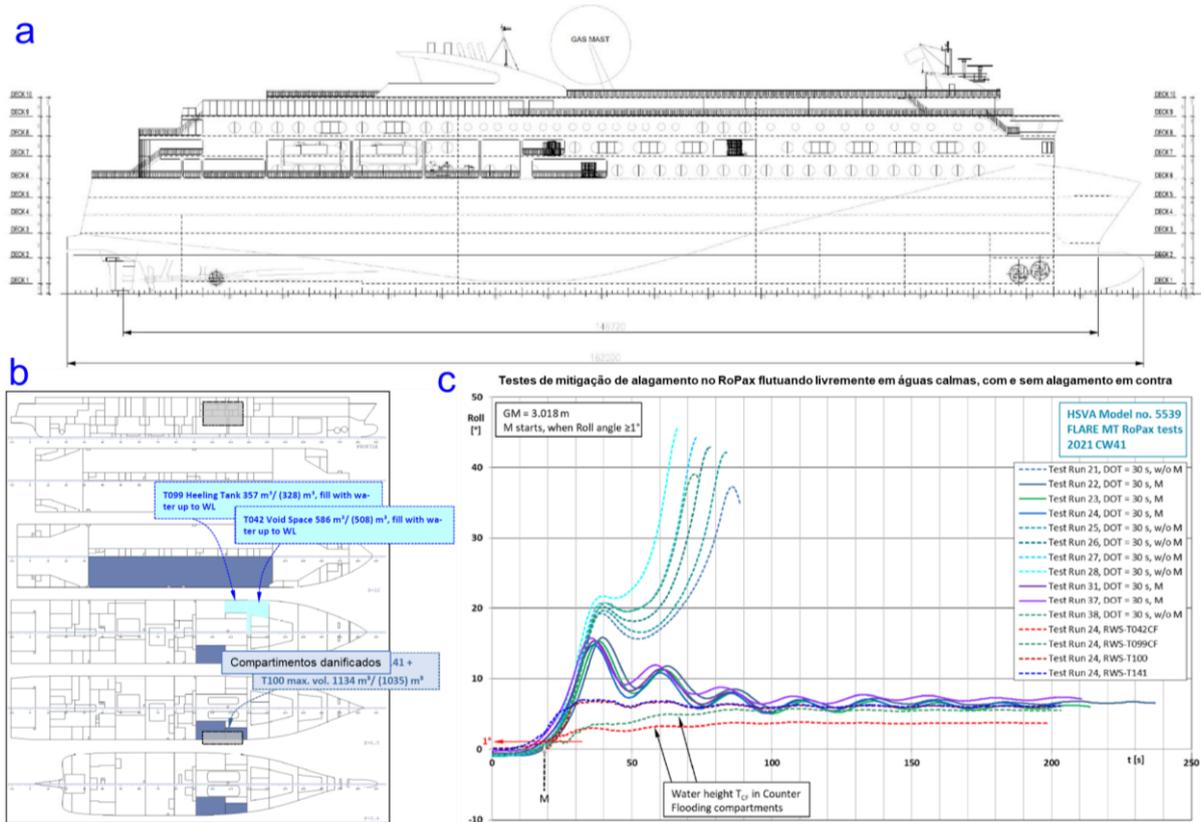
Figura 13. Resultados das simulações CFD que mostram diversas condições de alagamento pela proa e popa da embarcação.



Fonte: Zhang et al. (2019).

Outra de abordagem para avaliar as condições de alagamento em uma embarcação Ro-Pax foi feita por Valanto (2022). Eles utilizaram o software de estabilidade Code HSVA Rolls, que utiliza CFD e outras funções para fazer análises práticas de estabilidade. Além de utilizar esse software, os autores usaram um método de teoria das faixas para analisar movimentos. A embarcação simulada corresponde a um RoPax de 162 m de comprimento proporcionado pelo estaleiro Meyer Turku (MT), como mostrado na Figura 14a. Um exemplo das condições de alagamento que foram consideradas são apresentadas na Figura 14b. Com este tipo de análises, é possível avaliar os efeitos de diversas condições de alagamento na estabilidade da embarcação, incluindo o efeito nos movimentos mais relevantes, como o movimento de balanço (Figura 14c).

Figura 14. Exemplo de estudo de alagamento em uma embarcação Ro-Pax. (a) Vista de perfil da embarcação. (b) Condições de alagamentos em tanques que foram testadas. (c) Comparação do movimento de balanço (roll) ao longo do tempo para diferentes condições de alagamento.



Fonte: (VALANTO, 2022).

Cabe mencionar que embora existam diversas ferramentas computacionais para simular os efeitos do alagamento, tais simulações precisam de comparação com experimentos ou dados em escala real. Valanto (2022) explica um procedimento que é usado para realizar este tipo de experimento (Figura 15), que requer de um sistema de controladores e atuadores para controlar as aberturas no casco e o nível de água inundando a embarcação.

Figura 15. Exemplo da configuração de um experimento para estudar o problema de alagamento em uma embarcação.



Fonte: Valanto (2022).

5.4. ENCALHE

O encalhe de embarcações é outro acidente comum que acontece quando um navio atinge o fundo de um corpo d'água ou lado da via navegável. Este problema pode acontecer por causa da perda de controle da embarcação perante uma situação ambiental adversa, por falta do conhecimento da batimetria do lugar, ou por erro humano quando existem desníveis do fundo

de rios, mares e bancos de areia. A Figura 16 mostra uma reprodução artística de um caso recente de encalhe no Brasil. O navio mercante chamado *Stellar Banner* encalhou na costa do estado de Maranhão, causando alguns problemas ambientais.

Figura 16. Representação artística de uma embarcação encalhada na costa do Maranhão, Brasil (navio *Stellar Banner*).

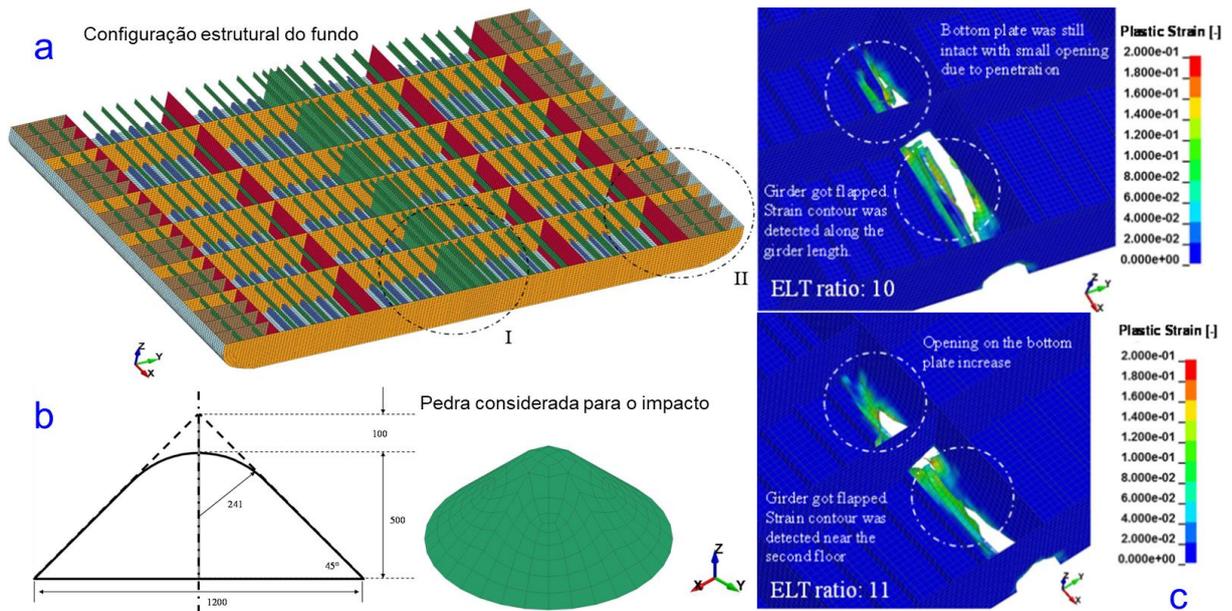


Fonte: G1Globo (2020).

O problema de encalhe é muito relevante pois pode levar à perda de operação da embarcação. Muitas vezes, o impacto do casco com o fundo pode causar fraturas no casco que podem propiciar desastres ambientais devido ao vazamento de substâncias químicas ou combustíveis. Por esse motivo, é importante pesquisar como prevenir tal problema. Existem várias linhas de pesquisa; algumas são focadas em avaliar os efeitos de possíveis impactos no casco, enquanto outras são baseadas em análises probabilísticas ou multicritério para identificar possíveis riscos de encalhe durante a navegação.

Para a análise estrutural durante o problema de encalhe, é comum utilizar ferramentas de simulação numérica para avaliar os possíveis efeitos durante o impacto. Prabowo et al. (2019) simulou o impacto durante o encalhe de uma embarcação com um fundo rochoso. Foi considerado a estrutura do fundo de uma embarcação (Figura 17a) e uma estrutura cônica representando o corpo de impacto (Figura 17b). Por meio das simulações realizadas foi possível visualizar o estágio possível após de impacto por meio de gráficos de deformação plástica (Figura 17c).

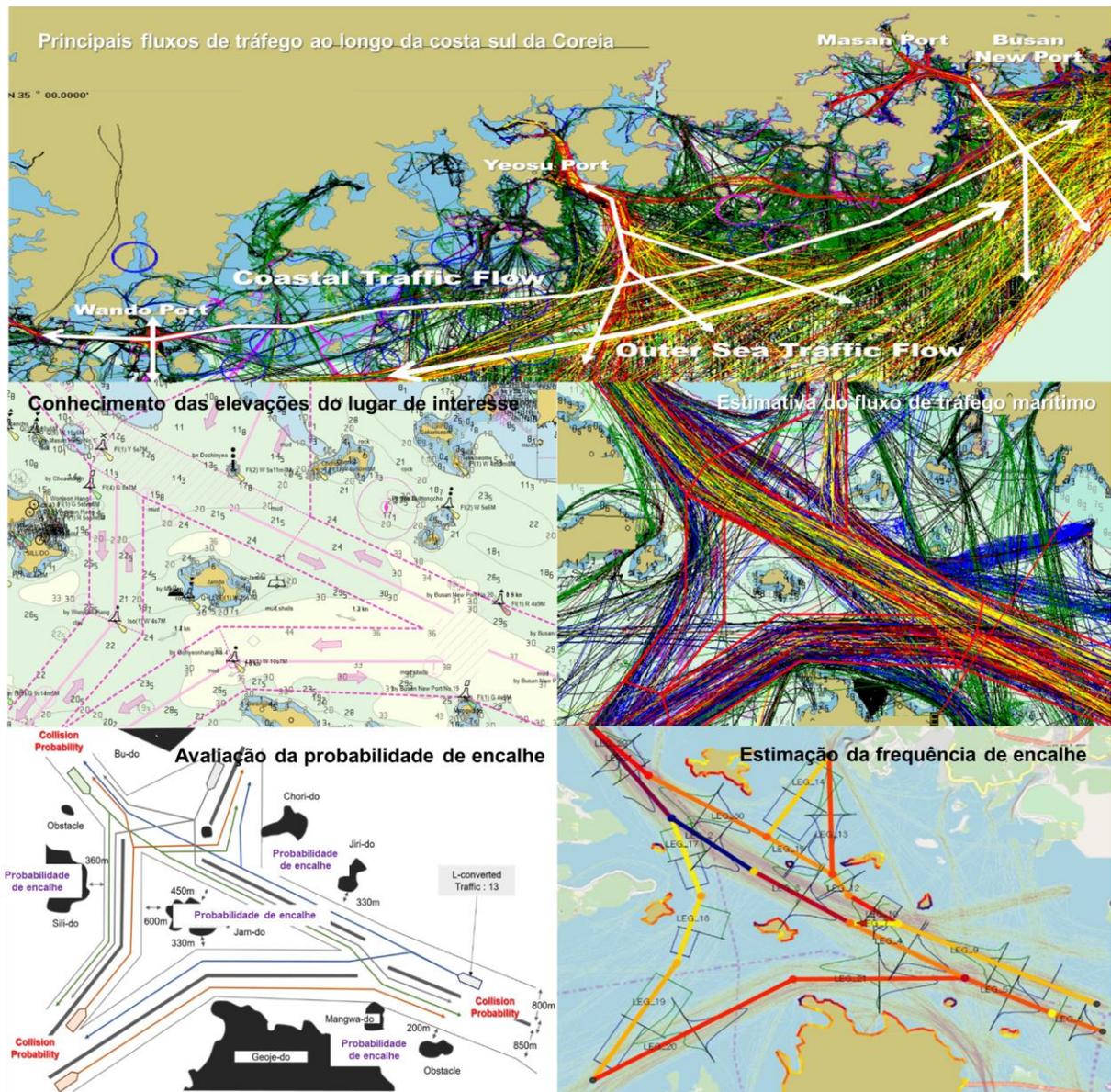
Figura 17. Exemplo de um estudo relacionado com a avaliação dos danos estruturais durante o encalhe de uma embarcação. (a) Estrutura considerada para a análise (estrutura de fundo de uma embarcação). (b) Forma da estrutura sólida (pedra) considerada para o impacto com a embarcação. (d) Resultados da deformação plástica (*plastic strain*) obtidos com software de Método dos Elementos Finitos (FEM, *Finite Element Method*).



Fonte: Prabowo et al. (2019).

Por outro lado, também é possível realizar pesquisas relacionadas com a análise de riscos de encalhe. No entanto, é necessário utilizar outras abordagens baseadas em análises probabilísticas. Por exemplo, Kang et al. (2022) realizou uma análise de risco de encalhe de embarcações, considerando o caso de estudo de uma costa da Coreia do Sul (Figura 18). É importante mencionar que este tipo de pesquisa requer do conhecimento das elevações da região de interesse bem como das informações típicas de tráfego marítimo na região de interesse. Por meio de modelos estatísticos e probabilísticos é possível calcular possíveis cenários de aterramento, incluindo a probabilidade e frequência para que aconteça este problema, como ilustrado na Figura 18.

Figura 18. Exemplo de análise de riscos de encalhe de embarcações, considerando o caso de estudo de uma costa na Coreia do Sul.



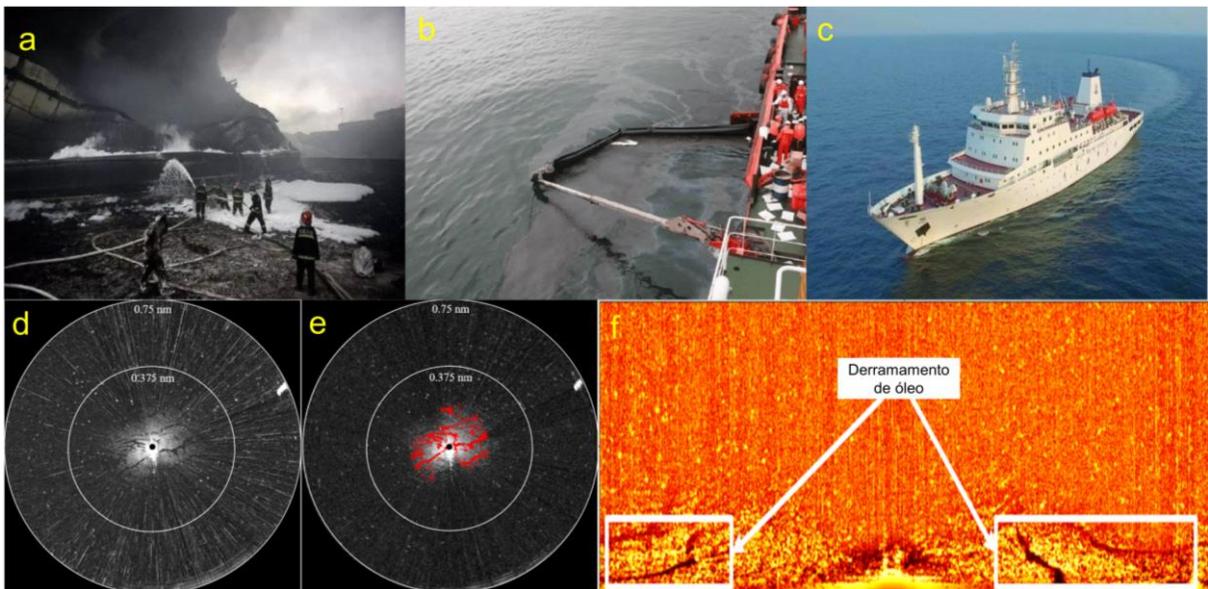
Fonte: Kang et al. (2022).

5.5. DERRAMAMENTO DE ÓLEO

Temos também o derramamento de óleo (e outras substâncias químicas) como um grave tipo de acidente nos rios, mares e oceanos. Este problema pode ser consequência de algum outro acidente ou acontecer por diversos erros humanos, podendo causar danos significantes ao meio ambiente. A prevenção e a correção destes acidentes são tópicos de muito interesse atual pelos governos do mundo todo e pela comunidade científica. Por esta razão, é necessário desenvolver tecnologias que permitam identificar condições de risco, assim como prevenir e corrigir estes acidentes.

A Figura 19 mostra algumas informações relacionadas com a pesquisa que foi realizada após da catástrofe de derramamento de óleo na cidade de Dalian, China, na metade do mês de julho de 2020. A Figura 19a permite identificar as ações de emergência durante o incidente, no qual foram derramadas aproximadamente 1500 toneladas de óleo cru no mar (Figura 19b). A Figura 19c mostra a embarcação que tomou amostras experimentais no 21 de julho de 2020. A embarcação capturou imagens utilizando um radar com coordenadas polares (Figura 19d). Xu et al. (2021) realizaram análises dos dados adquiridos para identificar a propagação de óleo. Por meio de técnicas de digitalização e processamento de imagens, conseguiram identificar padrões de derramamento, como ilustrado nas Figuras 19e e 19f.

Figura 19. Exemplo de pesquisa relacionada com o monitoramento e recuperação de um acidente de derramamento de óleo no mar. (a) Acidente de derramamento de óleo que aconteceu em Dalian, China, no 16 de julho de 2010. (b) Recuperação física do derramamento de óleo. (c) Embarcação de pesquisa Yukun da Universidade Marítima de Dalian. (d) Imagem típica do radar da embarcação em coordenadas polares. (e) Identificação de filme de óleo em coordenadas polares, depois do processamento de imagens. (f) Identificação de padrões de derramamento de óleo em uma imagem processada.



Xu et al. (2021).

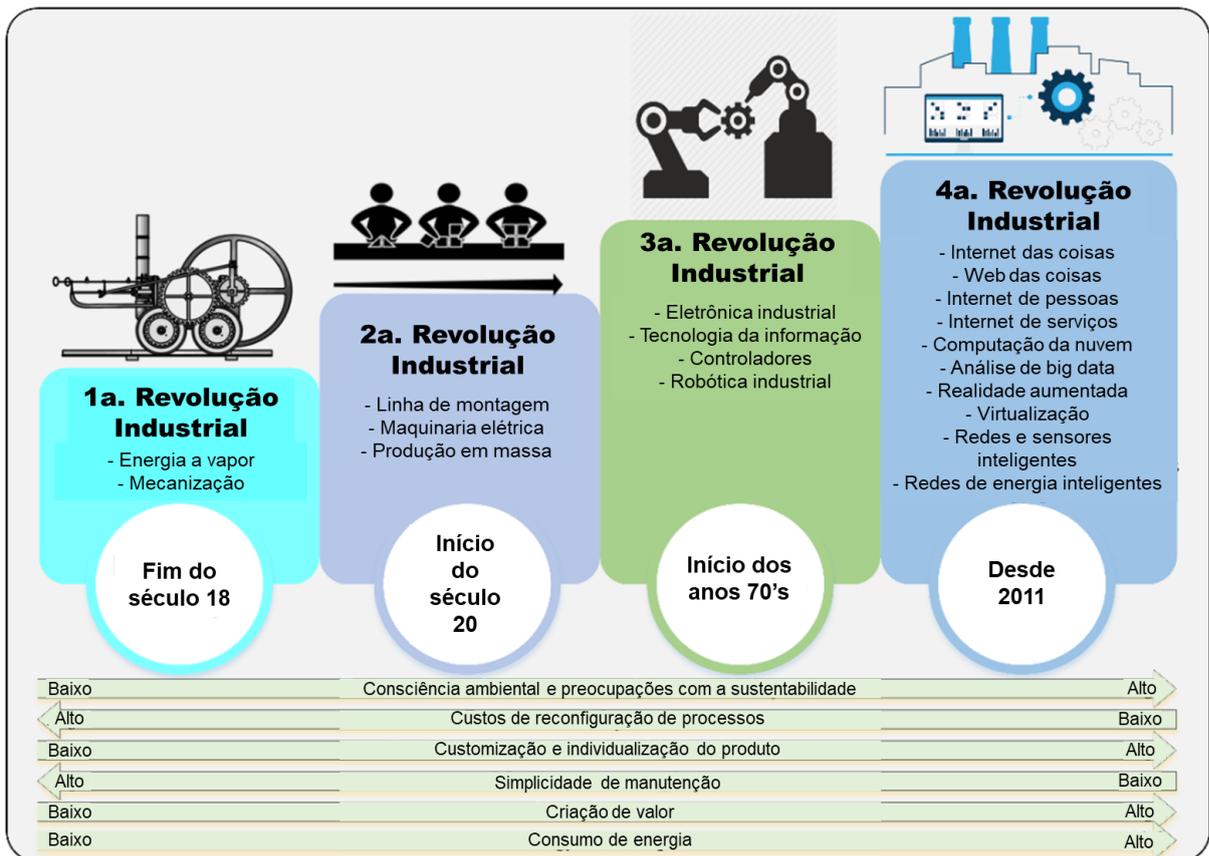
É evidente que a prevenção de acidentes atualmente requer do uso de tecnologias modernas que permitam a digitalização, visualização, processamento e análise de dados. A seguinte seção discute as principais tecnologias da indústria 4.0 consideradas neste trabalho.

6. TECNOLOGIAS 4.0 MAIS COMUNS

A indústria 4.0 pode ser definida como o surgimento de um conjunto de tecnologias modernas de inteligência e informação, segundo Sepehri et al. (2021). Essas tecnologias recentes têm o potencial de aumentar a produtividade ao reduzir tempo de operação ou otimizar procedimentos e, ao mesmo tempo, proporcionar um impacto significativo na sustentabilidade econômica e socioambiental.

A indústria 4.0, recebe esse nome devido às revoluções industriais que têm acontecido ao longo dos anos, como ilustrado na Figura 20. Nesta figura, é possível identificar as tecnologias relevantes em cada época, assim como alguns dos desafios existentes nelas.

Figura 20. As quatro revoluções industriais incluindo alguns desafios de implementação.



Fonte: NG et al. (2022).

Devido ao potencial para aumentar a sustentabilidade que tem a indústria 4.0, o presente trabalho visa conhecer as tecnologias 4.0 que poderiam ser utilizadas para prevenir riscos de acidentes com embarcações. A prevenção de acidentes também está relacionada com um dos objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (3º objetivo), que visa garantir a

saúde e um bem-estar de qualidade das pessoas (UN, 2020). Nesta seção são descritas as principais tecnologias 4.0 incluindo alguns exemplos de aplicação na Engenharia Naval. A classificação das tecnologias para análise foi feita seguindo Sepehri et al. (2021), que pesquisou diversas tecnologias utilizadas na navegação (*Shipping 4.0*). A Tabela 1 mostra a classificação de tecnologias 4.0 consideradas no presente trabalho, que serão descritas nas seguintes subseções.

Tabela 1. Definição das tecnologias 4.0 consideradas no presente trabalho.

Tecnologias 4.0		
Sigla da tecnologia (em inglês)	Nome da tecnologia (em inglês)	Nome da tecnologia (em português)
CPSs	Cyber-Physical Systems	Sistemas cibernéticos e físicos (ou <i>ciberfísicos</i> para simplicidade)
AR	Augmented Reality and Simulation	Realidade Aumentada (e Simulação)
BDA	Big Data Analytics	Análise de Macrodados
CC	Cloud Computing	Computação em nuvem
IoT	Internet of Things	Internet das Coisas

Fonte: a autora, 2022.

6.1. CPSS – CYBER-PHYSICAL SYSTEMS (SISTEMAS CIBERFÍSICOS)

Os sistemas ciberfísicos (CPSs) são comuns no campo da engenharia e, basicamente dependem da utilização em conjunto de algoritmos computacionais e componentes físicos para executar tarefas. Em geral, os CPSs podem integrar recursos computacionais e de rede, diversos tipos de sensores, e mecanismos de controle em vários sistemas físicos, conectando-os para interagir entre eles. O desenvolvimento e inovação com CPSs têm o potencial de voltar os sistemas e os processos mais confiáveis, eficientes, precisos e responsivos.

Sepehri et al. (2021) apresentou vários exemplos de sistemas ciberfísicos utilizados em aplicações de transporte marítimo (*Shipping 4.0*), como descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Alguns tipos de sistemas ciberfísicos utilizados em aplicações de transporte marítimo.

Sigla (em inglês)	Nome (em inglês)	Nome (em português)	Descrição básica	Aplicações comuns
AIS	Automatic Identification System	Sistema de Identificação Automática	Um banco de dados de rastreamento de embarcações em tempo real, relatando características da embarcação, como localização e velocidade	Prevenção de colisões, otimização da navegação e monitoramento do movimento do navio
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System	Sistema de exibição de carta eletrônica e informações	Um sistema de apoio à navegação para identificar locais e direção.	Segurança de navegação conectando diferentes conjuntos de dados de navegação para planejamento, execução e monitoramento de rotas
AGN	Autonomous Guidance and Navigation	Orientação e Navegação Autônoma	Um sistema autônomo de navegação de embarcações	Deteção de obstáculos para evitar acidentes usando tomada de decisão inteligente

GPS	Global Positioning System	Sistema de Posicionamento Global	O primeiro sistema de navegação que determina a localização de uma embarcação	Segurança de navegação por meio de dados precisos e confiáveis sobre posição, navegação e tempo
VDR	Voyage Recorder	Data Gravador de Dados de Viagem	Um sistema de gravação para dados de movimento de embarcações que registra os dados de AIS e ARPA para fornecer uma imagem completa do tráfego nas proximidades.	Uma investigação pós-acidente coletando dados relevantes dos instrumentos da embarcação
VTS	Vessel Traffic Service	Serviço de Tráfego de Embarcações	Um sistema para monitorar o tráfego em águas costeiras e portos	Conhecimento preciso do tráfego marítimo circundante e das condições relevantes do hidrômetro
ARPA	Automatic Radar Plotting Aids	Auxiliares de plotagem de radar automático	Um sistema de navegação de apoio que detecta o número de embarcações	Prevenção de colisões calculando indicadores de proximidade com

			dentro de um raio de ação	base em entradas do radar marítimo
IBS	Integrated Bridge Systems	Sistemas de ponte integrados	Uma série de telas e módulos interconectados e acoplados que permitem monitoramento centralizado e acesso à navegação, propulsão e controles da embarcação	Segurança de navegação combinando todos os sistemas relevantes do navio sob um sistema abrangente, fornecendo espaço para exibição e controle de informações tudo-em-um, melhorando o desempenho do navegador
IR	Intelligent Robotics	Robótica Inteligente	Um sistema usado para limpeza e manutenção de embarcações totalmente autônomas sem piloto, sem capitão e sem tripulação a bordo	Desenvolver o transporte autônomo para diminuir a possibilidade de falhas e mitigar o risco de acidentes, coletando os derramamentos de óleo que são perigosos para os trabalhadores expostos a produtos

				químicos, gases tóxicos e alto risco de incêndio ou explosão
--	--	--	--	--

Fonte: Sepehri et al. (2021).

6.1.1. AIS – Automatic Identification System (Sistema de identificação automática)

De acordo com a Associação Internacional de Ajuda Marítima às Autoridades de Navegação e Faróis (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA*), (IALA, 2021), o Sistema de Identificação Automática (AIS) é um sistema de transmissão autônomo, operando na banda móvel marítima VHF. É considerado um sistema de rastreamento automático usado para identificar e localizar uma embarcação ou estação base por meio de troca eletrônica de dados com outras embarcações nas proximidades. Ele troca informações como identificação da embarcação, posição, curso, velocidade, etc., entre estações móveis e fixas. Ele lida com vários relatórios, usando a tecnologia TDMA (*Time Division Multiple Access - Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo*) garantindo uma operação confiável e robusta. Alguns dos objetivos do AIS embarcado são os seguintes:

- Ser usado no modo navio a navio para evitar colisões e como meio para os que os Estados litorâneos obtenham informações sobre um navio e sua carga;
- Ser utilizado como ferramenta VTS (*Vessel Traffic System – Sistema de tráfego de embarcações*), ou seja, *ship-to-shore* (navio para terra) na gestão de tráfego.
- Apoiar na troca de informações entre navios, na faixa de VHF (*Very High Frequency – Frequência muito alta*), ajudando no conhecimento da situação atual;
- Ajudar na troca de informações entre estações base e embarcações, incluindo VTS ou outros centros de controle, para otimizar a gestão do tráfego;
- Facilitar a geração de relatórios automatizados e auxiliar no intercâmbio de informações relacionadas à segurança entre navios e estações base AIS.

Até o momento, várias estações AIS têm sido desenvolvidas. De acordo com a IALA, as estações AIS podem ser agrupadas por classe e função em estações fixas e móveis. As estações AIS móveis são agrupadas por classe em estações de classe A e B embarcadas, AIS SART (*Automatic Identification System Search and Rescue Transmitter - Transmissor de busca e salvamento do sistema de identificação automática*), MOB-AIS (*Man Over Board-AIS device - Dispositivo de ajuda a homem a bordo*), EPIRB-AIS (*Emergency Positioning Indicating Radio Beacon-AIS enabled; Sinalizador de Rádio Indicação de Posicionamento de Emergência-AIS*

habilitado) e aeronaves AIS e SAR (*Search and Rescue* – Busca e Resgate), enquanto as estações AIS fixas são estações base AIS (AIS BS: *AIS Base Station* – Estação Base), repetidores AIS e auxílios AIS à navegação (*AtoN: Aid to Navigation* – Auxílio à navegação). Cabe mencionar que o AIS baseado em satélite (S-AIS) já está sendo introduzido e que os próximos avanços nesta área poderão considerar o AIS usado no conceito da navegação eletrônica da IMO (*e-navigation*) (ANDROJNA et al., 2021).

A Figura 21a mostra os tipos de estações AIS segundo Androjna et al. (2021), enquanto a Figura 21b ilustra uma rede típica de AIS, incluindo alguns componentes e conexões, estações base AIS, centros de controle, satélites e elementos de rede opcionais. Um equipamento típico na estação base é o Transponder AIS, cujo exemplo é mostrado na Figura 21c. Este dispositivo transmite de maneira automática e periódica informações como posição, velocidade e status de navegação por meio de um transmissor VHF embutido no dispositivo.

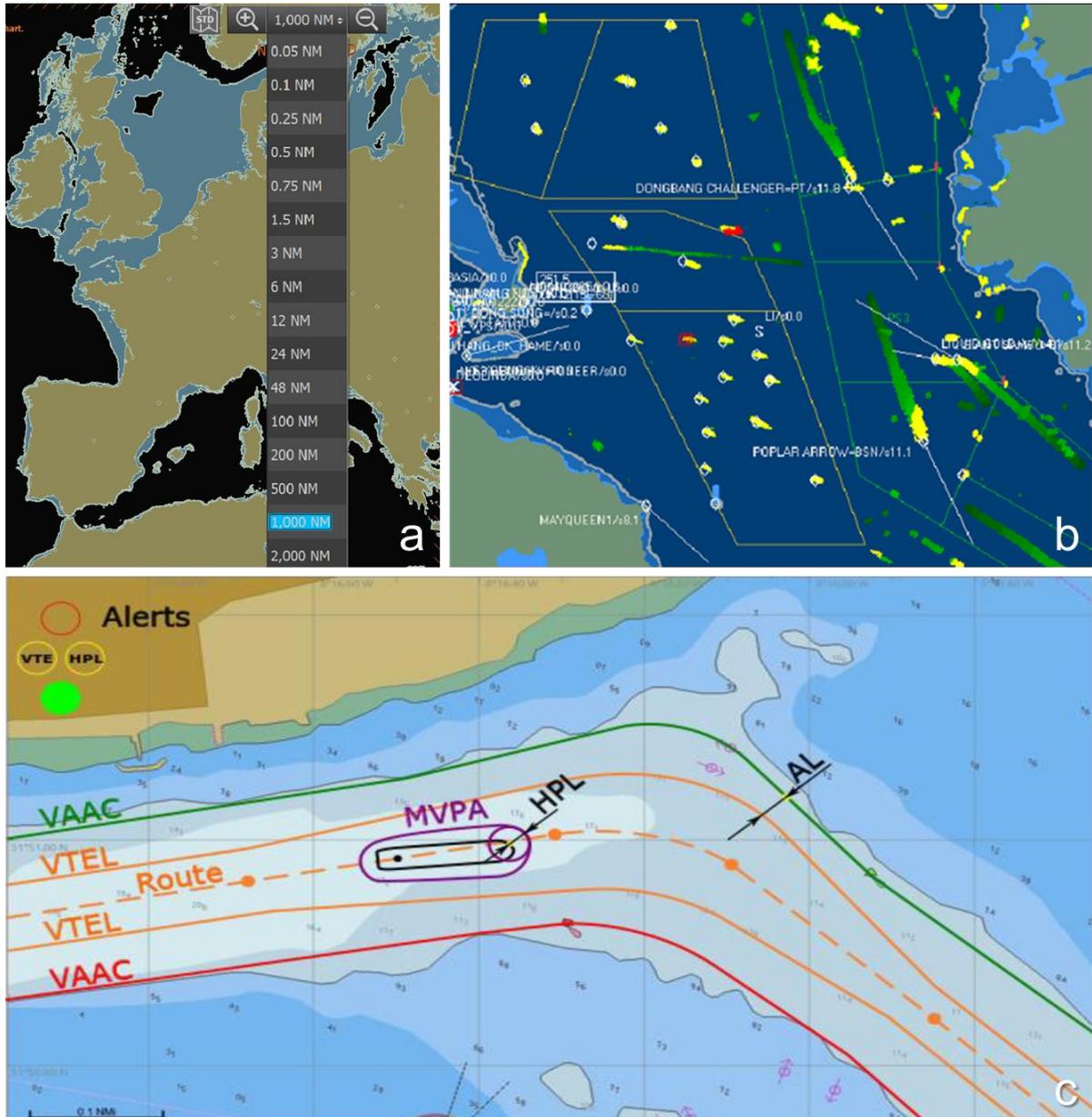
Finalmente, uma captura de tela de um aplicativo AIS é apresentada na Figura 21d, mostrando informações de tráfego em uma região específica de navegação. De acordo com a NORMAM-26/DHN (MARINHADOBRASIL, 2009), que trata do serviço de tráfego de embarcações (VTS), a estação base é o principal componente de infraestrutura de qualquer AIS terrestre, sendo projetado para trocar informações com AIS móveis dentro da área de cobertura. Os componentes básicos de uma estação base são: um transceptor VHF e um receptor do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) cuja principal tarefa é fornecer unidades de controle e temporização precisas.

Além de ser um sistema eletrônico moderno de navegação que substitui as cartas em papel, o ECDIS também altera de forma positiva a navegação. A tela do sistema pode até ser de utilidade como o centro da ponte integrada. Assim, várias informações relacionadas ao navio, (e.g., propulsão, sistemas de controle de navegação e de direção, alarmes etc.) podem ser exibidas de diferentes fontes. Isto pode permitir a tomada de decisões em situações de rotina e de emergência.

A Resolução A817(19) da IMO introduziu formalmente o ECDIS pela primeira vez no ano de 1995 como uma possível alternativa às cartas tradicionais em papel. O termo ECDIS foi inserido em relação ao Artigo 19 da SOLAS no 2005. Por fim, alterações nas convenções SOLAS e STCW introduziram em 2009 os requisitos para o sistema de bordo e em 2010 as características necessárias dos navegadores para utilizar a tecnologia (BECKER-HEINS, 2014).

A Figura 22 mostra alguns exemplos de visualização do ECDIS, apresentados por alguns trabalhos de pesquisa recentes. A Figura 22a mostra o resultado de alterar a escala de exibição de uma carta eletrônica de navegação (ENC, *Electronic Navigation Charts*) em um sistema ECDIS por meio de alcance em milhas náuticas (NM). A Figura 22b A mostra um exemplo de uma visualização ECDIS de várias embarcações transitando em uma região específica. As informações da embarcação que podem ser ativadas no visualizador incluem um indicativo da embarcação, especificações, status de navegação, programação e indicações relacionadas a violações dos regulamentos. Caso os operadores desliguem, redimensionem ou alterem manualmente as informações, pode ser necessário avaliar sua importância em termos de segurança e eficiência. Finalmente, a Figura 22c mostra o resultado (apresentação conceitual) de uma pesquisa na qual se tentou definir margens de navegação segura de uma embarcação usando um sistema ECDIS.

Figura 22. Exemplos de visualização por meio de sistemas ECDIS. (a) Aumento de escala de uma carta eletrônica de navegação em milhas náuticas (NM). (b) Tela de monitoramento exibindo algumas embarcações e suas informações associadas. (c) Apresentação conceitual em um sistema ECDIS de uma operação segura em hidrovia de mão única, incluindo margens de risco.



Fonte: (a) Palikaris e Mavraeidopoulos (2020); (b) Kim e Lee (2019); (c) Zalewski (2020).

6.1.3. AGN – Autonomous Guidance and Navigation (Orientação e Navegação Autônoma)

Este sistema permite proporcionar informações de direção e navegação às embarcações, sendo uma tecnologia moderna que precisa de algoritmos complexos para definir o percurso de maneira autônoma. Segundo Perera et al. (2009), os sistemas de pilotagem automática são

unidades de desenvolvimento de nível primário dos Sistemas Autônomos de Orientação e Navegação (AGN) e suas aplicações têm sido objetivos dos projetistas de navios ao longo dos anos. O desenvolvimento da tecnologia de computadores, sistemas de comunicação por satélite e dispositivos eletrônicos, incluindo sensores e atuadores de alta tecnologia, transformaram esses objetivos em uma possível realidade ao projetar os sistemas AGN oceânicos de próxima geração. Sistemas AGN modernos utilizam ferramentas de controle e automação junto com sensores e algoritmos de inteligência artificial.

6.1.4. GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)

Um sistema de posicionamento global (GPS) é uma rede de satélites e conjunto de dispositivos de recepção que são utilizados para determinar a localização de algo na Terra. Alguns receptores GPS podem ser tão precisos que podem estabelecer sua localização dentro de 1 centímetro (NATIONALGEOGRAPHIC, 2022). O GPS fornecerá uma posição expressa em latitude e longitude.

Na área naval, o uso do GPS tem contribuído no melhoramento de atividades de busca e resgate, assim como atividades de pesquisa e navegação. O GPS fornece o método mais rápido e preciso para navegação, permitindo medir a velocidade e determinar a localização, acrescentando significativamente os níveis de segurança e eficiência para marinheiros em todo o mundo. Durante a operação com embarcações, é muito importante que o oficial do navio conheça a posição da embarcação em mar aberto, portos e vias navegáveis congestionadas. Dados precisos como posição, velocidade e direção são necessárias para garantir que a embarcação chegue ao seu destino da maneira mais segura e eficiente. A necessidade de informações de posição precisas torna-se ainda mais crítica à medida que a embarcação parte ou chega ao porto ou enfrenta condições ambientais adversas (GPS, 2021).

6.1.5. VDR – Voyage Data Recorder (Gravador de Dados de Viagem)

Segundo a definição proposta por Wärtsilä (2022), o VDR (*Voyage Data Recorder*) é considerado como uma “caixa preta” marítima, composto de duas partes principais: uma unidade de coleta de dados e uma unidade que armazena os dados obtidos (unidade protegida). O componente principal do sistema é transportado dentro do navio, sendo este conectado a uma cápsula de proteção montada no convés. A cápsula abriga um bloco de memória de estado sólido de alta capacidade, sendo esta projetada para resistir a fogo, pressão em alto mar, choque e penetração.

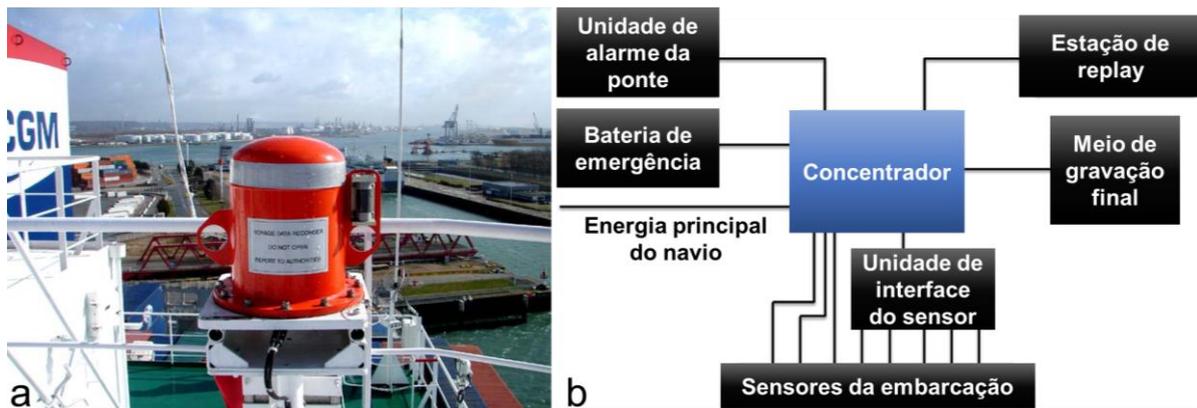
Comumente, a unidade coletora registra continuamente ~12 horas de atividade a bordo. Os registros incluem: data e hora; posição do navio; rapidez; áudio da ponte de controle; comunicações VHF de outros navios com os que se opera; informações de radar mostrando a imagem real do radar no momento da gravação; profundidade sob a quilha; ângulo do leme; ordem e resposta do motor; ângulo de encontro com ondas; estado de abertura do casco; estado das portas estanques e corta-fogo; monitoramento do estresse do casco e velocidade e direção do vento (WÄRTSILÄ, 2022).

A Organização Marítima Internacional estabelece os requerimentos de uso de VDR através da regulação SOLAS, especificamente no capítulo V da Convenção SOLAS de 1974 (IMO, 2019a). Segundo a IMO (2019a):

“navios de passageiros e navios que não sejam navios de passageiros, de arqueação bruta ≥ 3.000 , construídos em ou após do 1 de julho de 2002, devem transportar gravadores de dados de viagem (VDRs) para auxiliar nas investigações de acidentes, de acordo com os regulamentos adotados em 2000, que entraram em vigor em 1 de julho de 2002”.

A Figura 23a mostra a cápsula de um VDR instalado no convés de uma embarcação, enquanto a Figura 23b mostra os elementos principais de um VDR segundo Piccinelli (2013), que discutiu a funcionalidade e relevância destes dispositivos durante a análise de acidentes com embarcações.

Figura 23. Gravador de dados de viagem (VDR, Voyage Data Recorder). (a) Foto de um VDR instalado no convés de uma embarcação. (b) Elementos de um sistema VDR.



Fonte: (a) Cozanet (2006); (b) Piccinelli (2013).

6.1.6. VTS – Vessel Traffic Service (Serviço de Tráfego de Embarcações)

Devido à exploração de recursos naturais no mar e ao aumento do comércio global por meio do transporte marítimo, os serviços de tráfego de embarcações (VTS, *Vessel Traffic Services*) se tornaram indispensáveis para manter a segurança marítima, assim como para

otimizar o fluxo de tráfego de embarcações e reduzir os impactos negativos ao meio ambiente (YOO; KIM, 2021).

A IMO define no seu site um VTS como segue (IMO, 2019b):

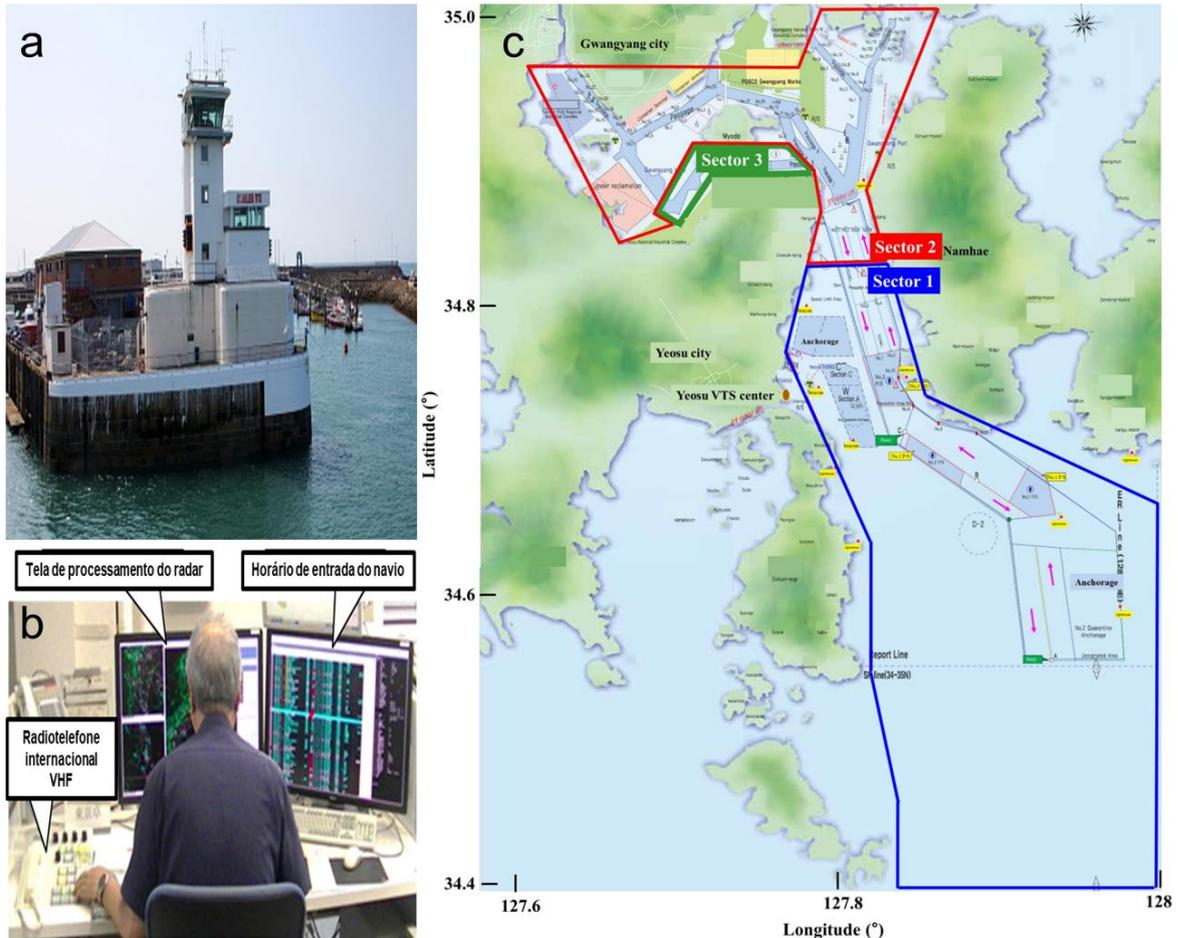
“Os serviços de tráfego de embarcações (VTS) são sistemas em terra que vão desde o fornecimento de mensagens de informação simples aos navios, como a posição de outro tráfego ou avisos de perigo meteorológico, até o gerenciamento extensivo do tráfego dentro de um porto ou via navegável”.

Segundo Yoo e Kim (2021), um VTS é um serviço integrado em terra, fornecido por autoridades competentes, que inclui diversas funções de assistência à navegação para embarcações, além de possuir capacidade para realizar um controle abrangente de tráfego em uma área marítima designada. Os operadores de um VTS costumam coletar informações relevantes sobre a área geográfica que estão monitorando por meio de diversos sensores. Um operador VTS utiliza, comumente, sistemas de identificação automática (AIS, *Automatic Identification System*), radar, circuito fechado de televisão (CCTV, *Closed-Circuit Television*), rádio marítimo de frequência muito alta (VHF, *Very High-Frequency*) e dados programados do piloto para monitorar os movimentos das embarcações em uma área VTS (YOO; KIM, 2021).

A IMO e a IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authority*) fornecem regulações e recomendações para a implementação de VTS como uma ferramenta de mitigação de riscos de acidentes de navegação em águas territoriais. Cabe mencionar que, normalmente, as autoridades estaduais, locais e portuárias podem selecionar o nível de VTS a ser implementado na identificação de riscos operacionais dentro de seus portos e águas territoriais (BDMARINERS, 2019).

A Figura 24a ilustra uma estação de monitoramento VTS localizada, enquanto a Figura 24b mostra um operador de estação VTS utilizando vários monitores os quais mostram diversas informações. Finalmente, a Figura 24c apresenta um exemplo da cobertura de VTS em um porto na cidade de Yeosu na Coreia do Sul (YOO; KIM, 2021). Para tentar atingir um monitoramento intenso, o centro VTS de Yeosu é dividido em três setores, segundo o tipo de operação: mar aberto (Seção 1), área de interseção de tráfego e terminal de carga geral (Seção 2) e a área de terminais perigosas que envolvem combustíveis e produtos químicos (Seção 3).

Figura 24. Exemplos de serviço de tráfego de embarcações (VTS, Vessel Traffic Service). (a) Estação VTS no porto de Saint Helier, França. (b) O operador do VTS monitora o comportamento da embarcação através das telas de monitoramento onde são visualizadas diversas informações. (c) Área coberta pelo VTS na região de Yeosu, na Coreia do Sul.



Fonte: (a) Embleton (2009) ; (b) Song et al. (2022); (c) Yoo e Kim (2021).

6.1.7. ARPA – Automatic Radar Plotting Aids (Auxiliares de plotagem de radar automático)

O auxílio automático de plotagem de radar (ARPA) é a principal ferramenta para monitoramento de embarcações e manobras anticollisão (JASKÓLSKI et al., 2021).

Desde a década de 1970, algumas melhoras observadas na segurança marítima podem ser devidas às melhoras feitas ao radar de navegação incluindo tecnologias auxiliares de plotagem automática (ARPA). Além de reduzir o tempo de avaliação do risco de colisão, aumentou a consciência situacional do navegador. Embora o ARPA contenha muitas informações sobre as embarcações na área, incluindo ferramentas para simular cenários de prevenção de colisões, ainda, existem algumas limitações ou erros típicos que os radares apresentam (exemplo: tempo de resposta). A Organização Marítima Internacional (IMO), estabelece os requerimentos de processamento que o radar ARPA deve exibir. Tanto o radar ARPA quanto o AIS estão atualmente integrados ao sistema ECDIS (BRCKO et al., 2021).

Segundo Lisowski (2014), um sistema ARPA permite monitorar automaticamente pelo menos 20 embarcações encontradas, seus parâmetros de movimento (curso e velocidade; distância e tempo para um possível encontro) e o risco de colisão.

O ARPA permite o rastreamento automático dos ecos detectados, proporcionando alarmes em situações de risco. O computador do sistema permite calcular a distância e o tempo de aproximação crítica entre objetos. Logo, permite comparar os valores obtidos com os valores recomendados para a situação atual de operação no mar, possibilitando a ativação do alarme de alvo perigoso caso sejam excedidos. Além disso, o sistema permite simular manobras de teste (Figura 25), considerando apenas para um alvo (o objeto encontrado mais perigoso). Com este processo, é possível que o navegador possa avaliar os possíveis efeitos de manobra anticolidão planejada com um tempo de resposta rápida (LISOWSKI, 2020).

Figura 25. Um sistema de típico de bordo Radar/ARPA.



Fonte: Wikimediacommons (2006).

6.1.8. IBS – Integrated Bridge Systems (Sistemas de ponte integrados)

Segundo a IMO (IMO, 2019c), um sistema de ponte integrado pode ser definido como a combinação de sistemas que são interligados para permitir o acesso à informação completa da navegação de uma embarcação ou via. O sistema de ponte integrado (IBS) é definido como uma combinação de sistemas que são interligados para permitir o acesso centralizado a informações de sensores ou sistemas de comando ou controle de estações de trabalho, com o objetivo de aumentar a operação e gerenciamento seguros do navio por pessoal qualificado.

Os padrões e procedimentos de desempenho para sistemas de ponte integrados foram adotados pela IMO em 1996, por meio da Resolução MSC.64(67). O capítulo V da SOLAS

revisado, adotado em dezembro de 2000 e entrando em vigor em julho de 2002, apresenta, na Regra 19, os requerimentos de transporte para sistemas e equipamentos de navegação a bordo. Especificamente, esta regra indica que os sistemas de pontes integrados devem ser dispostos de maneira que, caso exista a falha de um subsistema, o oficial encarregado do quarto de navegação seja notificado imediatamente por alarmes sonoros e visuais, sem causar falha em algum outro subsistema.

6.1.9. IR – Intelligent Robotics (Robótica Inteligente)

Robôs inteligentes são comumente utilizados em diversas atividades marítimas, como por exemplo, no suporte do transporte autônomo contínuo e coleta de derramamento de óleo. Dentro das aplicações da robótica, a inteligência artificial é usada para navegação autônoma de embarcações e detecção de obstáculos ao redor do navio (exemplo: rochas, corpos flutuantes, embarcações próximas). Nesse caso, os dados são tipicamente coletados de dispositivos AIS e ARPA para propor uma estrutura de decisão. Assim, os caminhos mais curtos e seguros podem ser selecionados, possibilitando a dedução de custos operacionais e custos associados à previsão de acidentes. Nesse sentido, o transporte autônomo é definido como uma plataforma que pode guiar navios com diferentes graus de autonomia, como descrito por Sepehri et al. (2021).

Outra aplicação para robôs é a limpeza e manutenção. Dessa forma, robôs de limpeza podem ser usados para detectar derramamentos de óleo ou produtos químicos que ocorrem em acidentes marítimos. Robôs que usam bancos de dados AIS e sistemas AGN podem transmitir informações sobre a localização, tamanho, direção e velocidade das zonas afetadas. Sistemas de navegação adaptáveis e capacidades de realização de tarefas de longo prazo são vantagens significativas dos robôs inteligentes (ZAHUGI; SHANTA; PRASAD, 2012).

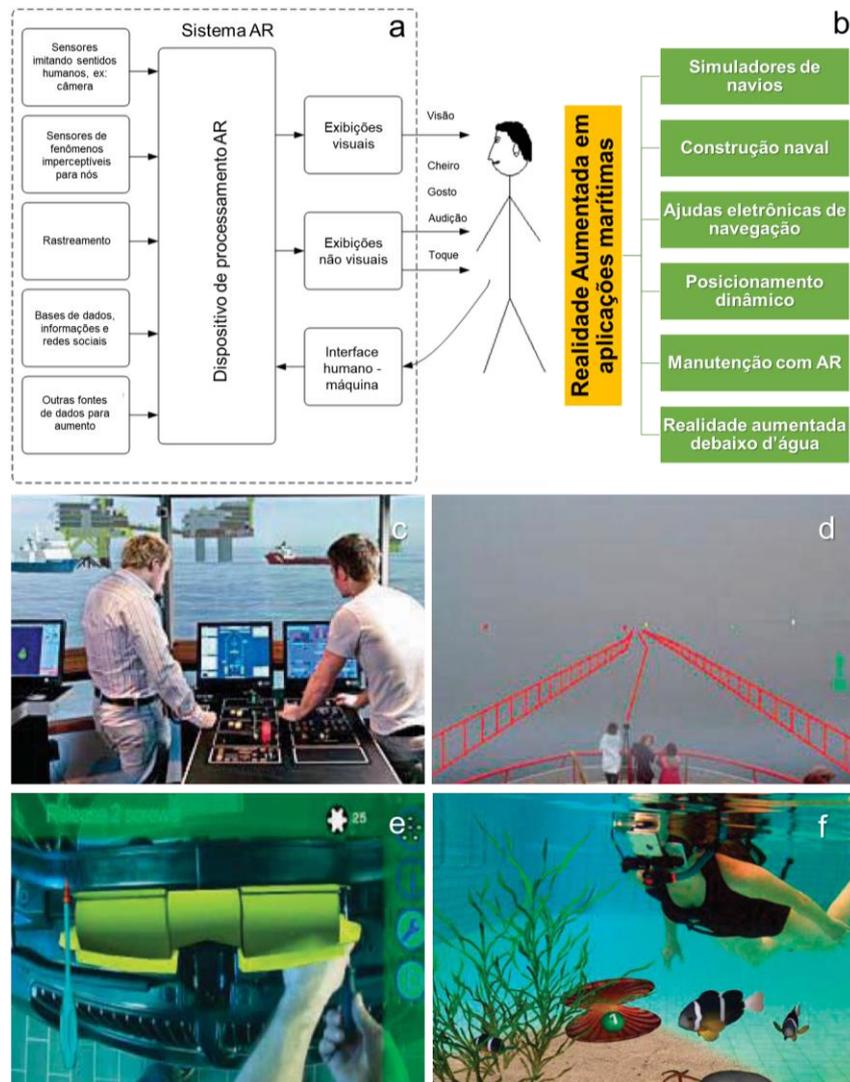
6.2. AR – AUGMENTED REALITY (REALIDADE AUMENTADA)

A realidade aumentada é uma tecnologia que combina a realidade com um ambiente virtual, através da tela de um determinado dispositivo (celular, computador, tablet etc.). Assim, é possível apresentar informações virtuais na imagem do ambiente real. A adição de informações no ambiente real dá a impressão de que já faz parte do ambiente.

Um sistema de Realidade Aumentada requer entradas e saídas de dados, como mostrado na Figura 26a. Geralmente, as saídas são exibições visuais e não visuais que podem gerar uma resposta no humano, que subsequentemente, vai interagir com o sistema. As entradas e saídas do sistema são gerenciadas por um dispositivo de processamento, que recebe informações e respostas de diversas fontes para atualizar as saídas de informação.

Nas aplicações marítimas, as tecnologias de Realidade Aumentada podem abranger diversas áreas (Figura 26b), incluindo: simuladores de manobras e navegação; atividades de construção e reparo naval; aplicações eletrônicas de ajuda à navegação; sistemas de posicionamento dinâmico; atividades de manutenção; e aplicações de Realidade Aumentada submarinas. Alguns exemplos de aplicação são ilustrados nas Figuras 26d-26f.

Figura 26. Realidade Aumentada em aplicações marítimas. (a) Entradas e saídas de um sistema de Realidade Aumentada. (b) Tópicos de Realidade Aumentada em aplicações marítimas. (c) Simulador de ponte de navio para treinamento de pessoal. (d) Dia nebuloso aumentado com assistência à navegação gerada por computador. (e) Manutenção com realidade aumentada. (f) Mundo subaquático virtual.

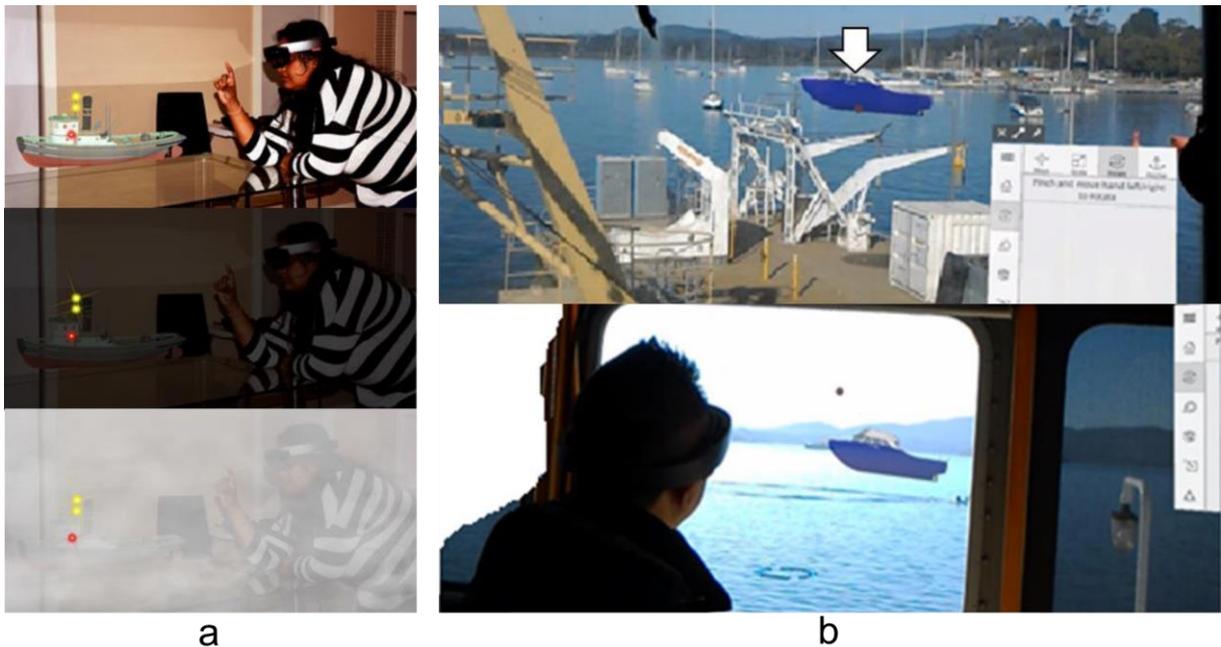


Fonte: Vasiljević et al. (2011).

Além dos exemplos mostrados na figura anterior, aplicações recentes de realidade aumentada na Engenharia Naval visam melhorar os procedimentos de navegação. Por exemplo, Bandara et al. (2020) desenvolveram um sistema de Realidade Aumentada para auxiliar a navegação em situações com pouca visibilidade. A Figura 27a mostra algumas imagens que representam o conceito sendo testado em condições controladas, com diferentes visibilidades. Por outro lado, a Figura 27b mostra algumas imagens do sistema sendo testado em aplicações reais.

Embora as tecnologias de Realidade Aumentada ajudem no desenvolvimento de operações navais, ainda é necessário avaliar os possíveis impactos econômicos e socioambientais que possam causar. Vasiljević et al. (2011) sugere que os desafios e limitações destas tecnologias estão relacionados com aspectos tecnológicos, sociais e de privacidade.

Figura 27. Exemplo de aplicação de realidade aumentada para ajudar na navegação com pouca visibilidade. (a) Demonstração do conceito considerando diferentes condições de visibilidade. (b) Implementação prática do sistema de AR.



Fonte: Bandara et al. (2020)

6.3. BDA - BIG DATA ANALYTICS (ANÁLISE DE MACRODADOS)

Basicamente, o BDA é considerado como os processos de análise de grandes e variadas quantidades de dados, cujos resultados permitem descobrir padrões ocultos e correlações antes desconhecidas, permitindo assim a tomada de decisões.

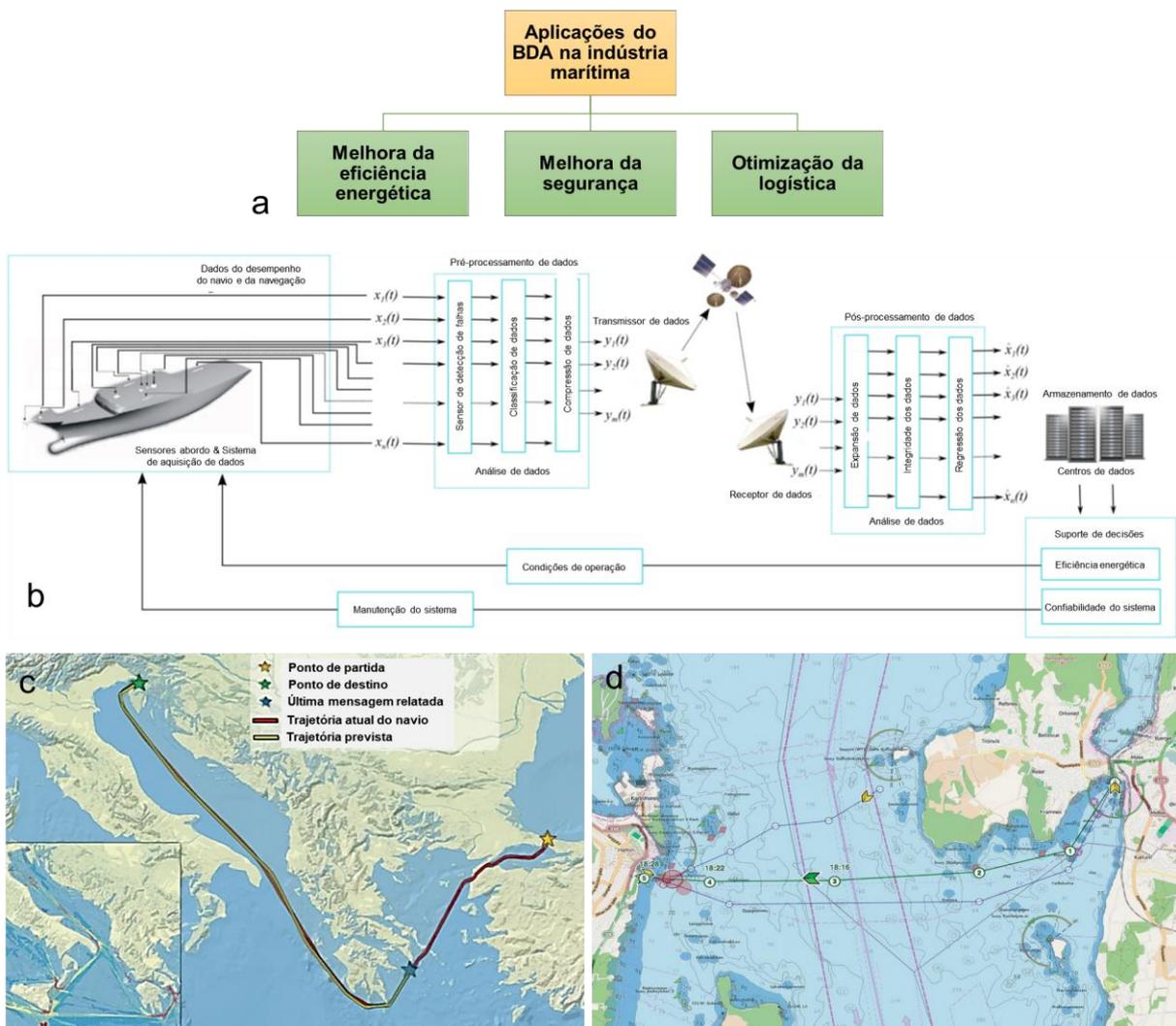
Kostakis e Kargas (KOSTAKIS; KARGAS, 2021) apresentam os conceitos básicos desta tecnologia, discutindo a evolução da sua definição. Segundo eles, desde o começo do século 21, o termo “big data” ganhou muita atenção entre os pesquisadores, que tentaram estabelecer uma definição que fosse aceita. Uma das definições mais comuns considera três termos (conhecidos como os 3 V's) que envolvem o desafio do big data: volume (grandes quantidades de dados), velocidade (fluxos de dados rápidos) e variedade (conteúdo heterogêneo). Subsequentemente foram introduzidos um quarto e um quinto termo, considerando, veracidade incerta e o valor real que os dados podem oferecer ao processo ou atividade a que estão relacionados após seu processamento, respectivamente. Além desses cinco conceitos, é importante mencionar que há definições de outros pesquisadores, descrevendo big data como ativos de informação que, após o processamento, desempenham um papel crucial na tomada de decisões em algum processo.

O BDA é uma tecnologia que também está sendo considerada em aplicações navais, como mostrado na revisão de estudos proposta por Mirović et al. (2018), que define as principais aplicações e limitações dessa tecnologia. Segundo estes autores, em aplicações navais, existe uma quantidade significativa de dados sendo gerados e transferidos entre embarcações e bases de controle. Tais informações podem ser geradas em radar, visores eletrônicos de cartas de náuticas e sistema de informação (ECDIS), sistemas de piloto automático e outros sensores relacionados. Além disso, pode existir a necessidade de instrumentação adicional em embarcações para fins especiais, como por exemplo: radares de ondas, detectores de derramamento e espalhamento de óleo e sensores de navegação inercial de alta precisão. Além disso, existem outros sistemas que ajudam na avaliação do desempenho e navegação do navio, incluindo dados como o número de identificação exclusivo da embarcação, posição, curso, velocidade e destino, transferidos, por exemplo, pelo Sistema de Identificação Automática (AIS).

Algumas das aplicações do BDA na indústria marítima são apresentadas na Figura 28a. Elas estão relacionadas principalmente com a melhoria da eficiência energética durante as operações com embarcações; aumento da segurança considerando a prevenção de acidentes; e otimização dos processos logísticos, incluindo otimização das rotas de navegação (MIROVIĆ; MILIČEVIĆ; OBRADOVIĆ, 2018).

A Figura 28b mostra um fluxograma de processo BDA em uma aplicação naval proposto por Perera et al. (2016). Verifica-se que os dados são coletados a partir de vários sensores de bordo e sistemas de aquisição de dados. Posteriormente, eles são pré-processados e transmitidos para centros de gerenciamento de dados em terra, onde são armazenados e analisados. Como resultado das análises, têm-se informações que apoiam a tomada de decisões, como por exemplo, para melhorar a eficiência energética e a confiabilidade dos sistemas. Algumas das aplicações do BDA são ilustradas nas Figuras 28c e 28d, que mostram os resultados da predição e otimização da rota de uma embarcação, respectivamente.

Figura 28. (a) Algumas aplicações comuns do BDA na indústria marítima. (b) Proposta de fluxograma de dados no desempenho do navio e informações de navegação. (c) Exemplo do uso de BDA para prever a rota de uma embarcação. (d) Exemplo de uso de BDA para otimizar a rota de embarcação.



Fonte: (a) Mirović et al. (2018); (b) Perera et al. (2016); (c) Alessandrini et al. (2016) apud Mirović et al. (2018); (d) Mirović et al. (2018).

6.4. CC – CLOUD COMPUTING (COMPUTAÇÃO EM NUVEM)

Uma das definições mais comuns para a tecnologia CC (*Cloud Computing* – Computação em nuvem) é a proposta pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology* – Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos), a qual é descrita como segue (MELL; GRANCE, 2011):

“A computação em nuvem é um modelo para permitir acesso de rede onipresente, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com esforço mínimo de gerenciamento ou interação do provedor de serviços. Esse modelo de nuvem é composto por cinco características essenciais, e três modelos de serviço.”

A Tabela 3 resume as características principais e os modelos de serviço desta tecnologia, segundo a definição proposta em Mell and Grance (2011).

Tabela 3. Características essenciais e modelos de serviço da tecnologia CC.

Características essenciais da tecnologia CC	
Autoatendimento sob demanda:	“Um consumidor pode provisionar unilateralmente recursos de computação, como tempo de servidor e armazenamento de rede, conforme necessário automaticamente, sem exigir interação humana com cada provedor de serviços.”
Amplo acesso à rede:	“Os recursos estão disponíveis na rede e são acessados por meio de mecanismos padrão que promovem o uso por plataformas de clientes heterogêneas (por exemplo, telefones celulares, tablets, laptops e estações de trabalho)”
Agrupamento de recursos:	“Os recursos de computação do provedor são agrupados para atender a vários consumidores usando um modelo multilocatário, com diferentes recursos físicos e virtuais atribuídos e reatribuídos dinamicamente de acordo com a demanda do consumidor. Há uma sensação de independência de localização em que o cliente geralmente não tem controle ou conhecimento sobre a localização exata dos recursos fornecidos, mas pode especificar a localização em um nível mais alto de abstração (por exemplo, país, estado ou datacenter). Exemplos de recursos incluem armazenamento, processamento, memória e largura de banda de rede.”

Elasticidade rápida: *“Os recursos podem ser provisionados e liberados de forma elástica, em alguns casos automaticamente, para escalar rapidamente para fora e para dentro de acordo com a demanda. Para o consumidor, os recursos disponíveis para provisionamento geralmente parecem ilimitados e podem ser apropriados em qualquer quantidade a qualquer momento.”*

Serviço medido. *“Os sistemas em nuvem controlam e otimizam automaticamente o uso de recursos, aproveitando uma capacidade de medição em algum nível de abstração apropriado ao tipo de serviço (por exemplo, armazenamento, processamento, largura de banda e contas de usuário ativas). O uso de recursos pode ser monitorado, controlado e reportado, proporcionando transparência tanto para o provedor quanto para o consumidor do serviço utilizado.”*

Modelos de serviço da tecnologia CC

Software as a Service (SaaS) – Software como um serviço: *“A capacidade fornecida ao consumidor consiste em usar os aplicativos do provedor executados em uma infraestrutura em nuvem. Os aplicativos são acessíveis a partir de vários dispositivos clientes por meio de uma interface de cliente fina, como um navegador da Web (por exemplo, e-mail baseado na Web) ou uma interface de programa. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais, armazenamento ou mesmo recursos de aplicativos individuais, com a possível exceção de configurações limitadas de aplicativos específicos do usuário.”*

Platform as a Service (PaaS) – Plataforma como um serviço: *“A capacidade fornecida ao consumidor é implantar na infraestrutura de nuvem aplicativos adquiridos ou criados pelo consumidor, criados usando linguagens de programação, bibliotecas, serviços e ferramentas suportadas pelo provedor. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais ou armazenamento, mas tem controle sobre os aplicativos implantados e possivelmente as definições de configuração para o ambiente de hospedagem do aplicativo.”*

Infrastructure as a Service (IaaS) – Infraestrutura como um serviço: *“A capacidade fornecida ao consumidor é fornecer processamento, armazenamento, redes e outros recursos de computação fundamentais onde o consumidor pode implantar e executar software arbitrário, que pode incluir sistemas operacionais e aplicativos. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, mas tem controle sobre sistemas operacionais, armazenamento e aplicativos implantados; e controle possivelmente limitado de componentes de rede selecionados (por exemplo, firewalls de host).”*

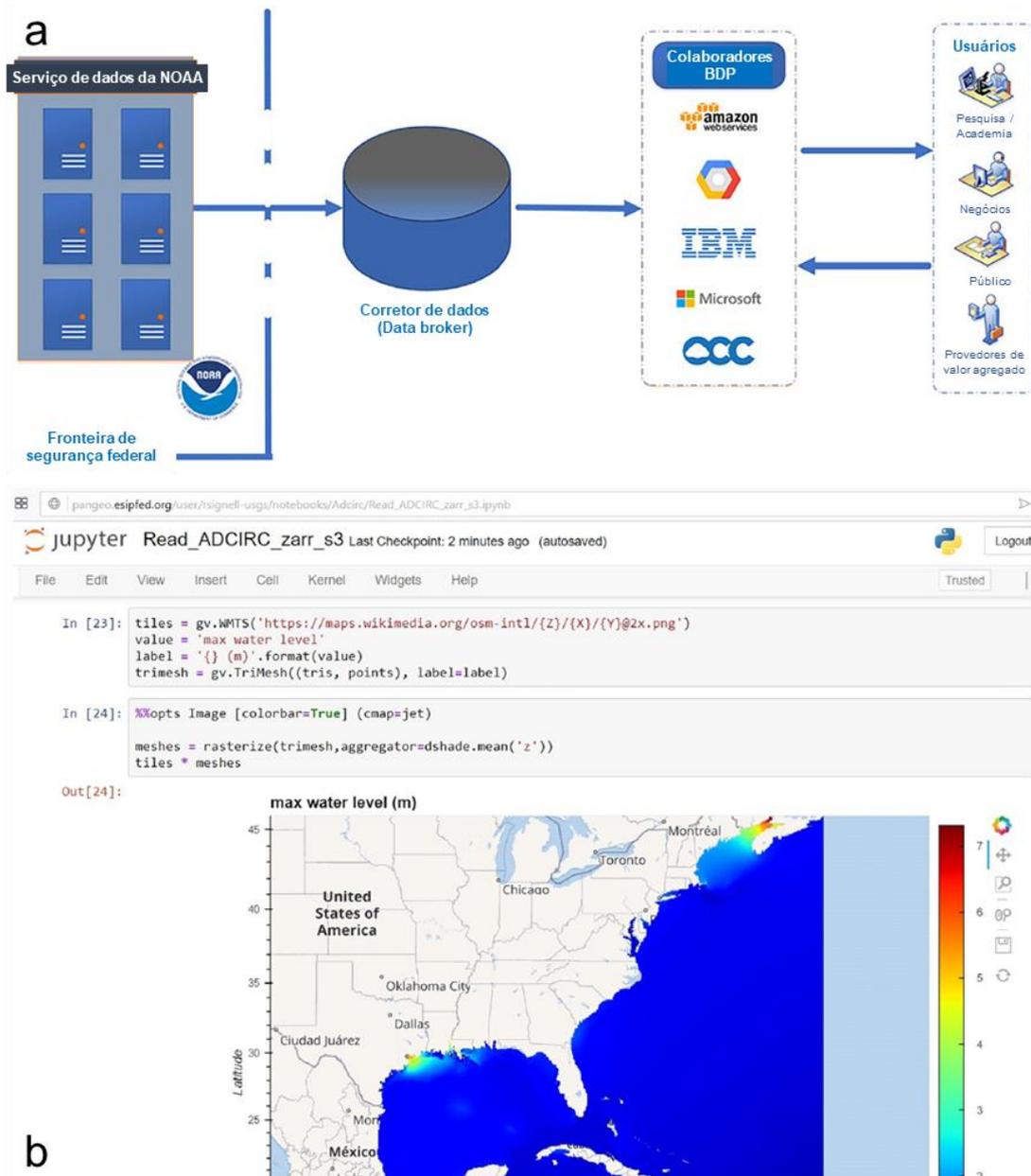
Fonte: Traduzido de Mell and Grance (2011).

Nas aplicações navais, a computação em nuvem pode proporcionar a uma organização acesso a um conjunto compartilhado de recursos de computação sob demanda, o que pode gerar benefícios como aumento da eficiência de recursos e redução de custos. De fato, existe a iniciativa de criar a “Nuvem Marítima” (*Maritime Cloud*), como introduzido por Eriksen (2017). No entanto, este tipo de sistemas pode estar sujeito a vulnerabilidades, tais como os ciberataques. Eriksen (2017) apresentou um estudo detalhado no qual podem ser encontrados os possíveis riscos na implementação desta tecnologia no setor naval. As vulnerabilidades foram classificadas como: gerais (*General*), relacionadas com atividades marítimas (*Maritime related*), relacionadas com a nuvem (*Cloud related*) e causas não técnicas (*Non-technical*).

Com relação aos casos de implementação da CC em aspectos marítimos, Vance et al. (VANCE et al., 2019), que apresentaram os desafios e oportunidades na implementação de análises oceânicas e atmosféricas com a nuvem. A pesquisa explicou as estratégias que está seguindo a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration* – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) para facilitar a disponibilidade de mais dados que sejam de utilidade para diversos usuários. Para isto, eles têm planejado implementar o Projeto Macrodata NOAA (BDP, Big Data Project), que consiste em utilizar um corretor de dados (data broker) e utilizar diversos colaboradores em nuvem, facilitando assim a interação e contribuição dos usuários (Figura 29a).

Dentre os benefícios que pode trazer a tecnologia CC, pode-se mencionar a facilidade de visualização de uma grande quantidade de dados em nuvem. Por exemplo, a Figura 29b mostra um exemplo de visualização em nuvem de uma simulação do furacão Ike em uma malha de nove milhões de nós, exibida usando aplicativos da *Datashader* e *Phyton Jupyter*. A combinação de aplicações em nuvem permitiu a visualização dessa quantidade de informação, pois vale a pena mencionar que a exibição de dados em grandes grades ou malhas é um desafio apenas com um navegador convencional.

Figura 29. (a) Diagrama da arquitetura pensada pela NOAA para acrescentar a disponibilidade de dados em nuvem no projeto NOAA BDP (Big Data Project – Projeto de Macrodados da NOAA). (b) Exemplo de visualização rápida na nuvem utilizando ferramentas de visualização livres do software Python Jupyter.



Fonte: Vance et al. (VANCE et al., 2019).

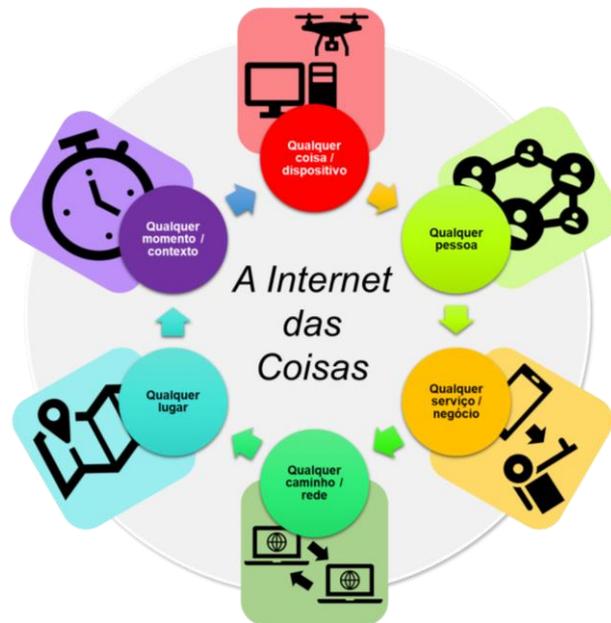
6.5. IOT – INTERNET OF THINGS (INTERNET DAS COISAS)

A IoT (*Internet of Things* – Internet das Coisas) pode ser definida como o conjunto de coisas/objetos em nosso ambiente sendo conectados de forma a fornecer comunicação homogênea e serviços contextuais. A IoT envolve muitas conexões de coisas para coisas e

coisas para humanos e, portanto, é mais complexa que a Internet. A IoT é um novo desenvolvimento da Internet que está entrando em diversas áreas da vida humana, incluindo educação, indústria, negócios, saúde, entretenimento, etc (TZAFESTAS, 2018).

Segundo Tzafestas (2018), um dos objetivos da IoT é permitir que as ‘coisas’ sejam conectadas a qualquer hora (qualquer contexto), qualquer lugar com qualquer coisa (qualquer dispositivo) e qualquer pessoa usando qualquer caminho (qualquer rede) e qualquer serviço ou negócio (Figura 30). Na IoT existem três tipos de interação principais: de pessoas para pessoas, de pessoas para coisas (objetos, máquinas), e de coisas/máquinas para coisas/máquinas.

Figura 30. Conceitos da Internet das Coisas (IoT, Internet of Things).



Fonte: Elaboração própria inspirada em Tzafestas (2018).

O uso da IoT tem uma abrangência significativa em aplicações da sociedade em geral. Com relação às aplicações marítimas (*Maritime IoT*), a internet das coisas está presente em diversas atividades, incluindo o desenvolvimento de embarcações e sistemas flutuantes, navegação e monitoramento ambiental.

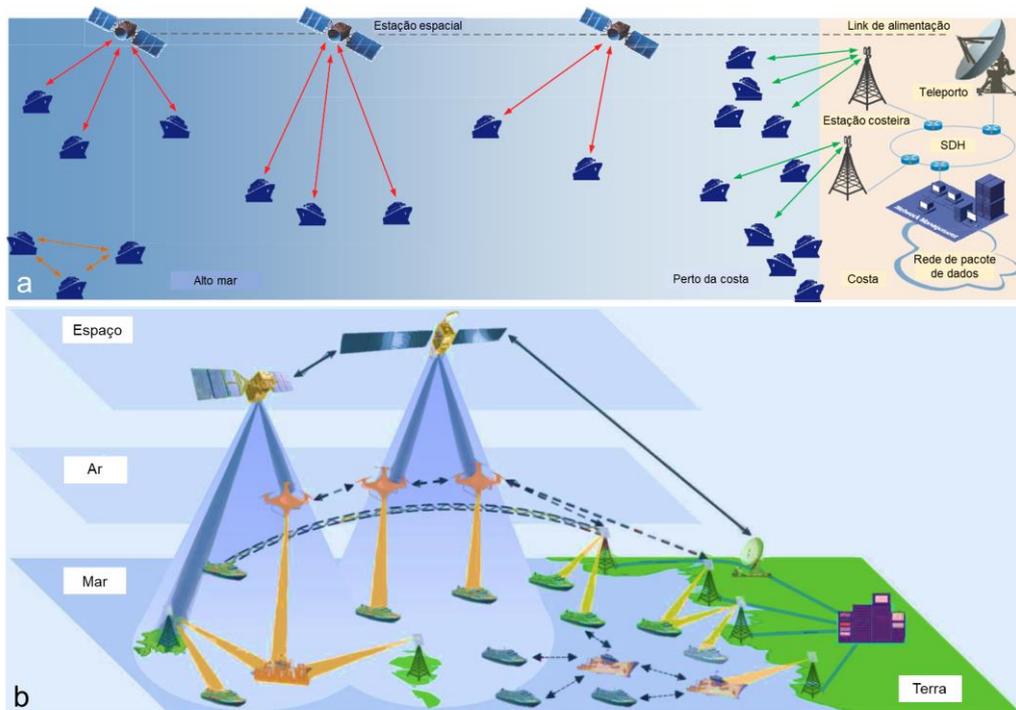
Um conceito que inclui a IoT para modernizar a indústria marítima foi introduzido pela Organização Marítima Internacional (IMO) das Nações Unidas sob o nome de “*e-Navigation*”. Este conceito pode ser estendido para criar uma estrutura de IoT marítima completa, sob a qual todas as embarcações e equipamentos marítimos, ou seja, as “coisas” marítimas estejam interconectadas através de um sistema unificado de comunicação do tipo máquina (MTC, *Machine-Type Communication*) para serviços marítimos ininterruptos em todo o mundo. Desta

maneira, assim como para qualquer outro aplicativo de IoT, a tecnologia MTC será a chave para a IoT marítima.

Para habilitar a IoT marítima, é necessário estabelecer a comunicação entre as embarcações e as estações costeiras, bem como entre as embarcações, para dar suporte a vários tipos de serviços marítimos (WANG; ZHANG; YOU, 2020). Detalhes relacionados com os serviços marítimos de MTC e IoT podem ser encontrados no trabalho de Wang et al. (2020).

A Figura 31a mostra a arquitetura de rede IoT marítima baseada na topologia de rede descrita em Xia et al. (2019). Nessa figura, o termo SDH denota a rede de telecomunicações baseada em protocolo de hierarquia digital síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy*); e o teleporto é uma estação terrestre de satélite que funciona como um *hub* que conecta uma estação espacial de satélite com uma rede de telecomunicações terrestre. A Figura 31b mostra uma ideia conceitual de redes de comunicação marítima (*Maritime Communication Networks, MNCs*) no futuro, contendo uma integração satélite-ar-terra e sendo “consciente do ambiente” e “orientado a serviços”.

Figura 31. (a) Ilustração da arquitetura de uma IoT marítima. (b) Conceito de redes de comunicação marítima (*Maritime Communication Networks, MNCs*) no futuro.

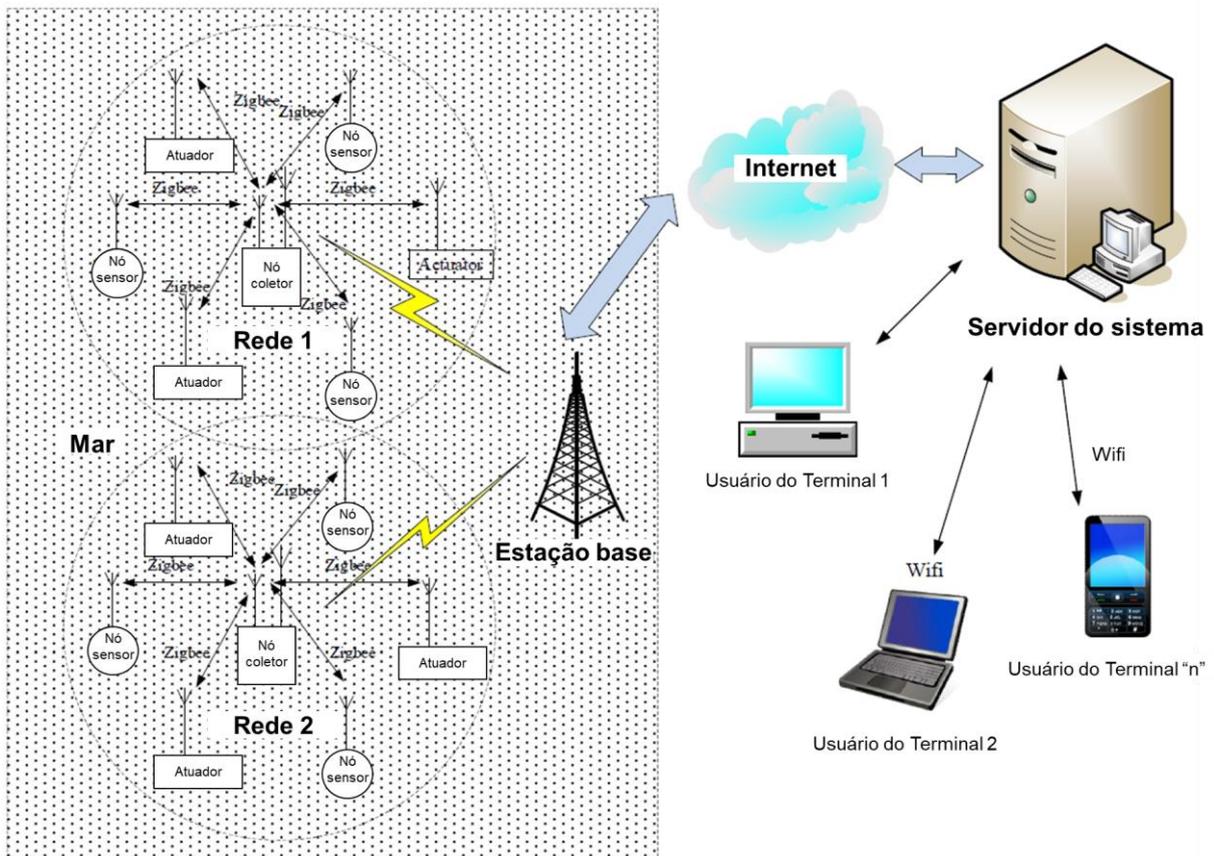


Fonte: (a); Modificado de Xia et al. (2019); (b) Wei et al. (2021).

Uma das aplicações mais importantes da IoT está relacionada com atividades de monitoramento do meio ambiente marítimo. Estas atividades são necessárias para a realização segura de atividades de transporte em diversas regiões marítimas, prevenção de acidentes, exploração de recursos naturais, entre outras, onde é necessário conhecer diversos parâmetros oceânicos. Então, existe a necessidade de monitorar, medir, comunicar e analisar diversas variáveis oceânicas de maneira remota, como por exemplo, utilizando boias de monitoramento oceânico.

Xu et al. (2019) apresentaram uma revisão de diversos tópicos relacionados com monitoramento do ambiente marítimo, incluindo os desafios mais comuns na medição e transmissão dos dados. Alguns problemas críticos no desenvolvimento de um sistema de monitoramento marítimo baseado em IoT incluem desafios relacionados com adaptabilidade, autonomia, escalabilidade, simplicidade, autorrecuperação, além de capacidade para suportar condições ambientais adversas. Uma configuração típica de um sistema de IoT para monitoramento marinho é mostrado na Figura 32.

Figura 32. Arquitetura física comum de sistemas de proteção e monitoramento de ambiente marinho baseados em IoT.

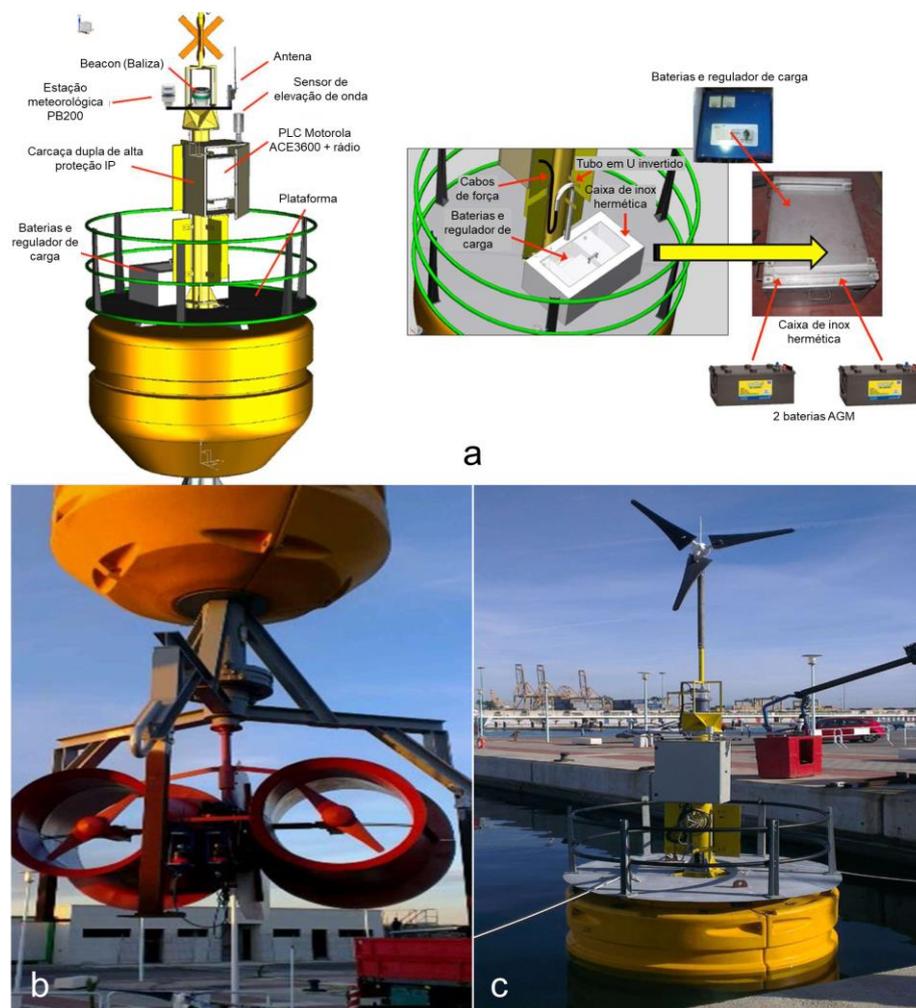


Fonte: Xu et al. (2019).

Como uma das aplicações da IoT na área marítima, cabe mencionar que nos últimos anos tem sido desenvolvido o conceito de “Internet das Boias” (*Internet of Buoy*), como introduzido por Sandra et al. (2020). A Internet das Boias consiste no desenvolvimento de sistemas de monitoramento para diversas aplicações oceânicas, seja na superfície do mar e submarinas, utilizando as tecnologias de IoT. Por exemplo, a Figura 33 mostra o projeto de um sistema de boia com sensores para monitoramento de recursos de energia marinha renovável. As Figuras 33a, 33b e 33c mostram a configuração da estrutura flutuante, o procedimento de lançamento e um exemplo da boia ancorada, respectivamente. Detalhes do procedimento de desenho, construção, instrumentação e implementação podem ser consultados em García et al. (2018).

Figura 33. Sistema de boia com sensores para monitoramento de energia renovável do oceano. (a) Configuração dos dispositivos instalados na estrutura flutuante. (b) Vista da parte inferior.

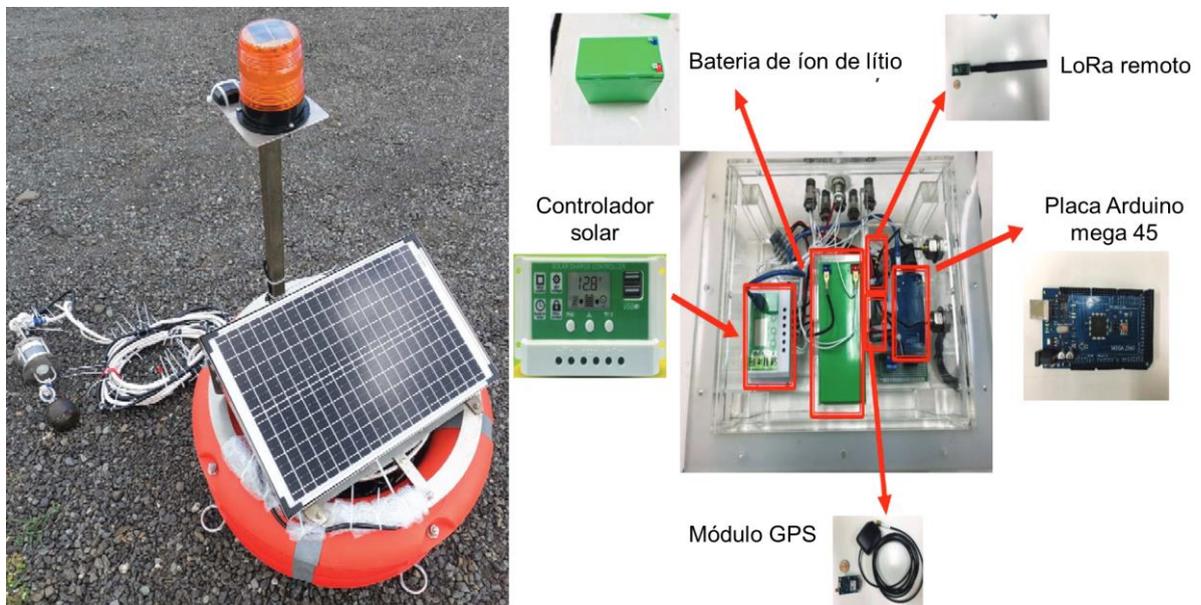
(c) Estrutura flutuando com um sistema de ancoragem.



Fonte: García et al. (2018).

Aplicações recentes até o presente ano (2022) estão incluindo o uso de sistemas de baixo custo, desenvolvidos com software e hardware livre (exemplo Arduino). Um exemplo é o desenvolvimento de um sistema de boia de baixo custo para monitorar a qualidade da água em gaiolas de aquicultura offshore, como mostrado na Figura 34. Na figura, é possível visualizar o dispositivo utilizando painéis solares para aumentar sua autonomia, assim como a configuração dos sensores utilizando hardware de baixo custo. Detalhes do desenvolvimento desse dispositivo pode ser encontrado em Lu et al. (2022).

Figura 34. Boia instrumentada com sensores de baixo custo para monitorar atividades de aquicultura.



Fonte: Lu et al. (2022).

7. DISCUSSÃO

As tecnologias da indústria 4.0 são tecnologias avançadas que podem contribuir na prevenção de acidentes em operações com embarcações na região amazônica. Tais tecnologias poderiam facilitar a autonomia, flexibilidade e segurança das operações na região. Além disso, também poderiam ser úteis na redução de erros humanos por meio de orientação utilizando tecnologias autônomas e do acesso, possivelmente em tempo real, a informações detalhadas com as quais seja possível implementar ações de redução de riscos de acidentes.

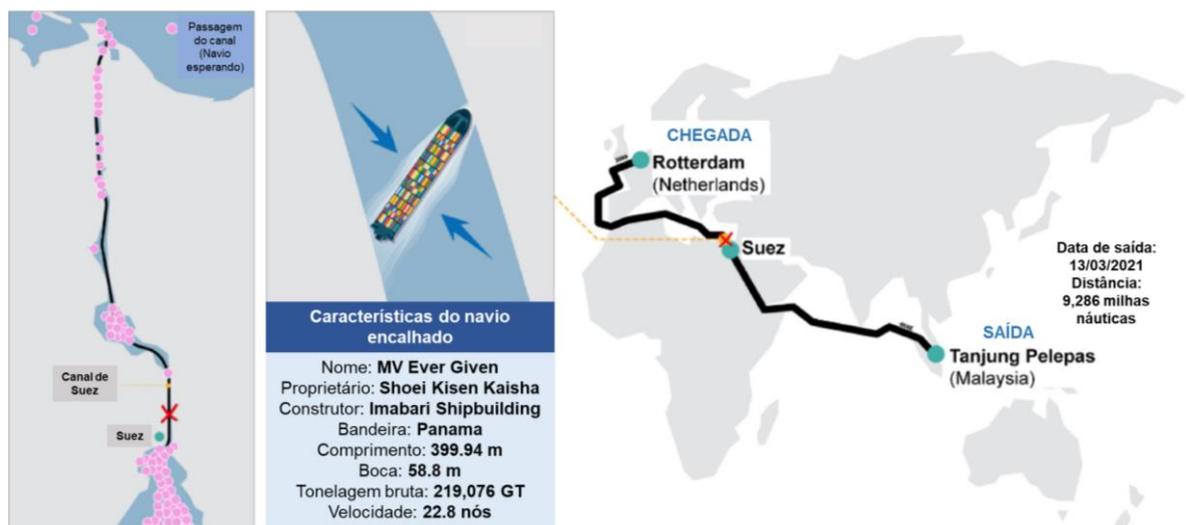
Por meio das tecnologias discutidas nos capítulos anteriores, várias implementações para redução de acidentes podem ser conduzidos. Porém, há alguns fatores relevantes que devem ser considerados em possíveis implementações, incluindo onde comparar tecnologias concorrentes em termos de custo-benefício, manutenibilidade, compatibilidade, integração com sistemas

existentes e gerenciamento de segurança da informação.

Na pesquisa bibliográfica apresentada recentemente por Sepehri et al. (2021), as tecnologias da Indústria 4.0 apresentadas neste trabalho foram consideradas como as mais comumente usadas na prevenção de colisões de navios. Embora algumas dessas técnicas sejam tecnologias já maduras em diversas áreas da engenharia (exemplo: sistemas ciberfísicos), a pesquisa também identifica lacunas significativas na literatura para implementação de outras tecnologias na prevenção de acidentes, o que pode orientar os pesquisadores no desenvolvimento de novas direções de pesquisa importantes.

No geral, segundo a pesquisa apresentada por Sepehri et al. (2021), os incidentes de navios mais comuns têm acontecido na forma de colisões e encalhe, sendo necessária uma maior atenção dos pesquisadores para evitar catástrofes significativas por meio de tecnologias 4.0 usadas na navegação. Os impactos que podem acarretar estes tipos de incidentes de colisão ou encalhe podem ser muito significativos em aspectos econômicos e ambientais, como refletido há pouco tempo com o encalhe do navio porta-contêiner *Ever Given* (Figura 35), que levou ao bloqueio do Canal de Suez, uma das vias marítimas comerciais mais movimentadas do mundo (CHA et al., 2021). Além disso, pesquisas nas áreas de Realidade Aumentada (AR) e simulação podem abrir alternativas de prevenção de acidentes para projeto de navios, tripulação e equipamentos. Embora o AIS seja o mais amplamente discutido dentre estas tecnologias, a combinação de AIS com outras tecnologias por meio de computação em nuvem, internet das coisas e análise de macrodados pode abrir novas iniciativas de inovação, requerendo também a necessidade de atividades de pesquisa para que possa haver avanços significativos na gestão de riscos.

Figura 35. Encalhe do navio Ever Given no Canal de Suez.



Fonte: Imagem traduzida de Cha et al. (2021).

Com relação aos riscos de implementação de tecnologias 4.0 na prevenção de acidentes é importante mencionar a necessidade de se utilizar sistemas digitais, que muitas vezes requerem de segurança. Lezzi et al. (2018) e Culot et al. (2019) apontam a segurança cibernética como uma grande desvantagem de várias tecnologias da Indústria 4.0. Portanto, a implementação adequada de diversas tecnologias 4.0 na prevenção de acidentes seria possível juntamente com medidas convenientes de segurança cibernética e informacional. Assim, é necessário considerar medidas para garantir a segurança cibernética, o trabalho qualificado, o treinamento de funcionários para melhorar as operações durante o uso de embarcações.

Outra direção de pesquisa interessante identificada é a aplicação de sistemas ciberfísicos com tecnologias mais conhecidas e amadurecidas, com a internet das coisas, no campo científico da gestão de riscos de acidentes marítimos. Por exemplo, uma possível direção futura relevante seria a identificação e desenvolvimento de dispositivos que viabilizem a elaboração de aplicativos móveis integrados à internet das coisas para navegação, rastreamento e alerta.

Colisões, inundações, incêndios, encalhamentos e derrames de petróleo têm sido apontados como os incidentes mais comuns envolvendo embarcações, pelo que foram considerados no presente trabalho. No entanto, analisar acidentes menos frequentes e investigar sua relação com as novas tecnologias também pode ser um ponto importante para trabalhos futuros, visando descobrir a contribuição dessas tecnologias com a sociedade.

Uma das principais lacunas identificadas na literatura é a falta de uso de computação em nuvem, internet das coisas e análise de macrodados nos acidentes marítimos, sendo tópicos relevantes para pesquisa futura.

8. DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS 4.0 NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES REGIONAL

Analogamente à indústria 4.0, a implementação destas tecnologias para prevenir acidentes com embarcações na região amazônica pode sofrer entraves similares, devido à falta de conhecimento e de procedimentos para uso de algumas tecnologias. A Tabela 4 lista, de maneira geral, alguns dos desafios de implementação das tecnologias 4.0, de acordo com a pesquisa de revisão apresentada por Siviero (2021), que considerou informações de diversos autores para propor as principais barreiras de implantação.

Tabela 4. Principais desafios para implementação de tecnologias 4.0 segundo Siviero (2021).

Desafio de implementação
Falta de um roteiro estratégico de implementação.
Falta de comprometimento da alta administração.
Falta de envolvimento e engajamento das partes interessadas, incluindo o governo, parceiros da cadeia e clientes.
Imprecisão na compreensão das tecnologias.
Falta de colaboração entre a indústria e academia para atividades de inovação, pesquisas e desenvolvimento.
Resistência à mudança (Resiliência).
Altos níveis de investimento na implementação das tecnologias.
Necessidade de força de trabalho com as habilidades necessárias para realizar atividades da Indústria 4.0.
Falta de programas de treinamento para capacitação no uso das tecnologias.
Falta de desenvolvimento de tecnologias.
Falta de informações sobre os benefícios econômicos do investimento digital.
Fornecimento insuficiente de infraestrutura e conectividade de banda larga.
Baixo nível de maturidade e integração de tecnologias.
Falta de infraestrutura de Tecnologias da Informação para serviços orientados a dados
Falta de proteção da privacidade e segurança da informação.
Falta de técnicas de análise de dados consolidadas.
Escassez de opções de emprego para mão de obra menos qualificada.
Diferença regional e cultura nacional.
Falta de normativas e procedimentos legais para avaliar crimes cibernéticos.
Ineficiência de regulamentações relacionadas ao trabalho e emprego.
Falta de normativas legais para o gerenciamento de propriedade intelectual, propriedade de dados, direitos autorais e questões de pesquisa e desenvolvimento.

Fonte: Siviero (2021).

De maneira geral, a implantação de tecnologias 4.0 em diversas regiões do Brasil, ainda se encontra nos seus primeiros estágios. Pode ser que as principais limitantes ainda sejam relacionadas com os custos de implementação e a falta de entendimento do funcionamento dessas novas tecnologias. Sendo assim, muitas pesquisas precisam ser realizadas para um melhor entendimento dessas tecnologias, principalmente quando se trata da utilização das mesmas para segurança de operações com embarcações.

Além das barreiras mencionadas por Siviero (2021), na Tabela 5, é possível mencionar algumas limitantes, próprias da região amazônica, que precisam ser consideradas na implementação das tecnologias 4.0 para prevenir acidentes com embarcações. Como é sabido, a região amazônica abriga uma das maiores florestas do mundo, sendo também uma das regiões mais preservadas na questão da biodiversidade. Portanto, a extensão faz com que seja muito

complexo sinalizar, dragar todas as hidrovias, assim como fiscalizar embarcações que não estão cadastradas nos registros das autoridades marítimas. Muitas dessas embarcações operam de maneira irregular, sendo ainda mais difícil fiscalizá-las quando operam em regiões remotas.

Além disso, é importante adicionar os eventos ambientais adversos típicos da região, como trombas de água e o problema das queimadas. Este último tem se intensificado nos últimos anos, causando acúmulo de gases na região que podem afetar as atividades de navegação.

Tabela 5. Principais desafios regionais para implementar tecnologias 4.0 na prevenção de acidentes com embarcações na região amazônica.

Desafio	Descrição	Ilustração	Referência
Situações ambientais adversas	Na região amazônica é comum que aconteçam, de maneira eventual, fortes ventos e chuvas; alguns desses eventos são conhecidos como banzeiros na região;		Portalamazonia (2021)
Preservação do meio ambiente	A região amazônica é uma das regiões mais preservadas do mundo devido à riqueza dos recursos naturais, sendo necessário evitar impactos negativos na flora e fauna regional.		Gov (2021)
Pouca sinalização	Devido à extensão da floresta amazônica e à complexidade do sistema de rios, torna-se uma tarefa difícil sinalizar e dragar constantemente todas as hidrovias.		Correiodaamazonia (2015)

<p>Pouco conhecimento batimétrico</p>	<p>Não existe uma definição completa da batimetria de todo o sistema hidroviário na região, embora existam iniciativas para sondar as hidrovias mais transitadas.</p>		<p>Conexãotocantins (2014)</p>
<p>Pirataria</p>	<p>Roubos e assaltos são comuns nas atividades de navegação regional, principalmente em zonas com pouca sinalização e fiscalização.</p>		<p>Amazoniaacontece (2011)</p>
<p>Falta de fiscalização</p>	<p>Embora existam iniciativas das autoridades marítimas para fiscalizar embarcações, nem todas as embarcações estão cadastradas e muitas delas ainda desenvolvem operações irregulares.</p>		<p>Portalmarcossantos (2015)</p>
<p>Queimadas</p>	<p>Na região amazônica está acontecendo o problema de queimadas de floresta, que causa acumulação de gases, causando possíveis perdas de visibilidade.</p>		<p>Coariemdestaque (2015)</p>

Fonte: a autora, 2022

9. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu a verificação de que os principais tipos de acidentes estão relacionados com colisão, explosão ou incêndio, alagamento, encalhamento e derramamento de óleo; sendo a colisão o mais comum reportado na literatura. Por outro lado, algumas das tecnologias 4.0 mais comuns em aplicações marítimas são sistemas ciberfísicos (incluindo vários sistemas), realidade aumentada e simulação, análise de macrodados, computação em nuvem e internet das coisas.

Foi constatado que embora existam algumas tecnologias 4.0 já em fase de amadurecimento em outras áreas da engenharia (exemplo: sistemas ciberfísicos, ou realidade aumentada), as aplicações de várias tecnologias nas atividades marítimas ainda precisam de atividades de pesquisa e desenvolvimento pela academia e a indústria. Uma maior ênfase deve ser dada às aplicações de tecnologias em fase de amadurecimento, como internet das coisas e análise de macrodados.

A implementação de tecnologias 4.0 para prevenção de acidentes com o uso de embarcações na região amazônica requer que uma série de desafios sejam atendidos. Além dos desafios típicos que envolvem o uso da indústria 4.0 em diversas áreas da engenharia, existem fatores próprios da região que precisam ser considerados em possíveis projetos com o uso destas tecnologias. Tais desafios incluem: condições ambientais adversas, falta de sinalização e legislação em regiões remotas, combate a atividades ilegais e minimização dos impactos negativos ao meio ambiente. Espera-se que os conceitos apresentados no presente trabalho sejam de utilidade no desenvolvimento de projetos relacionados com a implementação de tecnologias 4.0 em atividades da engenharia naval no Brasil.

REFERÊNCIAS

ADVISERA. **How to identify and classify OH&S hazards**. Disponível em: <<https://advisera.com/45001academy/blog/2015/05/14/how-to-identify-and-classify-ohs-hazards/>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

AHN, Y.-J.; YU, Y.-U.; KIM, J.-K. Accident cause factor of fires and explosions in tankers using fault tree analysis. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 8, p. 844, 2021.

ALESSANDRINI, A. et al. **Mining vessel tracking data for maritime domain applications**. 2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). **Anais...IEEE**, 2016.

AMAZONIAACONTECE. **Os piratas fluviais da Amazônia**. Disponível em: <<https://amazoniaacontece.blogspot.com/2014/03/os-piratas-fluviais-da-amazonia.html>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

AMAZONIANAREDE. **Incêndio destrói embarcação Manaus, no Porto da Manaus Moderna**. Disponível em: <<https://amazonianarede.com.br/incendio-destroi-embarcacao-manaus/>>. Acesso em: 1 set. 2022.

AMMAR, M. et al. Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. **Materials Today: Proceedings**, v. 45, p. 5089–5096, 2021.

ANDROJNA, A. et al. AIS data vulnerability indicated by a spoofing case-study. **Applied Sciences**, v. 11, n. 11, p. 5015, 2021.

ATLANTICRADIOTELEPHONE. **Ais transponder**. , 2022. Disponível em: <<https://www.atlanticrt.com/catalogsearch/result/?q=ais+transponder+>>. Acesso em: 8 set. 2022

BAI, Y.; JIN, W.-L. **Marine structural design (Second Edition)**. [s.l.] Elsevier, 2016.

BANDARA, D. et al. Augmented reality lights for compromised visibility navigation. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 12, p. 1014, 2020.

BDMARINERS. **Vessel Traffic Services (VTS): An Anti-Collision Aid – Manjur Khan (19N)**. Disponível em: <<https://bdmariners.org/vessel-traffic-services-vts-an-anti-collision-aid-manjur-khan-19n/>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

BECKER-HEINS, R. **ECDIS: BASICS A guide to the operational use of ECDIS**. Geomares Publishing, , 2014.

BRCKO, T. et al. Vessel multi-parametric collision avoidance decision model: Fuzzy approach. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 49, 2021.

BSI. **Introdução à OHSAS 18001 - Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional**. Disponível em: <<https://www.bsigroup.com/pt-BR/ISO-45001-Saude-e-Seguranca-Ocupacional/Introducao-a-OHSAS-18001/>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

CHA, J. et al. Legal Disputes under Time Charter in Connection with the Stranding of the MV Ever Given. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 10559, 2021.

COARIEMDESTAQUE. **O perigo das queimadas: embarcação lotada de passageiros bate por perca de visibilidade**. Disponível em: <<https://coariemdestaque.blogspot.com/2015/10/o-perigo-das-queimadas-embarcacao.html>>. Acesso em: 13 set. 2022.

CONEXÃO TOCANTINS. **Mais de 9 mil km² de rios na Amazônia serão mapeados**. Disponível em: <<https://conexaoto.com.br/2014/06/18/mais-de-9-mil-km-de-rios-na-amazonia-serao-mapeados>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

CORADDU, A. et al. Determining the most influential human factors in maritime accidents: A data-driven approach. **Ocean Engineering**, v. 211, p. 107588, 2020.

CORREIODAAMAZONIA. **Falta de sinalização e dragagem afeta navegação fluvial no Rio Madeira**. Disponível em: <<https://correiodaamazonia.com/falta-de-sinalizacao-e-dragagem-afeta-navegacao-fluvial-no-rio-madeira/>>. Acesso em: 13 set. 2022.

COZANET, H. **A Voyage Data Recorder (VDR), the “black box” of a ship, on the container ship SMA CGM Nabucco.**, 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ship_Voyage_Data_Recorder.jpg#filelinks>. Acesso em: 9 out. 2022

CULOT, G. et al. Addressing industry 4.0 cybersecurity challenges. **IEEE Engineering Management Review**, v. 47, n. 3, p. 79–86, 2019.

DE LA PEÑA ZARZUELO, I.; SOEANE, M. J. F.; BERMÚDEZ, B. L. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 20, p. 100173, 2020.

DELERA, M. et al. Does value chain participation facilitate the adoption of Industry 4.0 technologies in developing countries? **World Development**, v. 152, p. 105788, 2022.

DELOITTE. **Smart Ports: point of view.** By Deloitte Port Services. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-er-port-services-smart-ports.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

EMBLETON, B. **St Helier Vessel Traffic Service (VTS).**, 2009. Disponível em: <<http://www.portofjersey.je/Commercial/Pages/VTS.aspx>>. Acesso em: 9 nov. 2022

ERIKSEN, A. A. **The Risks of Marine Cloud Computing.** Master’s Thesis—Trondheim: Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2017.

FASSONI-ANDRADE, A. C. et al. Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 4, p. e2020RG000728, 2021.

FELSKI, A.; ZWOLAK, K. The ocean-going autonomous ship—Challenges and threats. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 41, 2020.

FOLHADELONDRINA. **Acidente de barco no Pará deixa nove desaparecidos.** Disponível em: <<https://www.folhadelondrina.com.br/geral/acidente-de-barco-no-para-deixa-nove-desaparecidos-984096.html>>. Acesso em: 1 set. 2022.

G1GLOBO. **Após três meses encalhado, navio Stellar Banner é rebocado e receberá inspeção na costa do Maranhão.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2020/06/04/apos-tres-meses-encalhado-navio-stellar-banner-e-rebocado-e-recebera-inspecao-na-costa-do-maranhao.ghtml>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

GAJEK, A. et al. Process safety education of future employee 4.0 in Industry 4.0. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 75, p. 104691, 2022.

GARCÍA, E. et al. Sensor buoy system for monitoring renewable marine energy resources. **Sensors**, v. 18, n. 4, p. 945, 2018.

GOV. **<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/biodiversidade-amazonica>.** Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/biodiversidade-amazonica>>. Acesso em: 13 set. 2022.

GPS. **GPS.gov: Marine**. Disponível em: <<https://www.gps.gov/applications/marine>>. Acesso em: 13 set. 2022.

HALEEM, A. et al. Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, 2022.

HÖYHTYÄ, M. et al. **Connectivity for autonomous ships: Architecture, use cases, and research challenges**. 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). **Anais...IEEE**, 2017.

IALA. **IALA Recommendation: R0126 (A-126) The use of the Automatic Identification System (AIS) in marine AIS to navigation services. Edition 2.0. December 2021.** , 2021. Disponível em: <www.iala-aism.org>. Acesso em: 9 set. 2022

IMO. **Voyage Data Recorders**. , 2019a. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/VDR.aspx>>. Acesso em: 9 nov. 2022

IMO. **Vessel Traffic Services**. , 2019b. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/VesselTrafficServices.aspx>>. Acesso em: 9 nov. 2022

IMO. **Integrated bridge system (IBS)**. , 2019c. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IntegratedBridgeSystems.aspx>>. Acesso em: 13 set. 2022

INFONAVIGATION. **Automatic Identification System (AIS)**. , 2012. Disponível em: <<https://infonavigation.blogspot.com/2012/04/automatic-identification-system-ais.html>>. Acesso em: 8 mar. 2022

JASKÓLSKI, K. et al. Automatic Identification System (AIS) Dynamic Data Integrity Monitoring and Trajectory Tracking Based on the Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Process Model. **Sensors**, v. 21, n. 24, p. 8430, 2021.

JAVAID, M. et al. Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. **Sustainable Operations and Computers**, 2022.

KANG, W.-S. et al. Design of Fairway Width Based on a Grounding and Collision Risk Model in the South Coast of Korean Waterways. **Applied Sciences**, v. 12, n. 10, p. 4862, 2022.

KIM, K.; LEE, K. M. Adaptive Information Visualization for Maritime Traffic Stream Sensor Data with Parallel Context Acquisition and Machine Learning. **Sensors**, v. 19, n. 23, p. 5273, 2019.

KOLLURU, R. V. Risk assessment and management: A unified approach. **Risk assessment and management handbook. For environmental, health, and safety professionals**, p. 1–41, 1995.

KOSTAKIS, P.; KARGAS, A. Big-Data Management: A Driver for Digital Transformation? **Information**, v. 12, n. 10, p. 411, 2021.

LEZZI, M.; LAZOI, M.; CORALLO, A. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. **Computers in Industry**, v. 103, p. 97–110, 2018.

LISOWSKI, J. Computational intelligence methods of a safe ship control. **Procedia computer science**, v. 35, p. 634–643, 2014.

LISOWSKI, J. Multistage Dynamic Optimization with Different Forms of Neural-State Constraints to Avoid Many Object Collisions Based on Radar Remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 1020, 2020.

LU, H.-Y. et al. A Low-Cost AI Buoy System for Monitoring Water Quality at Offshore Aquaculture Cages. **Sensors**, v. 22, n. 11, p. 4078, 2022.

MARINHADOBRASIL. **NORMAN-26/DHN: Norma da Autoridade Marítima para o Serviço de Tráfego de Embarcações (VTS)**. Brasília: Diretoria de Portos e Costas, Marinha do Brasil. , 2009. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/node/269>>. Acesso em: 8 set. 2022

MARTINEZ, J. L.; CYRINO, J. C.; VAZ, M. A. FPSO collision local damage and ultimate longitudinal bending strength analyses. **Latin American Journal of Solids and Structures**, v. 17, 2020.

MARTYNENKO, L. et al. Increasing the efficiency of investigation methods for rail transport accidents. **Transportation research procedia**, v. 63, p. 465–471, 2022.

MELL, P.; GRANCE, T. **The NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology (Technical Report)**. [s.l.] Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National ... , 2011. Disponível em: <<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>>.

MINUTOUNO. **Continúa la búsqueda de víctimas del naufragio del barco en Amazonas**. Disponível em: <<https://www.minutouno.com/mundo/continua-la-busqueda-victimas-del-naufragio-del-barco-amazonas-n77709>>. Acesso em: 1 set. 2022.

MIROVIĆ, M.; MILIČEVIĆ, M.; OBRADOVIĆ, I. Big data in the maritime industry. **NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo**, v. 65, n. 1, p. 56–62, 2018.

MOLINARO, M.; ORZES, G. From forest to finished products: The contribution of Industry 4.0 technologies to the wood sector. **Computers in Industry**, v. 138, p. 103637, 2022.

MOOSAVI, J.; BAKHSHI, J.; MARTEK, I. The application of industry 4.0 technologies in pandemic management: Literature review and case study. **Healthcare Analytics**, v. 1, p. 100008, 2021.

MROZOWSKA, A. Formal Risk Assessment of the risk of major accidents affecting natural environment and human life, occurring as a result of offshore drilling and production operations based on the provisions of Directive 2013/30/EU. **Safety science**, v. 134, p. 105007, 2021.

NARA, E. O. B. et al. Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 25, p. 102–122, 2021.

NATIONALGEOGRAPHIC. **GPS**. Disponível em: <<https://education.nationalgeographic.org/resource/gps>>. Acesso em: 13 set. 2022.

NG, T. C. et al. The Application of Industry 4.0 Technological Constituents for Sustainable Manufacturing: A Content-Centric Review. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4327, 2022.

PALIKARIS, A.; MAVRAEIDOPOULOS, A. K. Electronic navigational charts: International standards and map projections. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 4, p. 248, 2020.

PANDA, J. P.; MITRA, A.; WARRIOR, H. V. A review on the hydrodynamic characteristics of autonomous underwater vehicles. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment**, v. 235, n. 1, p. 15–29, 2021.

PARANITHARAN, K. et al. Application of industry 4.0 technology in containing Covid-19 spread and its challenges. **Materials Today: Proceedings**, 2022.

PERERA, L. P. et al. Machine intelligence for energy efficient ships: A big data solution. **Maritime Engineering and Technology III, Guedes Soares & Santos (Eds.)**, v. 1, p. 143–150, 2016.

PERERA, L. P.; CARVALHO, J. P.; SOARES, C. G. **Autonomous guidance and navigation based on the COLREGs rules and regulations of collision avoidance**. Proceedings of the international workshop advanced ship design for pollution prevention. **Anais...**2009.

PETROVIĆ, \DJOR\DJE; MIJAILOVIĆ, R.; PEŠIĆ, D. Traffic accidents with autonomous vehicles: type of collisions, manoeuvres and errors of conventional vehicles' drivers. **Transportation research procedia**, v. 45, p. 161–168, 2020.

PICCINELLI, M.; GUBIAN, P. Modern ships Voyage Data Recorders: A forensics perspective on the Costa Concordia shipwreck. **Digital investigation**, v. 10, p. S41–S49, 2013.

PORTALAMAZONIA. **<https://portalamazonia.com/amazonia/fenomeno-meteorologico-saiba-como-ocorre-a-tromba-d-agua>**. Disponível em: <<https://portalamazonia.com/amazonia/fenomeno-meteorologico-saiba-como-ocorre-a-tromba-d-agua>>. Acesso em: 13 set. 2022.

PORTALDOHOLANDA. **Comandante consegue salvar 35 pessoas de naufrágio após colisão com tronco de madeira no AM**. Disponível em: <<https://www.portaldoholanda.com.br/anama/comandante-consegue-salvar-35-pessoas-em-naufrago-apos-colisao-com-tronco-de-madeira-no-am>>. Acesso em: 1 set. 2022.

PORTALMARCOSSANTOS. **Fiscalização da PF em embarcações apreende mais de 270 quilos de maconha**. Disponível em: <<https://www.portalmarcossantos.com.br/2015/05/11/fiscalizacao-da-pf-em-embarcacoes-apreende-mais-de-270-quilos-de-maconha/>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

PRABOWO, A. R.; PUTRANTO, T.; SOHN, J. M. Simulation of the behavior of a ship hull under grounding: effect of applied element size on structural crashworthiness. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 7, n. 8, p. 270, 2019.

RIBEIRO, F. DE F. O. **Aplicação de ferramentas de análise de riscos para prevenção de acidentes marítimos: contribuição para implementação de modelo de VTS em portos brasileiros**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil. Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

SAHOO, A.; DWIVEDY, S. K.; ROBI, P. Advancements in the field of autonomous underwater vehicle. **Ocean Engineering**, v. 181, p. 145–160, 2019.

SANDERS, M. S.; MCCORMICK, E. Human error, accidents, and safety. **Human factors in engineering and design**, v. 7, p. 655–695, 1993.

SANDRA, M.; GUNNARSSON, S.; JOHANSSON, A. J. **Internet of buoys: An internet of things implementation at sea**. 2020 54th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. **Anais...IEEE**, 2020.

SEPEHRI, A. et al. The impact of shipping 4.0 on controlling shipping accidents: A systematic literature review. **Ocean Engineering**, p. 110162, 2021.

SIVIERO, B. L. **Indústria 4.0 na Logística: uma análise da implementação das tecnologias digitais nas empresas de Santa Catarina**. Trabalho de Conclusão de Curso—[s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

SONG, B.; ITOH, H.; KAWAMURA, Y. Development of training method for vessel traffic service based on cognitive process. **Cognition, Technology & Work**, v. 24, n. 2, p. 351–369, 2022.

SULLIVAN, B. P. et al. Maritime 4.0—opportunities in digitalization and advanced manufacturing for vessel development. **Procedia manufacturing**, v. 42, p. 246–253, 2020.

TZAFESTAS, S. G. Ethics and law in the internet of things world. **Smart cities**, v. 1, n. 1, p. 98–120, 2018.

UN. **United Nations: The 17 goals for Sustainable Development**. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

VALANTO, P. Active Flooding Mitigation for Stability Enhancement in a Damaged RoPax Ship. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 10, n. 6, p. 797, 2022.

VANCE, T. C. et al. From the oceans to the cloud: Opportunities and challenges for data, models, computation and workflows. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, p. 211, 2019.

VASILJEVIĆ, A.; BOROVIĆ, B.; VUKIĆ, Z. Augmented reality in marine applications. **Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike**, v. 62, n. 2, p. 136–142, 2011.

WANG, M. M.; ZHANG, J.; YOU, X. Machine-type communication for maritime internet of things: A design. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 4, p. 2550–2585, 2020.

WÄRTSILÄ. **WÄRTSILÄ Encyclopedia of Marine and Energy Technology: Voyage data recorder (VDR)**. , 2022. Disponível em: <[https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/voyage-data-recorder-\(vdr\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/voyage-data-recorder-(vdr))>. Acesso em: 9 nov. 2022

WEI, T. et al. Hybrid satellite-terrestrial communication networks for the maritime Internet of Things: Key technologies, opportunities, and challenges. **IEEE Internet of things journal**, v. 8, n. 11, p. 8910–8934, 2021.

- WIKIMEDIACOMMONS. **Automatic radar plotting aid.** , 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radar_screen.JPG>. Acesso em: 9 nov. 2022
- XIA, T.; WANG, M. M.; YOU, X. Satellite machine-type communication for maritime Internet of Things: An interference perspective. **IEEE Access**, v. 7, p. 76404–76415, 2019.
- XIE, X. et al. Quantitative Risk Analysis of Oil and Gas Fires and Explosions for FPSO Systems in China. **Processes**, v. 10, n. 5, p. 902, 2022.
- XU, G. et al. Internet of things in marine environment monitoring: A review. **Sensors**, v. 19, n. 7, p. 1711, 2019.
- XU, J. et al. Oil spill detection using LBP feature and K-means clustering in shipborne radar image. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 65, 2021.
- YADAV, V. S. et al. Exploring the application of Industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: a systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, p. 108304, 2022.
- YOO, S.-L.; KIM, K.-I. Optimal staffing for vessel traffic service operators: a case study of Yeosu VTS. **Sensors**, v. 21, n. 23, p. 8004, 2021.
- ZAHUGI, E. M. H.; SHANTA, M. M.; PRASAD, T. Design of multi-robot system for cleaning up marine oil spill. **International Journal of Advanced Information Technology**, v. 2, n. 4, p. 33, 2012.
- ZALEWSKI, P. Integrity concept for maritime autonomous surface ships' position sensors. **Sensors**, v. 20, n. 7, p. 2075, 2020.
- ZAVODJANČÍK, T.; KASANICKÝ, G.; DEMČÁKOVÁ, L. Reduction of Pedestrian Accidents–Automated Road Vehicles. **Transportation research procedia**, v. 55, p. 1605–1612, 2021.
- ZHANG, M. et al. A method for the direct assessment of ship collision damage and flooding risk in real conditions. **Ocean Engineering**, v. 237, p. 109605, 2021.
- ZHANG, X. et al. A numerical investigation on the flooding process of multiple compartments based on the volume of fluid method. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 7, n. 7, p. 211, 2019.
- ZORZENON, R.; LIZARELLI, F. L.; DANIEL, B. DE A. What is the potential impact of industry 4.0 on health and safety at work? **Safety Science**, v. 153, p. 105802, 2022.