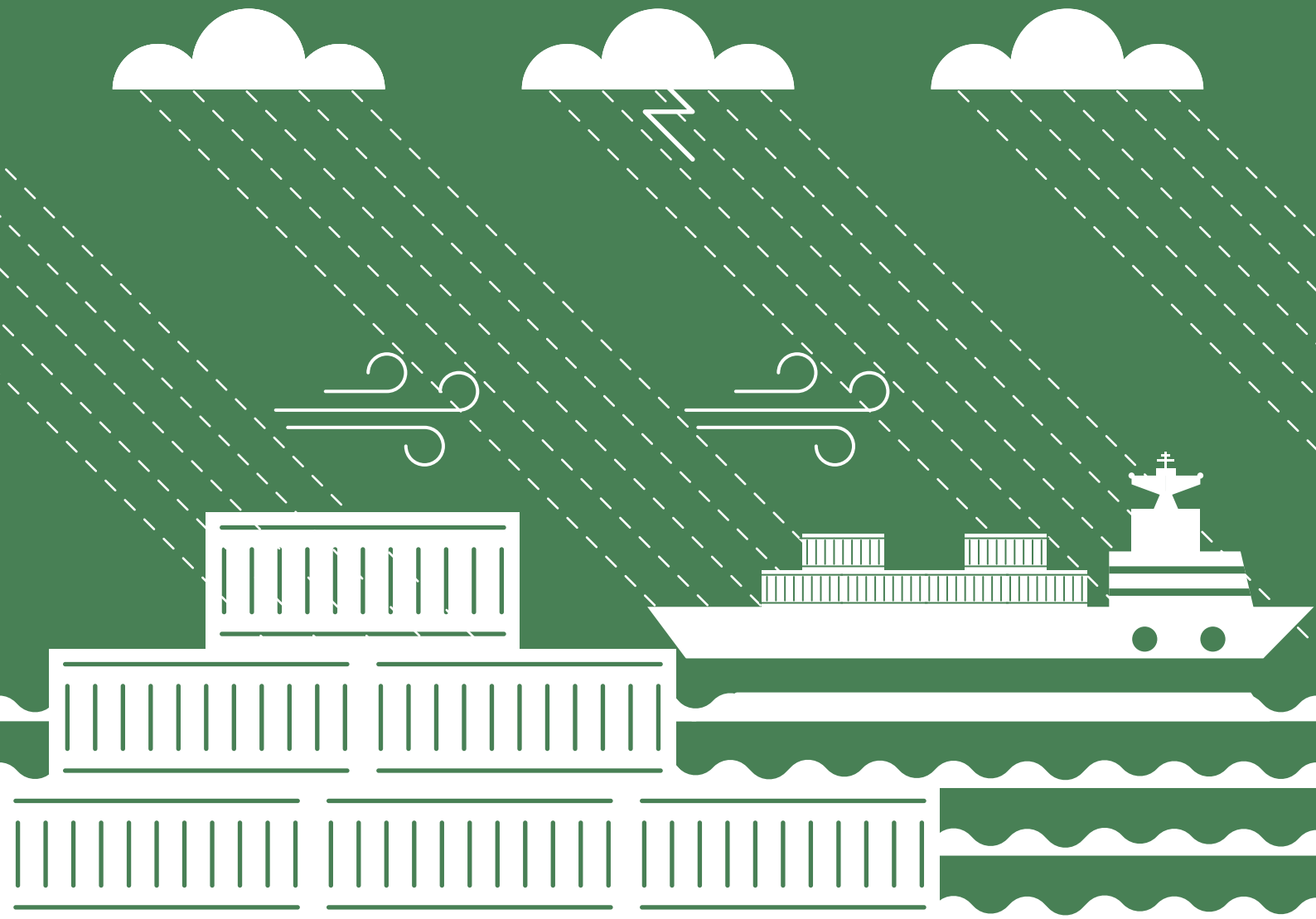


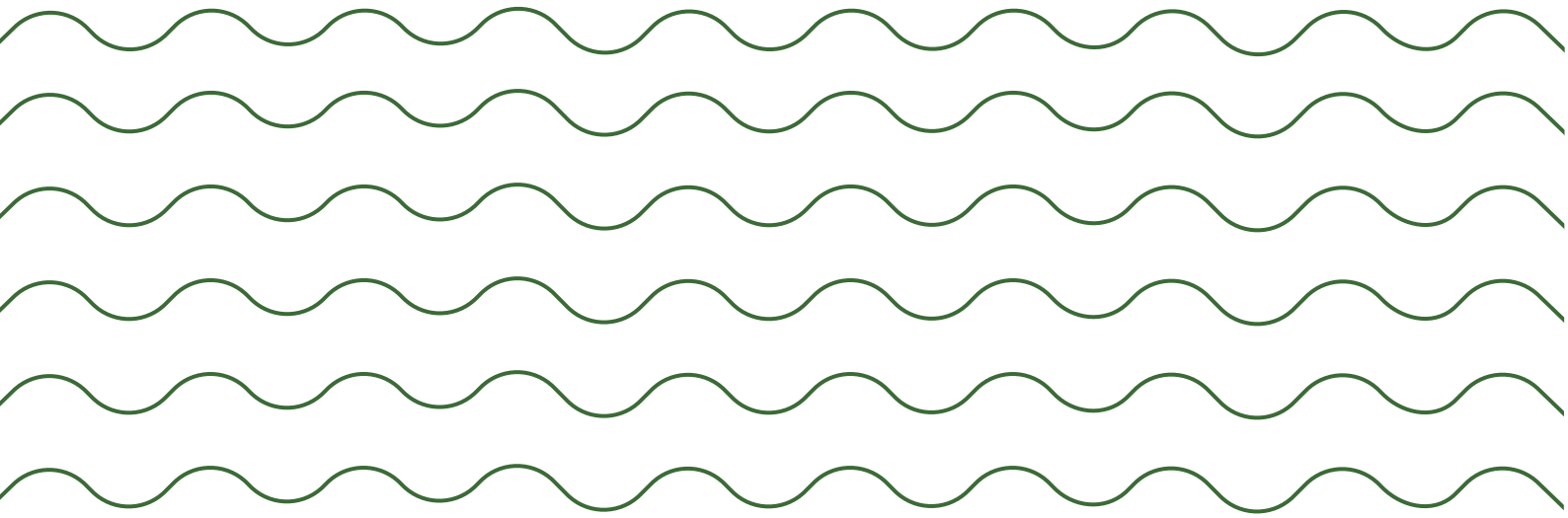
LEVANTAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA **INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS**

Relatório Final
Porto de Aratu

On behalf of:
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection
of the Federal Republic of Germany
IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
PROADAPTA Adaptação à Mudança do Clima
ANTAQ
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS
GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Relatório Final
Porto de Aratu

LEVANTAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA **INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS**



FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

Cliente	Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)
Projeto	Levantamento de Risco Climático e Proposições de Medidas de Adaptação Para Infraestruturas Portuárias
Tipo de Documento	Relatório Final
Data	25 de maio de 2023
Nome do arquivo	Relatório Final
Confidencialidade	Confidencial
Idioma do documento	Português
Número de páginas	198
Versão	V3

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio dos projetos Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI) e Apoio ao Brasil na Implementação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta). Os projetos foram pactuados no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Segurança Nuclear e Proteção ao Consumidor da Alemanha (BMUV, sigla em alemão). Participaram desse processo as autoridades portuárias da Bahia (CODEBA), de Santos (SPA) e do Rio Grande (Portos RS). Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da ANTAQ, GIZ ou dos demais parceiros executores. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

EXPEDIENTE

ELABORAÇÃO
I Care by Bearing Point
Leonardo Furquim Werneck
Victor Pires Gonçalves
Rafael José Rorato
Argemiro Teixeira
Camila Rocha
Audrey Gonçalves

EQUIPE TÉCNICA
Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)

José Renato Ribas Fialho - Superintendência de Desempenho, Desenvolvimento e Sustentabilidade (SDS)
José Gonçalves Moreira Neto - Gerência de Desenvolvimento e Estudos (GDE)
Ana Paula Harumi Higa – GDE
Livia Resende Lara - GDE
Uirá Cavalcante Oliveira - Gerência de Meio Ambiente e Sustentabilidade (GMS)
Anderson Paz da Silva - GMS
Alessandro Max Barros Bearzi – GMS

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Ana Carolina Câmara – Diretora de Projetos
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas – Assessora Técnica
Pablo Borges de Amorim – Assessor Técnico

Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DIIAV-INPE)
Lincoln Muniz Alves

Autoridade Portuária de Aratu-BA, Companhia das Docas do Estado da Bahia (Codeba)
Paulo Cezar Soares Pinheiro − Gerente do Porto de Aratu-Candeias
Tatiana Pessanha Noel −Chefe de Serviço da Gerência de Infraestrutura
Isis Drielle dos Reis Santos − Técnica Portuária de Meio Ambiente

DIAGRAMAÇÃO
Daniel Freitas

CONTATOS
ANTAQ
SEPN Quadra 514, Conjunto “E”, Edifício ANTAQ, SDS, 3º andar, Brasília – DF
CEP 70760-545
T + 55 61 2029-6764

GIZ
Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil
A encargo de:

Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Segurança Nuclear e Defesa do Consumidor (BMUV) da Alemanha
BMUV Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projetos:
Ana Carolina Câmara
T: +55 61 9 99 89 71 71
T: +55 61 2101 2098
E: ana-carolina.camara@giz.de

Brasília, maio de 2023.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

2. OBJETIVOS 14

3. MATERIAIS E MÉTODOS 14

4. RESULTADOS 47

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 136

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 148

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 150

APÊNDICES 154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização do Porto de Aratu

Figura 2: Mapa do complexo portuário de Aratu-Candeias separado por tipo de carga

Figura 3: Etapas do PIEVC 5

Figura 4: Processo para estabelecer o risco climático sobre a infraestrutura

Figura 5: Reunião realizada ao longo do projeto

Figura 6: Elementos da estrutura de uma cadeia de impacto

Figura 7: Fluxograma dos passos adotados na etapa de levantamento da probabilidade das ameaças climáticas

Figura 8: Planilha utilizada para construção da escala de severidade

Figura 9: Matriz de risco e mapa de cor

Figura 10: Movimentação de cargas por toneladas para o Porto de Aratu-Candeias

Figura 11: Cinco maiores mercadorias (carga) em milhões de toneladas para o Porto de Aratu-Candeias

Figura 12: Píer TPG e terminal da Braskem. Esferas para gases liquefeitos: (a) perímetro em azul, três unidades; (b) perímetro em vermelho três unidades

Figura 13: Píer TGL e terminais da Vopak, Fafen e Tequimar/ Ultracargo

Figura 14: Píer TGS e terminais da Fafen, Magnesita, Paranapanema e Pátio público

Figura 15: Canais de Acesso de Aratu e Cotegipe; e Bacias de Evolução do Porto de Aratu

Figura 16: Fundeadouros do Porto de Aratu e Salvador

Figura 17: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2019

Figura 18: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2020

Figura 19: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2021

Figura 20: Histórico de eventos de paralisações entre 2019 e 2021

Figura 21: Histórico de eventos de paralisações entre 2020 e 2021

Figura 22: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade Média – Nuvens Baixas e Paralisações no segundo semestre de 2019

Figura 23: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações no segundo semestre de 2019

Figura 24: Análise de correlação entre a variável Velocidade do Vento a 10 m de altura e Paralisações no segundo semestre de 2019

Figura 25: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade Média – Nuvens Baixas e Paralisações para o ano de 2020

Figura 26: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações para o ano de 2020

Figura 27: Análise de correlação entre a variável Velocidade do vento a 10 m de altura e Paralisações para o ano de 2020

Figura 28: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade média – Nuvens baixas e Paralisações para o primeiro semestre de 2021

Figura 29: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações para o primeiro semestre de 2021

Figura 30: Análise de correlação entre a variável Velocidade do vento a 10 m de altura e Paralisações para o primeiro semestre de 2021

Figura 31: Cadeia de impacto para vendavais em função da alteração nos padrões de ventos

Figura 32: Cadeia de impacto para enchentes e inundação fluvial em decorrência de alterações nos regimes pluviométricos

Figura 33: Cadeia de impacto para tempestades

Figura 34: Cadeia de impacto para ressaca

Figura 35: Cadeia de impacto para aumento do nível do mar

Figura 36: Cadeia de impacto para neblina

Figura 37: Cadeia de impacto para ondas de calor

Figura 38: Série histórica de número de dias com vento fraco à forte (> 3 m/s) Aratu de 1981 a 2020 a partir de dados de reanálise do ERA5.

Figura 39: Série histórica de número de dias com chuva forte (> 20 mm) no Porto de Aratu de 1981 a 2020 a partir de dados do CHIRPS.

Figura 40: Anomalia do nível do mar para o período de 1993-2018 na zona do Porto de Aratu

Figura 41: Infraestrutura de suporte ao transportadores contínuos e dutovias

Figura 42: Área inundada (Aumento do Nível do Mar + Ressacas com Tempo de Retorno de 1 ano) para o cenário de altas emissões (SSP5-8.5) para o ano de 2050 para Aratu

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das informações utilizadas para definir os critérios da customização climática.

Tabela 2: Indicadores climáticos relevantes no Porto de Aratu

Tabela 3: Modelos utilizados na análise

Tabela 4: Escala de Probabilidade para a linha de base do Porto de Santos

Tabela 5: Tabela resumo do nível de concordância

Tabela 6: Grupos de técnicos consultados para construção da Escala de Severidade

Tabela 7: Estrutura de apresentação do risco por interação ameaça climática – infraestrutura

Tabela 8: Escala de probabilidade das ameaças climáticas

Tabela 9: Escala de severidade estrutural por tipo de produto

Tabela 10: Escala de severidade operacional por tipo de produto

Tabela 11: Escala de severidade estrutural com características e danos comuns aos diversos operadores

Tabela 12: Escala de severidade operacional com características e danos comuns aos diversos operadores

Tabela 13: Escala de risco dos impactos

Tabela 14: Potenciais impactos climáticos nos canais de acesso

Tabela 15: Potenciais impactos climáticos nas bacias de evolução

Tabela 16: Potenciais impactos climáticos associados à operação anos dos Píeres e Terminais

Tabela 17: Potenciais danos causados por eventos climáticos nos Píeres e Terminais

Tabela 18: Resumo das condições climáticas observadas e das projeções futuras

Tabela 19: Classificação de probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas no Porto de Aratu

Tabela 20: Nível de confiança para o período de 2021 a 2040

Tabela 21: Nível de confiança para o período de 2041 a 2060

Tabela 22: Nível de confiança para o período de 2081 a 2100

Tabela 23: Equipamentos portuários abordados no estudo

Tabela 24: Quantitativo de equipamentos portuários no Porto de Aratu

Tabela 25: Infraestruturas avaliadas na definição de pontuação de severidade para o Porto de Aratu

Tabela 26: Impactos climáticos potenciais nos canais de acesso

Tabela 27: Impactos climáticos potenciais nas bacias de evolução 93

Tabela 28: Impactos climáticos potenciais nos Píeres e Terminais

Tabela 29: Impactos climáticos causados nos Píeres e Terminais

Tabela 30: Escala de Severidade Estrutural

Tabela 31: Escala de Severidade Operacional

Tabela 32: Escala de Severidade Estrutural para características e danos comuns a todos operadores do complexo portuário

Tabela 33: Escala de Severidade Operacional para características e danos comuns a todos operadores do complexo portuário

Tabela 34: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Granéis Líquidos – severidade estrutural

Tabela 35: Nível de classificação evento-operação-severidade para Granéis Líquidos – severidade operacional

Tabela 36: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Granéis Sólidos – severidade estrutural

Tabela 37: Nível de classificação evento-operação-severidade para Granéis Sólidos – severidade operacional

Tabela 38: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Produtos Gasosos – severidade estrutural

Tabela 39: Nível de classificação evento-operação-severidade para Produtos Gasosos – severidade operacional

Tabela 40: Risco estrutural para Granéis Líquidos

Tabela 41: Risco operacional para Granéis Líquidos

Tabela 42: Risco operacional para Granéis Líquidos

Tabela 43: Risco estrutural para granéis sólidos

Tabela 44: Risco operacional para Granéis Sólidos

Tabela 45: Risco operacional para Granéis Sólidos

Tabela 46: Resumo do risco operacional para Granéis Sólidos

Tabela 47: Risco estrutural para Produtos Gasosos

Tabela 48: Risco operacional para Produtos Gasosos

Tabela 49: Resumo do risco operacional para Produtos Gasosos

Tabela 50: Ficha Medidas de Adaptação para o Porto de Aratu

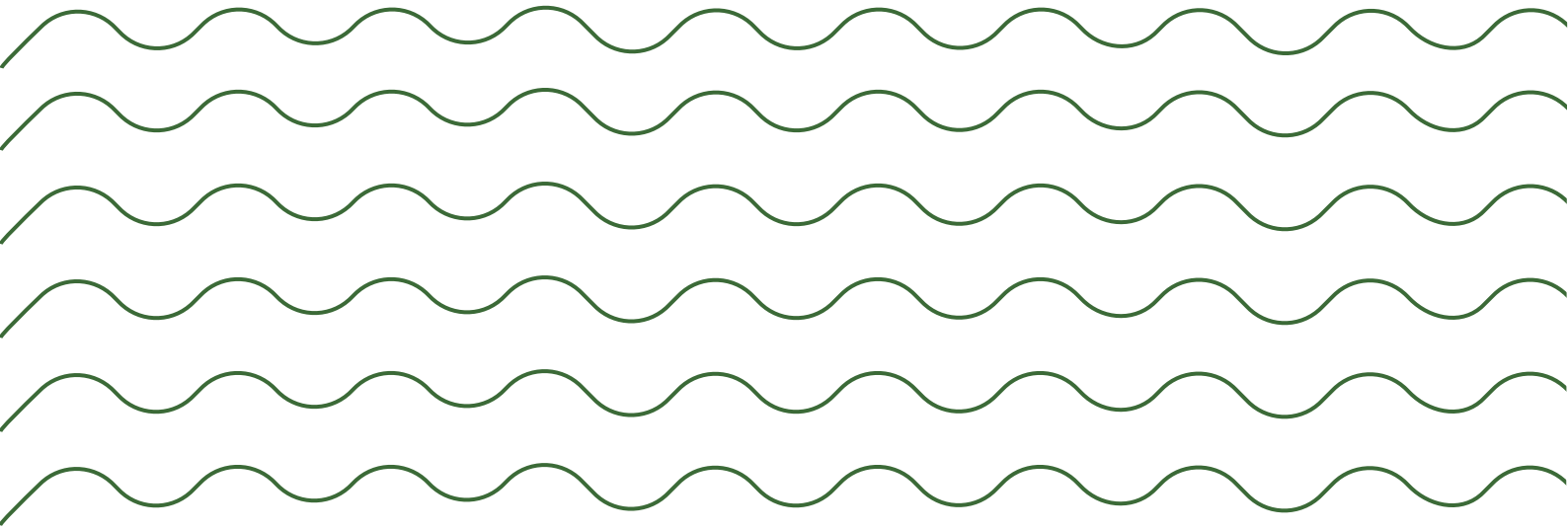
Tabela 51: Respostas às perguntas norteadoras

Tabela 52: Respostas às perguntas norteadoras

Tabela 53: Respostas às perguntas norteadoras

Tabela 54: Respostas às perguntas norteadoras

Tabela 55: Respostas às perguntas norteadoras



Apresentação

Segundo o IPCC a mudança climática, induzida pelo homem, vem afetando praticamente o mundo todo, e com isso já se observam inúmeras alterações e riscos em diversos setores e atividades econômicas (IPCC, 2021). No desenvolvimento do presente estudo, constatou-se que a operação portuária é diretamente afetada pelas tempestades, condições de ventos, ondas e nível do mar, com impactos que abarcam desde a paralisação da navegação dentro da área portuária, por conta da agitação do mar e ventos intensos, até a paralisação da operação de retaguarda e cais por ventos fortes, confirmando o alerta de Becker de que "a intensificação e o aumento da frequência dos eventos extremos, bem como o aumento do nível do mar, podem causar danos e prejuízos consideráveis, tais como o colapso de infraestruturas e paralizações em operações portuárias" (BECKER et al., 2018).

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), por intermédio das gerências de Desenvolvimento e Estudos e de Meio Ambiente e Sustentabilidade, ambas da Superintendência de Desenvolvimento, Desempenho e Sustentabilidade, em parceria com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, realizou, em 2021, uma avaliação geral dos riscos climáticos presentes e futuros em 21 portos costeiros brasileiros. Um dos resultados dessa avaliação foi a elaboração de um ranking dos portos classificados com maior risco para as ameaças de tempestade, vendaval e aumento do nível do mar.

A partir desse ranking e considerando outros critérios como recorte regional e a perspectiva de novos investimentos materializada em arrendamentos qualificados no Programa de Parceria de Investimentos – PPI, foram selecionados os portos de Aratu/ BA, Rio Grande/ RS e Santos/ SP para uma levantamento de risco climático customizado e detalhado, baseado nas suas infraestruturas e operações, nos impactos da mudança do clima já verificados e nos impactos potenciais em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa e horizontes temporais futuros, bem como desafios que cada porto possui para levar adiante estratégias de adaptação.

Esse levantamento customizado apresentou como diferencial, em relação à avaliação geral feita anteriormente, o foco nas infraestruturas do Porto de Aratu (BA), o que inclui o detalhamento das ameaças climáticas, a análise por tipo de carga e equipamentos e o levantamento de medidas de adaptação específicas para a realidade do porto.

1 :: Introdução

Importantes viabilizadores do acesso brasileiro ao mercado internacional, os portos vêm observando, com cada vez mais frequência, os efeitos decorrentes da crise climática global, verificando impactos tanto sobre a operação quanto sobre sua infraestrutura (ANTAQ, 2021a). A operação portuária é diretamente afetada pelas tempestades, condições de ventos, ondas e nível do mar, com impactos que abarcam desde a paralisação da navegação dentro da área portuária, por conta da agitação do mar e ventos intensos, até a paralisação da operação de retaguarda e cais por ventos fortes (FIGUEIREDO et al., 2016; MOSER et al., 2018).

Esses eventos climáticos extremos, mais frequentes devido às alterações climáticas em curso, vêm provocando danos diretos e indiretos na infraestrutura mundial, sendo que as perdas econômicas foram estimadas em 330 bilhões de dólares em 2017. É estimado também que os custos

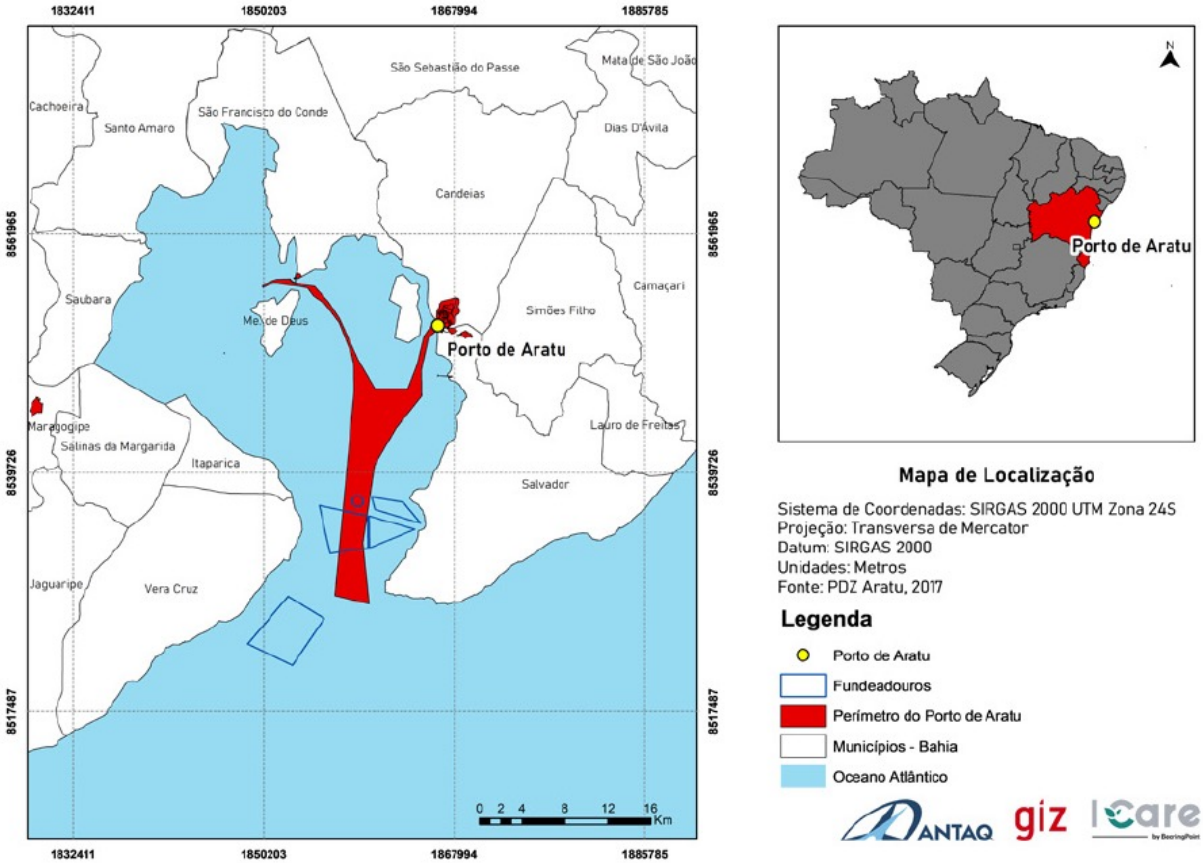
de adaptação para as infraestruturas alcancem entre 150 e 450 bilhões de dólares por ano em 2050 (UNEP, 2018).

Por isso, dada a necessidade de gerar informações confiáveis para o planejamento dos portos brasileiros, sobretudo em função dos investimentos por meio do Programa de Parcerias de Investimento (PPI) do Governo Federal, a avaliação da probabilidade e severidade dos eventos extremos históricos e futuros nos portos selecionados é uma peça fundamental para o planejamento de ações que poderiam ser adotadas pelo PPI para minimizar os danos no futuro e garantir que os portos brasileiros continuem a impulsionar o crescimento do país.

O Porto de Aratu é classificado como Porto Organizado, localizado no município baiano de Candeias (Figura 1). A posição geográfica encontra-se inserida na Baia de Todos os Santos, entrada da Baia de Aratu. Classifica-se como terminal portuário especialista em cargas químicas, nos padrões líquidos, gasosos e sólidos, todas a granel (Figura 2). É um porto de grande importância para o desenvolvimento industrial e econômico do Estado da Bahia. O porto dá provimento e suporte a dois grandes polos industriais, o Centro Industrial de Aratu (CIA) e o Polo Industrial de Camaçari, além disso, é um porto que se destaca por ser um escoadouro de produção química e petroquímica para todo o Brasil.

É um porto sem interferência urbanística lindeira e, apesar de uma topografia do retroporto mais acidentada, o terminal ainda consta com potenciais áreas para expansão das atividades.

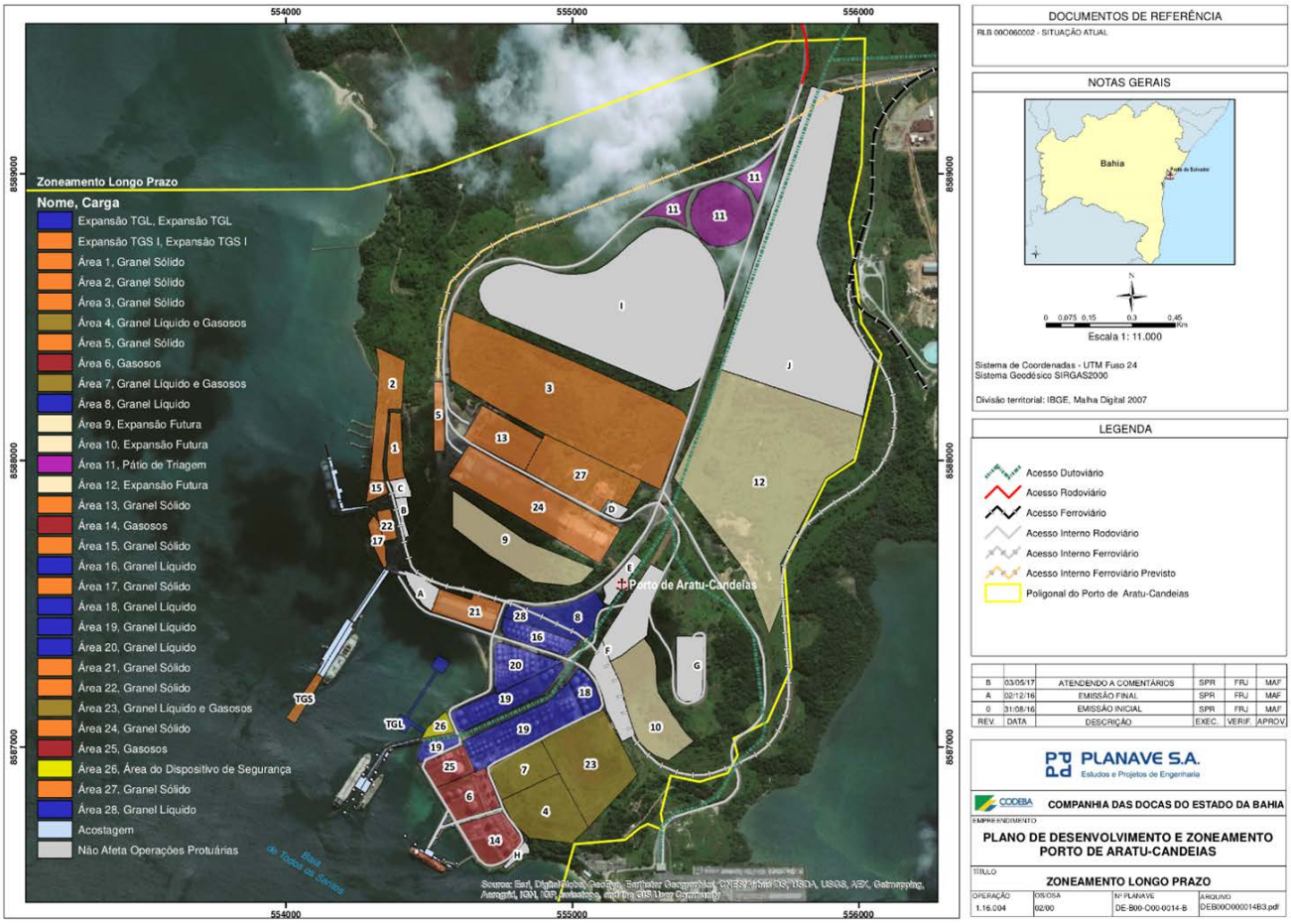
Figura 1: Mapa de Localização do Porto de Aratu



Fonte: Adaptado de CODEBA, 2018

Dada a importância do porto, a avaliação do risco climático e o levantamento de medidas de adaptação para a infraestrutura do Porto de Aratu são essenciais para o processo de planejamento, que pode minimizar os impactos frente à mudança do clima.

Figura 2: Mapa do complexo portuário de Aratu-Candeias separado por tipo de carga



Fonte: CODEBA, 2018

Em relação aos impactos históricos, foi constatado que o porto não possui uma série de dados sobre danos estruturais e operacionais dentro do complexo portuário devido a eventos hidrometeorológicos e oceanográficos. Isso reforça a importância do estudo, que visa ampliar a visão do porto sobre os riscos climáticos.

2 :: Objetivos

O escopo de estudo foi desenvolvido em várias oficinas e reuniões nas quais as definições do projeto foram pactuadas de maneira participativa. O escopo de estudo final compreendeu:

1. Apresentar o Protocolo PIEVC como uma ferramenta de gerenciamento de risco climático para o Porto de Aratu;

2. Definir quais infraestruturas portuárias seriam analisadas no âmbito do estudo;

3. Identificar as ameaças climáticas atuais e futuras capazes de causar danos às infraestruturas selecionadas;

4. Levantar os riscos climáticos para as interações entre ameaças-infraestruturas;

5. Identificar possíveis recomendações e medidas de adaptação para a redução de riscos.

3 :: Materiais e métodos

3.1 :: Protocolo PIEVC

A metodologia utilizada para o levantamento de risco climático baseou-se no Protocolo de Engenharia para Avaliação de Vulnerabilidade da Infraestrutura e Adaptação à Mudança do Clima (sigla em inglês, PIEVC), documento que descreve uma sequência lógica de como realizar uma avaliação do impacto da mudança do clima sobre infraestruturas e ativos (ENGINEERS CANADA, 2016). O protocolo fornece informações que auxiliam proprietários e operadores a avaliarem as condições de vulnerabilidade dos seus ativos e está alinhado à ISO 14.091 (ISO 2021), que trata da gestão de riscos climáticos para infraestruturas. Essa metodologia também foi utilizada para o levantamento de risco climático para o Porto de Itajaí, em 2019, por meio do projeto “Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestruturas (CSI)”, implementado pela GIZ.

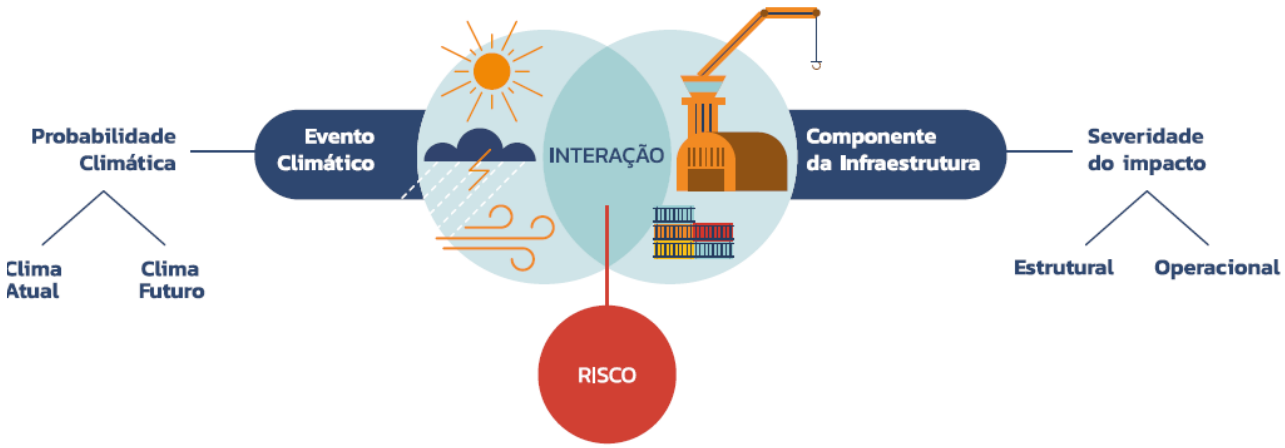
A execução do trabalho, seguindo esse protocolo, estruturou-se em 5 etapas: definição do projeto, coleta de dados, levantamento de risco, levantamento de medidas de adaptação e recomendações. Essas etapas são destacadas na Figura 3.

Figura 3: Etapas do PIEVC



O levantamento de risco, etapa principal do estudo, é alcançado por meio da interação de informações de probabilidade e severidade (Figura 4).

Figura 4: Processo para estabelecer o risco climático sobre a infraestrutura



Fonte: Autoridade Portuária de Itajaí, 2020

A seguir, a estrutura metodológica é detalhada para melhor entendimento.

3.1.1. Passo 1: Definição do Projeto

No primeiro passo, deve ser estabelecido um grupo interno de trabalho competente para o desenvolvimento do levantamento de risco climático, o qual deve ser composto por um coordenador geral do estudo e uma equipe interdisciplinar cujas experiências e competências estejam ligadas aos tópicos de relevância para este estudo. Além disso, deve-se definir as infraestruturas que serão avaliadas e os atributos chaves como localização, condições gerais, problemas conhecidos, entre outros.

É importante criar uma aproximação com as partes interessadas para ganhar confiança e identificar os atores e técnicos relevantes para o desenvolvimento do estudo. Entrevistas ajudam a conhecer os pontos focais e auxiliam na identificação de possíveis vulnerabilidades climáticas. Visitas técnicas também são recomendadas para o desenvolvimento do estudo.

Este passo serve para restringir o foco do estudo e permitir processos eficientes de coleta de dados e levantamento de vulnerabilidades.

3.1.2. Passo 2: Coleta de Dados

O segundo passo está relacionado à coleta das informações relacionadas aos impactos causados por eventos climáticos extremos na infraestrutura e operação dos portos, uma das etapas mais importantes na condução de um levantamento de risco climático. Para entender melhor os impactos de eventos climáticos, a equipe técnica responsável pela condução do levantamento de risco poderá construir uma cadeia de impacto, ou cadeia de causa-efeito. Uma cadeia de impacto é uma ferramenta analítica que ajuda a entender melhor, sistematizar e priorizar os fatores que impulsionam o risco em um sistema (GIZ EURAC & UNU-EHS, 2018).

Essas informações apoiarão a identificação dos limiares climáticos, juntamente com informações relacionadas às práticas de operação e manutenção (normas regulamentadoras, procedimentos, diretrizes, código de prática, entre outros). A definição dos limiares é importante para o processo de levantamento da frequência de ocorrência das ameaças climáticas, que servirá de base para a definição das escalas e das pontuações de probabilidade.

Após a definição dos limiares, deve-se obter e processar os dados hidrometeoceanográficos para o período histórico e projetá-los no futuro através de modelos de clima associados à diferentes cenários de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Nesta etapa, também deve-se realizar o levantamento dos ativos portuários, bem como número e detalhes dos componentes físicos das infraestruturas, localizações, considerações técnicas e de engenharia, tempo de existência, condição física, dentre outros.

3.1.3. Passo 3: Fundamentação dos Riscos

No passo 3 são estabelecidas quais infraestruturas e componentes são afetados por eventos climáticos. De acordo com o Protocolo PIEVC, para se estabelecer o risco climático, é necessária a definição da probabilidade de ocorrência do evento e a severidade com que esse evento impacta a infraestrutura:

- Classificação de probabilidade: classificação que representa a probabilidade de ocorrência de um evento climático acima do limite identificado como potencialmente danoso, para a operação ou para a infraestrutura, podendo variar de 1 (quase nunca) até 5 (muito frequentemente);

- Classificação de severidade: classificação dos impactos nos componentes da infraestrutura se o evento climático ocorrer, variando de 1 (impacto leve) até 5 (impacto catastrófico).

Os riscos devem ser avaliados sobre as condições climáticas históricas para estabelecer uma linha de base (baseline) e para o período futuro, considerando futuras mudanças no clima (projeções). Se possível, deve-se considerar também as condições projetadas da própria infraestrutura.

Na aplicação do protocolo PIEVC, o processo de avaliação não requer que todas as interações sejam objeto de maiores detalhamentos. As infraestruturas que não tiverem interação com um evento climático não deverão ter o risco climático calculado. Outras interações entre ameaças e infraestruturas poderão ser identificadas como de alto risco e precisarão de ação imediata.

As interações que não apresentam uma clara resposta relacionada à vulnerabilidade poderão estar sujeitas a uma análise mais detalhada, podendo passar por uma análise de Engenharia (opcional).

3.1.3.1 Análise de Engenharia (opcional)

Esta etapa visa avaliações adicionais e estudos que normalmente incluiriam análises mais aprofundadas como, por exemplo:

1. Interações que requerem dados adicionais que não podem ser adquiridos dentro do cronograma da avaliação de risco atual;

2. Avaliação de eventos climáticos que contribuem especificamente para um risco elevado da infraestrutura, na qual o profissional e/ou o proprietário da infraestrutura determinam que uma melhor compreensão dos fatores que contribuem para o evento pode ajudar a resolver os riscos identificados;

3. Áreas nas quais padrões de risco identificados poderiam ser resolvidos através do desenvolvimento ou adaptação de códigos, normas, diretrizes, procedimentos etc.;

4. Interações de Casos Especiais, que requerem melhor definição e que não podem ser resolvidas dentro do orçamento e/ou do cronograma da presente avaliação;

5. Outras questões consideradas apropriadas pela equipe.

3.1.4. Passo 4: Medidas de Adaptação

Após identificar as infraestruturas sob maior risco climático, deve-se levantar e priorizar medidas de adaptação tendo em vista que os recursos disponíveis podem ser limitados. De maneira geral, todas as informações construídas nas etapas anteriores serão capazes de promover uma visão sistêmica da direção dos impactos da mudança do clima e apoiar, juntamente com outros elementos, as decisões de gestão estratégicas.

O processo de levantamento de possíveis medidas passíveis de serem implementadas no porto deve ser realizado com os técnicos portuários dos terminais, com a Autoridade Portuária, com a Praticagem e com outros atores-chave para combinar diferentes conhecimentos, experiências e habilidades profissionais.

As medidas de adaptação devem ser detalhadas em função de uma série de parâmetros, como:

- Infraestrutura;
- Ameaça climática;
- Nível de Risco;
- Viabilidade técnica da medida de adaptação;
- Responsáveis pela condução da medida de adaptação;
- Prazos de execução;
- Benefícios da adaptação sugerida;
- Complexidade;
- Urgência;
- Responsáveis pela execução da ação;
- Outros atores-chaves potencialmente envolvidos;
- Custos preliminares; e
- Caráter da medida (estrutural, gerencial, etc.).

Além de medidas estruturais e não estruturais, deve-se buscar classificar ou apontar medidas consideradas como “de não arrependimento”. Elas referem-se a decisões que têm benefícios lí-

quidos sobre toda a gama de climas futuros previstos e impactos associados (CALLAWAY E HELLMUTH, 2007; HELTBERG et al., 2009), tais como sistemas de previsão e alerta, uso de informações climáticas ou intervenções para garantir informações atualizadas para projetos de engenharia.

3.1.5. Passo 5: Conclusões e Recomendações

Os resultados dos passos anteriores são utilizados para prover recomendações para gestão dos riscos que geralmente podem ser definidas em cinco categorias principais:

- Não é necessária nenhuma ação adicional;
- Ações corretivas necessárias para mitigar riscos de performance na infraestrutura, tipicamente melhorias e soluções de engenharia;
- Ações administrativas requeridas para ajustar mudanças na performance da infraestrutura, por exemplo, modificar procedimentos de operações e manutenção devido a variações nos padrões de precipitação no inverno;
- Monitoramento das atividades, por exemplo, a performance da infraestrutura ou análise de dados climáticos para validar projeções;
- Trabalho adicional requerido para preencher lacunas de disponibilidade e qualidade de dados.

3.2. Levantamento do Histórico de Impactos associados ao Clima

3.2.1. Objetivos específicos

Esta etapa tem por objetivo principal realizar um levantamento sobre os impactos da mudança do clima sobre as estruturas do Porto de Aratu (BA), avaliando a interligação entre variáveis climáticas e possíveis impactos dentro do complexo portuário.

Para essa etapa são esperados os seguintes produtos:

- Histórico de danos e prejuízos associados a fatores climáticos (ocorrências, infraestrutura, causas e datas)
- Lista de variáveis climáticas;
- Lista de infraestruturas e superestruturas de interesse; e
- Cadeia de impacto para cada tipo de impacto.

As perguntas norteadoras que embasaram o levantamento do histórico de impactos associados ao clima são:

- “Quais são os impactos (danos e prejuízos) que cada porto tem sofrido devido aos eventos climáticos?”;
- “Quando ocorreram estes impactos?”;
- “Quais foram as variáveis hidrometeorológicas e/ou oceanográficas que causaram o impacto?”;
- “Quais são as infraestruturas e superestruturas de interesse?”;
- “Quais são as variáveis climáticas que afetam cada elemento da infraestrutura e da superestrutura?”;
- “Qual é a relação de causa-efeito entre as ameaças climáticas e seus possíveis impactos?”

3.2.2. Caracterização do Porto

A caracterização do Porto levou em consideração a análise dos principais documentos de planejamento e gestão do porto, como o Plano de Desenvolvimento de Zoneamento (PDZ). Além disso, também foram verificadas algumas informações complementares no site da autoridade portuária.

O processo de aplicação da metodologia PIEVC, realizado em parceria com a equipe do porto, foi estruturado a partir de uma visita técnica realizada entre os dias 14 e 15 de setembro de 2021 e através de diversas oficinas e reuniões ao longo de 2021 e 2022 com Autoridade Portuária e representantes dos terminais (Figura 5). Participaram desta parceria também a equipe de meteorologistas do INPE.

Figura 5: Reunião realizada ao longo do projeto

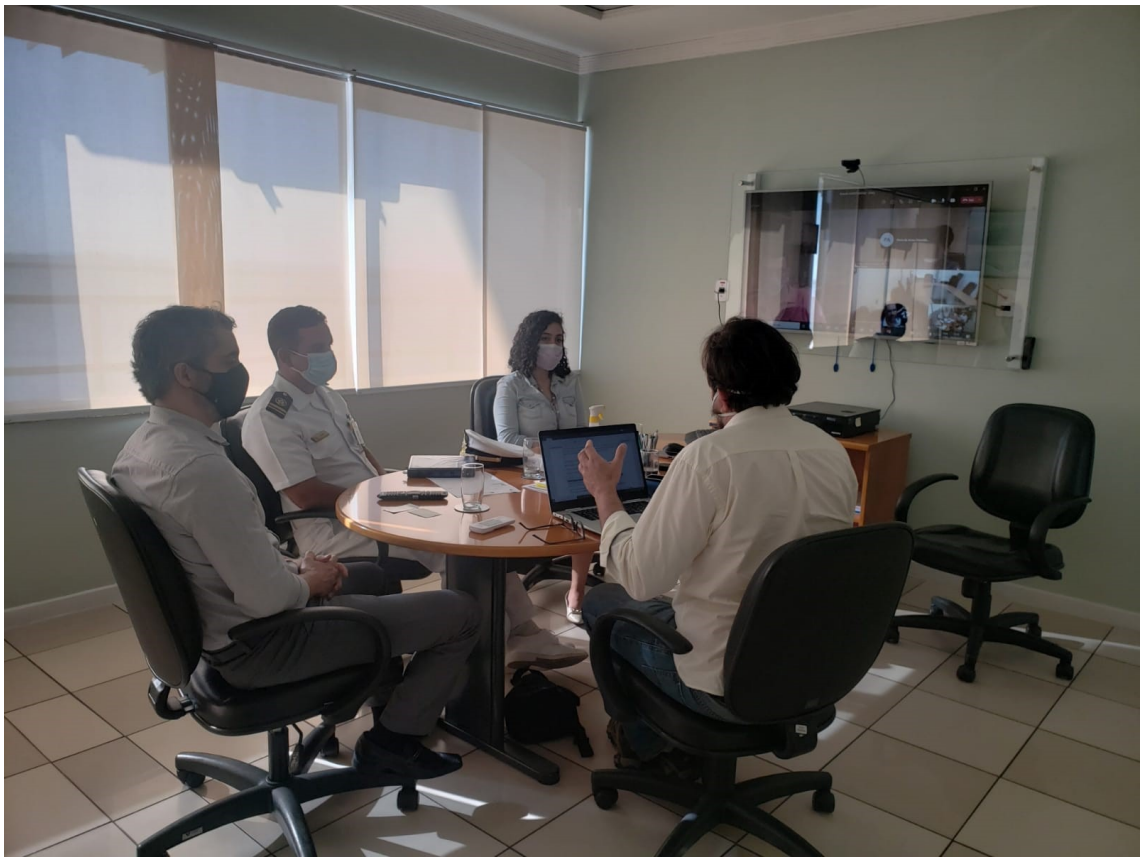


Foto: Autoria própria.

Para o inventário de infraestruturas, foram consultados e analisados documentos oficiais do zoneamento portuário, como o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) dos portos de Salvador e Aratu-Candeias (CODEBA, 2018). Também foram realizadas observações na visita técnica e questionamentos aos agentes da Autoridade Portuária para confirmação das informações. Dentre as infraestruturas avaliadas estão: Canal Externo, Canal Interno, Bacia de Evolução, Sinalização Náutica, Berços, Edificações, Infraestrutura de Armazenamento, Equipamentos de Içamento, Empilhadeiras, Transportador Contínuo e Acesso Viário.

3.2.3. Histórico de impactos associados ao clima

O histórico de impactos associados ao clima foi feito a partir do levantamento, realizado pela Autoridade Portuária, das paralisações ocorridas entre o ano de 2019 e 2021 no Porto de Aratu. Adicionalmente, foi realizada uma reunião com Autoridade Portuária e a Praticagem do Porto, com o objetivo de obter, através de relatos, novas informações sobre danos de ordem operacional e estrutural.

Também foi feita uma pesquisa de publicações em portais de notícias com o intuito de obter mais informações sobre eventuais impactos associados a ameaças climáticas no Porto. No entanto, não foram encontradas notícias que apontasse danos operacionais e/ou estruturais em Aratu por eventos climáticos.

As ameaças climáticas prioritárias para o Porto de Aratu foram definidas a partir de entrevistas com técnicos da Autoridade Portuária, do histórico de impactos associados ao clima para o porto, e do cruzamento de dados de paralisação da operação (que cobrem o período do segundo semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2021) com dados históricos de eventos climáticos. As principais ameaças destacadas para o porto de Aratu foram: vendavais, enchentes e inundação fluvial, ressaca, aumento do nível do mar e ondas de calor.

Embora tenha sido enfatizado o fato de que o porto está em uma posição privilegiada, o que o protege de intempéries violentas, durante entrevistas realizadas com técnicos portuários, foram relatadas algumas paralisações do canal de navegação em função de condições de vento e interrupções na operação de granéis sólidos durante eventos de chuva.

Não foram relatados grandes eventos causadores de danos. Há indícios de apenas um evento importante nos últimos anos, que foi um incêndio próximo aos terminais, originado em função de folhagem seca em período de estiagem, e que exigiu a mobilização dos brigadistas de todos os terminais.

Adicionalmente, para definição dos limiares climáticos, foram utilizadas informações da literatura e de normas e legislações pertinentes aos portos.

3.2.4. Identificação da relação entre ameaças climáticas e impactos observados

Em razão da falta de registro das causas de paralisações e com o intuito de se identificar as ameaças climáticas associadas aos eventos de paralisação, foi realizada uma análise estatística comparativa de correlação por meio do Teste de Spearman. O uso do teste está bem sustentado na literatura da área, sendo utilizado em substituição ao coeficiente de correlação de Pearson (r) nos casos em que a binormalidade dos dados não ocorre e ainda em situações envolvendo poucos pares de dados. Esse teste de correlação é um método não paramétrico que mensura o nível de intensidade correlativa entre variáveis pelo intervalo de valores de -1 a 1, quanto mais próximo de um dos extremos está o valor, maior é a possibilidade de se inferir a força de associabilidade entre variáveis (SIEGEL, 1975). É importante ressaltar que a correlação não necessariamente implica em causalidade. Esse fator apenas pode ser totalmente elucidado a partir da definição de limiares, que serão apresentados no subcapítulo 4.3.

Para isso, portanto, foi feita uma análise de correlação entre as variáveis de "Nebulosidade – nuvens baixas", "Velocidade do vento a 10m de altura" e "Precipitação" para o segundo semestre de 2019, o ano de 2020 e o primeiro semestre de 2019, totalizando uma análise temporal de 2 anos. A escolha destes períodos se deu em razão de possuírem maior completude e robustez de dados dentro da série histórica disponível. As variáveis foram definidas em função das informações descritas no subcapítulo 4.2, das cadeias de impacto e das trocas com atores-chaves do porto, além da disponibilidade de informação.

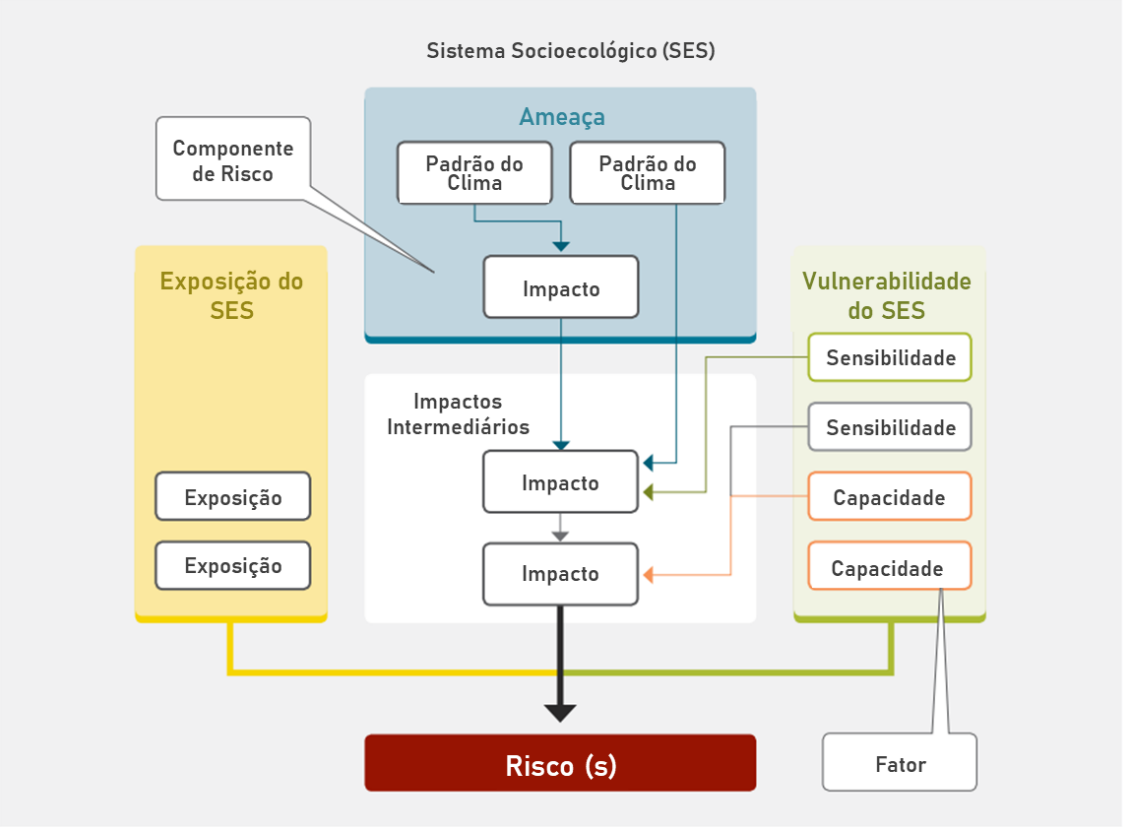
3.2.5. Cadeias de Impacto

Considerando as características das infraestruturas e superestruturas do Porto de Aratu e conhecendo as ameaças prioritárias identificadas pelos técnicos da Autoridade Portuária, construiu-se uma série de cadeias de impacto que apoiam a identificação dos impactos climáticos e dos fatores de exposição e vulnerabilidade.

Uma cadeia de impacto, ou cadeia de causa-efeito, é uma ferramenta analítica que ajuda a entender melhor, sistematizar e priorizar os fatores que impulsionam o risco em um sistema (GIZ, EURAC & UNU-EHS, 2018). As cadeias de impacto sempre têm uma estrutura semelhante: um sinal climático (por exemplo, uma forte chuva) pode levar a um impacto físico direto, causando uma sequência de impactos intermediários, que, devido à vulnerabilidade dos elementos expostos, levam a um risco (ou riscos múltiplos). São geralmente compostas por componentes de risco (ameaça, exposição, vulnerabilidade) e fatores subjacentes para cada um deles, assim como exemplificado pela Figura 6.

A estrutura da cadeia de impacto foi desenvolvida de acordo com a abordagem do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, que é baseada na compreensão do risco e seus componentes.

Figura 6: Elementos da estrutura de uma cadeia de impacto



Fonte: GIZ, EURAC &UNU-EHS, 2018.

A construção das cadeias de impacto dos portos foi dividida por tipo de ameaça e foram considerados os impactos operacionais e de infraestrutura de acordo com a literatura. Os riscos avaliados foram estabelecidos após consulta com os representantes dos portos, durante visita técnica realizada entre os dias 16 e 17 de setembro de 2021. Os impactos intermediários, vulnerabilidade e elementos de exposição foram definidos com os apontamentos da visita e com elementos encontrados na literatura, considerando as características biofísicas e operacionais dos portos.

As cadeias de impacto auxiliam na identificação e priorização de ameaças climáticas relevantes, infraestruturas e aspectos operacionais expostos às ameaças e aspectos de sensibilidade e capacidade adaptativa que ajudam a reduzir o risco.

3.2.6. Identificação da relação entre infraestruturas e ameaças climáticas

Com base nas trocas realizadas com os atores-chaves do Porto de Aratu durante a visita técnica, nos elementos destacados nas cadeias de impacto e na identificação e priorização das ameaças climáticas, construiu-se uma tabela de relação entre as infraestruturas de interesse e impactos associados ao clima.

Em seguida, disponibilizou-se ao Porto um conjunto de tabelas contendo uma lista de relação de danos e ameaças climáticas. Na ocasião, o Porto definiu danos adicionais, validou os dados

pré-dispostos pela tabela e contribuiu com comentários para incrementar novas informações ao estudo.

3.3. Levantamento da Probabilidade das Ameaças Climáticas

3.3.1. Objetivos específicos

Esta etapa tem por objetivo realizar um levantamento da probabilidade de ocorrência e os limiares de ameaças climáticas que acometem o Porto de Aratu (BA).

Define-se como limiares as estimativas de cada variável climática que, uma vez ultrapassadas, poderão causar danos e/ou prejuízos às atividades portuárias e suas infraestruturas. Nessa parte, é importante ressaltar que os dados são extremamente significativos para o estudo, uma vez que ajudam na determinação da probabilidade de danos por eventos. Para esta etapa são esperados:

- Lista de ameaças climáticas (variáveis e limiares);
- Escala de probabilidade;
- Pontuações de probabilidade atual;
- Pontuações de probabilidade futura; e
- Descrição e definição do nível de confiança das informações climáticas.

As perguntas norteadoras que embasaram esta segunda etapa são apresentadas a seguir:

- “Com base nos dados observacionais, a frequência das ameaças climáticas está aumentando/diminuindo?”;

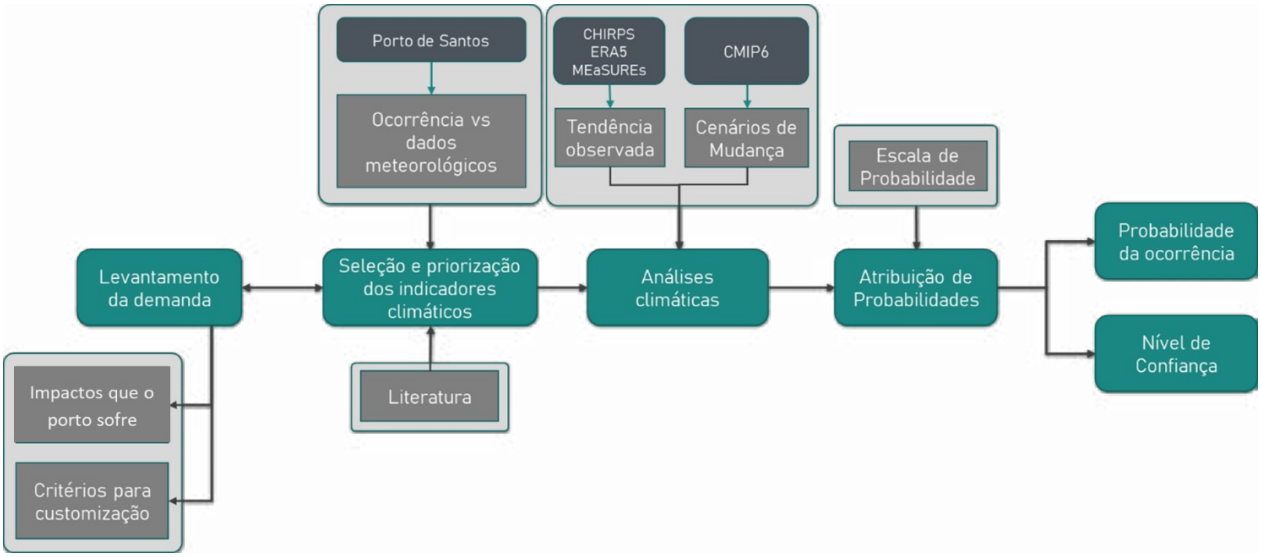
- “Com base nos modelos de clima e indicadores customizados, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?”;

- “Qual é o nível de concordância (%) entre as projeções dos modelos de clima quanto ao sinal de mudança?”; e

- “Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?”.

O fluxo de atividades dessa etapa é ilustrado através da Figura 7.

Figura 7: Fluxograma dos passos adotados na etapa de levantamento da probabilidade das ameaças climáticas



3.3.2. Demanda por informações climáticas

3.3.2.1. Impactos que o porto sofre

Os impactos estruturais e operacionais que o porto sofre serão detalhados na Seção 3.2.3. Em relação aos impactos estruturais, não foram identificados relatórios ou registros de ocorrência e causa. Por outro lado, algumas informações sobre impactos climáticos na operação foram enviadas pelo porto. Os dados de paralisações cobrem o período do segundo semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2021. No entanto, as informações obtidas não informam as intempéries climáticas que causaram cada paralisação e, por isso, foi necessário avaliar, através de uma análise de correlação, quais as ameaças climáticas poderiam estar envolvidas. No levantamento do histórico de impactos associados ao clima essas informações ajudaram a responder quais são os impactos que o porto tem sofrido devido aos eventos climáticos.

Em Aratu foram relatadas paralisações curtas, em função do porto estar em uma posição privilegiada que o protege de condições adversas. No entanto, foi relatado que ventos fortes causam, de forma rara, a interrupção da navegação do canal de acesso. De forma mais comum, as chuvas paralisam o embarque e desembarque de granéis sólidos. Adicionalmente, relatou-se um incêndio próximo aos terminais, causado pela vegetação seca em um período de estiagem.

Essas informações apoiaram a identificação dos indicadores climáticos e a resposta das perguntas norteadoras dessa etapa.

3.3.2.2. Critérios para customização das informações climáticas

A fim de responder as perguntas norteadoras, foram estabelecidos critérios para customização das informações climáticas a partir dos princípios do Guidebook on Climate Scenarios (CHARRON, 2016). Esses princípios são abordados em seis perguntas norteadoras, sendo elas:

• Qual o propósito da informação climática?
• Quantos dados o usuário é capaz de processar?
• Quais são as variáveis climáticas de interesse?
• Qual é a resolução temporal e espacial requisitada?
• Sobre quais escalas temporais e espaciais a informação deve ser obtida?
• Quais são as estatísticas climáticas de interesse?

Os princípios ajudaram no cálculo dos cenários de mudança do clima, na definição da escala de probabilidade e, consequentemente, na resposta das perguntas norteadoras dessa etapa.

Os critérios considerados para a customização das informações climáticas são: escala espacial, escala temporal, período de referência, horizonte temporal, cenários de emissões, e nível de concordância entre os modelos. As especificações e justificativas encontram-se resumidas na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo das informações utilizadas para definir os critérios da customização climática.

Critério	Escolha	Justificativa
Escala espacial	Local: 12° 47' 00" S 38° 30' 00" O	Refere-se à área do Porto de Aratu.
Escala temporal	Anual	As atividades portuárias, em geral, não são influenciadas por alterações sazonais.
Período de referência	1981-2000	Se baseia nos marcos temporais da legislação de modernização dos portos, neste caso, o período subsequente à Lei dos Portos (BRASIL, 1993)[1].
Horizonte temporal	Curto Prazo: 2021-2040 Médio Prazo: 2041-2060 Longo Prazo: 2081-2100	Horizonte acordado com o Porto de Aratu, em que se levou em consideração o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento de Aratu-Candeias (PDZ) e o Plano Mestre de Aratu, 2018.

Cenários de emissões de gases do efeito estufa	SSP2-4.5: Meio do caminho. Cenário intermediário de emissões de GEE. O desenvolvimento e o crescimento da renda prosseguem de forma desigual, com alguns países fazendo progressos relativamente bons, enquanto outros ficam aquém das expectativas. Emissões de GEE em torno dos níveis atuais até 2050, depois cair, mas não atingindo zero líquido em 2100. O cenário SSP2-4.5 é semelhante ao cenário RCP 4.5 do CMIP5; SSP5-8.5: Desenvolvimento baseado em combustíveis Fósseis. Cenário de alta emissão de GEE, sem política climática adicional, com a temperatura no fim do século entre 3,3 e 5,7°C. Semelhante ao cenário RCP 8.5 do CMIP5. Considera um desenvolvimento baseado em combustíveis fósseis.	O cenário SSP2-4.5 do CMIP6 é o cenário mais provável tendo em vista as atuais políticas globais de redução de emissões, e o cenário SSP5-8.5 é o mais pessimista. Esses cenários estão em linha com os trabalhos e escolhas do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PNA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016), dada a correspondência dos modelos do CMIP6 com os modelos do CMIP5.
Nível de concordância entre os modelos	66,7% ou 2/3 dos modelos	Decisão metodológica dos especialistas em clima baseados em relatórios do IPCC que utilizam 2/3 dos modelos para determinar o nível de confiança.

Fonte: elaboração própria

3.3.3. Critérios para a seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática

A seleção e priorização dos indicadores de ameaça climática foram feitas com base em duas fontes: a literatura e a análise de ocorrência de impacto vs. dados meteorológicos.

3.3.3.1. Literatura

O primeiro passo para a definição dos indicadores climáticos foi a revisão bibliográfica acerca dos indicadores climáticos que possuem relação com as ameaças climáticas avaliadas na etapa de levantamento do histórico. Foram avaliados indicadores que possuíam relação com ventos, chuva, temperatura, nível do mar, ressacas e nebulosidade.

Adicionalmente, foram avaliadas uma série de normas e legislações pertinentes aos portos, e que ajudam a definir os limiares climáticos para segurança operacional e estrutural de alguns equipamentos.

3.3.3.2. Ocorrência de impactos vs. dados meteorológicos

Ainda com o objetivo de definir os indicadores climáticos a serem utilizados na avaliação da probabilidade, foi utilizada a análise das ocorrências de impactos associadas a eventos climáticos da etapa de levantamento do histórico de impactos listados na Seção 3.2. Portanto, as informações

do cruzamento dos dados de paralisações com os dados climáticos observados também foram levadas em consideração.

Os dados de paralisações foram obtidos através da série histórica fornecida pelo Porto de Aratu e os dados do clima foram obtidos através das estações hidrometeorológicas próximas à região portuária. Os detalhes dessa avaliação encontram-se na Seção 3.2. Adicionalmente, com base nesse cruzamento de informações, foi realizada uma análise de causalidade de Granger (GRANGER, 1969), que apoiou a sugestão dos indicadores. O Apêndice B descreve com mais detalhes os resultados do teste de causalidade.

3.3.3.3. Indicadores de ameaça climática selecionados

Primeiramente, verificou-se na literatura os impactos e os limiares críticos que culminavam na ocorrência de danos às operações e estruturas. Em seguida, por meio de uma análise conjunta com os técnicos da GIZ, os indicadores climáticos foram definidos com base na premissa de que os resultados pudessem traduzir a probabilidade de eventos no Porto de Aratu. Essa construção se deu a partir de um viés conservador, considerando a sensibilidade dos modelos aplicados. Os indicadores selecionados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores climáticos relevantes no Porto de Aratu

IMPACTOS	AMEAÇA	INDICADORES SUGERIDOS	REFERÊNCIA
Paralisações devido aos ventos fracos	Vento fraco ≈ 8 nós (4,1 m/s)	N° de dias no ano com Intensidade do vento > 3,0 m/s (W3ms)	Elementos encontrados nos APÊNDICE A e B, sendo que a decisão foi baseada na disponibilidade limitada de dados e na aderência ao método PIEVC
Paralisações devido aos ventos moderados	Vento moderado >= 15 nós (7,7 m/s)	N° de dias no ano com Intensidade do vento > 7,0 m/s (W7ms)	
Paralizações e Danos estruturais devido aos ventos fortes	Vento forte > 39 nós (20,1 m/s)	N° de dias no ano com Intensidade do vento > 10,0 m/s (W10ms)	
Paralisações devido às chuvas intensas	20 mm (Paralisações < 6h) 40 mm (Paralisações > 6h)	R20mm	Elementos encontrados nos APÊNDICE A e B
Paralisações devido às chuvas duradouras	N/A	N° de dias no ano com intensidade de precipitação > 1 mm	MARENGO et al, 2021
Inundações costeiras	0,2 m	Ressacas anuais que ultrapassam 0,2 m	Decisão baseada na disponibilidade limitada de dados e na aderência ao método PIEVC

Fonte: elaboração própria.

É importante ressaltar que, devido a resolução espacial dos dados, os indicadores utilizados podem não representar exatamente os valores observados na escala local e por isso precisam ser interpretados com cautela. Isso se dá pelo fato de os dados de clima estarem em uma resolução espacial grosseira (p.ex., 50x50 km), o que acaba suavizando valores extremos, como aqueles observados na escala local. Ainda, os limiares definidos aqui consideram toda a zona portuária, não distinguindo os espaços quanto ao perfil de carga ou posição geográfica devido à ausência de dados que poderiam subsidiar as análises pertinentes. Isto é, ultrapassar os limiares climáticos pode representar a possibilidade de ocorrência de danos estruturais ou operacionais em qualquer ponto do porto.

3.3.4. Base de dados

3.3.4.1. Dados observacionais de clima

O processamento dos dados observacionais para os indicadores selecionados foi realizado por um consultor externo contratado pela GIZ.

Para os indicadores ligados à precipitação, foram utilizados dados de precipitação diária do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS, FUNK et al. 2015), com resolução espacial 0,05° para o período de 1981 - 2020. Para o vento (10 m U-component of wind e 10 m V-component of wind) foram utilizados dados de reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis version 5 (HERSBACH et al. 2020) na resolução espacial de 0,5 graus para 1981 - 2020. Para o aumento do nível do mar (ANM), utilizou dados da plataforma Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSUREs, NASA 2022a) apenas disponibiliza dados do período de 1992 a 2019.

3.3.4.2. Projeções climáticas

Para as projeções climáticas, os dados de chuva e vento obtidos encontram-se em uma escala diária nos modelos do CMIP6. Sua resolução espacial foi de 1 grau e foi realizado um processamento para uma rodada histórica e para os cenários SSP2 e SSP5 (O'NEILL et al., 2014). Em relação ao aumento do nível do mar (ANM), utilizou-se a ferramenta "Sea Projection Level Tool" da NASA (2022b) para se obter os dados de ressacas do futuro. Por fim, o mapa de área inundada que projeta o aumento do nível do mar em adição às ressacas com tempo de retorno (TR) de 1 ano foi obtido através da plataforma "Coastal Risk Screening Tool" do Climate Central (2022).

Os modelos do CMIP6 utilizados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Modelos utilizados na análise

SSP 2		SSP 5	
VENTO	CHUVA	VENTO	CHUVA
EC-Earth3-Veg	ACCESS-CM2	ACCESS-CM2	CanESM5
GFDL-CM4	ACCESS-ESM1-5	ACCESS-ESM1-5	EC-Earth3-Veg
INM-CM4-8	CanESM5	EC-Earth3-CC	EC-Earth3-Veg-LR
INM-CM5-0	EC-Earth3-Veg	EC-Earth3-Veg	IPSL-CM6A-LR
IPSL-CM6A-LR	EC-Earth3-Veg-LR	EC-Earth3-Veg-LR	KACE-1-0-G
MIROC6	GFDL-ESM4	GFDL-CM4	KIOST-ESM
MPI-ESM1-2-HR	IPSL-CM6A-LR	GFDL-ESM4	MIROC6
MPI-ESM1-2-LR	MIROC6	KIOST-ESM	MPI-ESM1-2-HR
-	MPI-ESM1-2-HR	MIROC6	MPI-ESM1-2-LR
-	MPI-ESM1-2-LR	MRI-ESM2-0	MRI-ESM2-0
-	MRI-ESM2-0	NESM3	NESM3
-	NESM3	-	-

Fonte: elaboração própria

3.3.5. Análises climáticas

3.3.5.1. Climatologia observada

Para o cálculo da climatologia observada, utilizou-se o período de 1981-2000 conforme os marcos temporais da legislação de modernização dos portos descrito da Tabela 1. O cálculo da climatologia observada em geral é realizado com 30 anos de dados (WMO, 2011), no entanto, o uso de 20 anos é aceitável quando a intenção é estimar cenários de mudanças do clima (KIRTMAN et al., 2013). Os dados utilizados foram os dados de reanálise do CHIRPS e do ERA5. A climatologia observada foi calculada na escala anual, pois os impactos no porto não têm relação direta com a sazonalidade. Essas informações serviram para determinar a linha de base na classificação de probabilidade.

3.3.5.2. Tendências observadas

O cálculo de tendência foi feito para o período de 1981 a 2020 utilizando o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL & GIBBONS, 1990) considerando um nível de significância igual ou menor que 0,05 (95% de confiabilidade). Esse é um teste não paramétrico robusto para tendências monotônicas, analisando as mudanças dos sinais de incrementos de tendência entre valores sucessivos ao invés dos próprios valores dos dados (WILKS, 2011). O método pode ser aplicado quando as séries temporais não precisam estar em conformidade com nenhuma distribuição particular (MAIDMENT, 1993; WILKS, 2011) e é comumente usado em estudos da Equipe de Especialistas em Detecção da Mudança Climática e Índices (ETCCDI, ZHANG et al., 2009). O pro-

cessamento dos dados foi efetuado por um consultor externo contratado pela GIZ.

Esse método avalia se o aumento ou a redução na frequência dos indicadores climáticos escolhidos é significante ou não, do ponto de vista estatístico. É somente a partir dele que se pode determinar se a frequência das ameaças climáticas está aumentando ou diminuindo de fato, pois utilizar apenas uma linha de tendência não garante respostas adequadas.

Esta seção deverá responder às seguintes perguntas norteadoras:

• "Com base nos dados observacionais, a frequência das ameaças climáticas está aumentando/diminuindo?" e

• "Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?".

3.3.5.3. Cenários de mudança do clima

Para o cálculo dos cenários de mudança do clima utilizou-se o método Change-Factor (ANANDHI et al. 2011). O método consiste em somar a climatologia observada com a anomalia futura, ou seja, a diferença entre a rodada de um determinado cenário de emissões (p.ex. SSP2-4.5) e a rodada histórica do modelo. As equações 1 e 2 descrevem o cálculo:

$$\Delta = SSP - HIST \quad \text{(Equação 1)}$$

$$Cenário = OBS + \Delta \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que SSP é a climatologia da variável de interesse derivada da rodada futura de um determinado modelo de clima e HIST é climatologia da variável de interesse derivada da rodada histórica do mesmo modelo. A abreviação OBS é a climatologia da variável de interesse usando dados observacionais. Os cálculos de climatologia foram feitos na escala anual usando os períodos 1981-2000 (HIST) e 2021 - 2040, 2041 - 2060 e 2081 - 2100 (SSPs). O processamento dos dados foi efetuado por um consultor externo contratado pela GIZ.

Esta seção deverá responder às seguintes perguntas norteadoras:

- "Com base nos modelos de clima e indicadores customizado, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?";
- "Qual é o nível de concordância (%) entre as projeções dos modelos de clima quanto ao sinal de mudança?"; e
- "Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?".

3.3.6 Abordagem geral para atribuir as probabilidades das ameaças climáticas

3.3.6.1. Escala de probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas

A escala de probabilidade é o principal referencial para a classificação da probabilidade. Neste produto, ela foi construída a partir de intervalos de frequências, mas ela pode ser determinada de inúmeras formas. O Protocolo PIEVC (ENGINEERS CANADA, 2016) utiliza uma padronização de 0 a 7, sendo que 0 significa que o evento climático jamais ocorrerá e 7 significa que o evento é certo. Para este produto, o nível máximo foi definido como 5, conforme é apresentado na Tabela 6. Essa definição foi feita para combinar o trabalho com o estudo "Levantamento de Risco Climático para o Porto de Itajaí/SC" (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ITAJAÍ, 2020). Os cinco níveis definidos são: 1 (Quase nunca); 2 (Raramente); 3 (Ocasionalmente); 4 (Frequentemente); 5 (Muito frequentemente). Para definir os intervalos de frequência de eventos foram feitos diversos testes (p.ex., sensibilidade) com diferentes distribuições (linear, logarítmica, exponencial e arbitrária). Após parecer profissional de especialistas em clima, optou-se por usar a distribuição exponencial. O Protocolo PIEVC (ENGINEERS CANADA, 2016) indica que o parecer profissional é um elemento essencial da atribuição de pontuações de probabilidade de mudança do clima.

A escolha verificada na Tabela 4 foi feita, portanto, com base na observação da distribuição dos eventos no porto e nas alterações que foram observadas pelos profissionais.

Tabela 4: Escala de Probabilidade para a linha de base do Porto de Santos

Nível	Descrição	Frequência (Nº de Eventos/Ano)	
1	Quase nunca	<1	
2	Raramente	1	4
3	Ocasionalmente	4	19
4	Frequentemente	19	84
5	Muito Frequentemente	84	365

Fonte: Elaboração própria

Posteriormente, com a escala de probabilidade consolidada, a classificação de cada indicador climático escolhido pôde ser realizada. O primeiro passo foi realizar a classificação da probabilidade dos dados observacionais, que constituem a linha de base ou baseline, ou seja, o ponto de partida da avaliação.

Em seguida, essa mesma classificação foi realizada para as projeções climáticas. Para isso, as anomalias na frequência dos indicadores climáticos foram somadas ao valor da linha de base. Essas anomalias estão descritas para 3 períodos de tempo (2021 – 2040, 2041 – 2060 e 2081 – 2100), cada um com 2 cenários (SSP2 e SSP5).

Para inundações costeiras, utilizou-se como base os dados de 'nível de inundação anual' disponíveis na plataforma "Coastal Risk Screening Tool" do Climate Central (2022). Os dados são baseados em uma frequência fixa, ou seja, 1 vez por ano ocorre um determinado nível de inundação. Dessa forma, determinou-se um nível de inundação crítico, no caso 0,2 m. Assim, valores de nível

de inundação abaixo de 0,2m significa que o evento “quase nunca” acontece. E valores de nível de inundação acima de 0,2m, significa que a inundação ocorre pelo menos 1 vez ao ano, ou seja, “raramente” (Tabela 4).

3.3.6.2. Nível de confiança das informações climáticas

Apesar de não constar nas recomendações do Protocolo PIEVC, o nível de confiança foi incluído nesse estudo em função dos trabalhos realizados no “Levantamento de Risco Climático para o Porto de Itajaí/SC” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ITAJAÍ, 2020). O objetivo da avaliação do nível de confiança é determinar como os resultados devem ser interpretados pelo porto à luz das incertezas embutidas nos resultados das projeções climáticas.

Importante mencionar que os modelos de clima, assim como qualquer outro modelo, possuem incertezas. De qualquer maneira, para medir o nível de confiança das informações climáticas foram definidos alguns critérios, apontados na Tabela 5. Ressalta-se que a avaliação não se baseia exclusivamente nos resultados da concordância entre os modelos, mas também na consistência do sinal de mudança com a literatura e as tendências observadas.

A cada resposta positiva, soma-se um ponto no nível de confiança, assim os níveis são definidos entre 0 e 3, sendo: (0) Confiança muito baixa; (1) Confiança baixa (2) Confiança moderada; (3) Confiança alta. Mesmo quando a confiança é muito baixa, os resultados podem ser interpretados e utilizados, com atenção à eventual necessidade de estudos adicionais.

Tabela 5: Tabela resumo do nível de concordância

Critério	Avaliação	Pontuação
Concordância entre os modelos	Existe uma concordância de pelo menos 2/3 dos modelos utilizados em ração aos cenários projetados?	Sim (1) Não (0)
Tendência observada	Há concordância entre o sinal de mudança do cenário futuro projetado pelos modelos e o sinal da tendência observada?	Sim (1) Não (0)

Fonte: elaboração própria

3.4. Levantamento das Infraestruturas Portuárias e Severidade

3.4.1. Objetivos Específicos

Esta etapa tem por objetivo principal levantar o nível de severidade de ameaças climáticas em infraestruturas e na operação do Porto Organizado de Santos (SP). São esperados nesta parte

do projeto os seguintes produtos específicos:

- Lista dos principais equipamentos do porto;
- Interação dos equipamentos com as ameaças climáticas;
- Classificação de severidade de cada ameaça climática para cada infraestrutura e para diferentes tipos de carga operadas.
- As perguntas norteadoras que embasam o levantamento das infraestruturas portuárias e severidade são:
- "Quais são os possíveis níveis de severidade (estrutural e operacional) que as infraestruturas podem sofrer?"
- "Existe interação entre a infraestrutura X e a ameaça climática Y?"
- "Caso positivo, qual é o nível de severidade?".

3.4.2. Inventário de infraestruturas

A elaboração dessa etapa consistiu na consulta e análise de documentos oficiais do zoneamento portuário. Também foram realizadas observações em visita técnica realizada ao porto e questionamentos aos agentes da Autoridade Portuária para obtenção e confirmação das informações.

Para a identificação das infraestruturas e equipamentos portuários, foi realizada consulta ao Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) dos Portos de Salvador e Aratu-Candeias1. Com amparo legal na Lei n° 12.815 de 5 de junho de 2013, o Plano representa referência em caráter normativo e regulador do Estado quanto ao planejamento do espaço portuário público ao setor privado, sendo este um arrendatário, outorgado, ou um simples demandante de prestações de serviços de transporte marítimo de longo curso ou cabotagem. Constitui-se de um Plano Plurianual de competência de execução da Autoridade Portuária e julgamento de aprovação pela Secretaria de Portos da Presidência da República. No PDZ constam as informações gerais de localização, delimitação, governança, zoneamento, instalações acessórias ao porto, componentes de apoio operacional ao tráfego aquaviário e terrestre, dados do licenciamento ambiental, vias de circulação, sistemas viários terrestres, sistemas aquaviários, a integração do porto ao planejamento urbano, planos de ação e investimentos. A versão do PDZ utilizado no presente trabalho é de julho de 2017, revisado em julho de 2019.

Para os canais de acesso, áreas de fundeio e evolução, tipos de equipamentos de içamento, equipamentos de movimentação em solo, infraestrutura de acostagem, sistemas de armazenagem, transportadores contínuos, sistema viário terrestre rodoferroviário, a constatação do estado de conservação, das características operacionais, o questionamento sobre eventos climáticos críticos a infraestrutura e operação apontada aqui foi2 obtida através de visita técnica ao Porto de Aratu, realizada nos dias 14 e 15 de setembro de 2021. A visita também serviu para identificação e criação de relacionamento laboral com agentes e pontos focais da Autoridade Portuária do Porto de Aratu, para a obtenção de maiores informações e para a explanação de dúvidas.

Também foi realizada pesquisa na rede mundial de computadores com o intento de obtenção de catálogos dos equipamentos portuários, tais como guindastes, gruas, guindastes pórticos, empilhadeiras e demais equipamentos, e verificação de possíveis informações de pesos, capacidades, geometria de equipamento e principalmente valores limites.

Assim como na etapa anterior, na elaboração desta etapa também se consultou informações da base normativa e de regulamentação das NORMAMs 01, 04, 08 e 12/DCP, das Normas da Autoridade Portuária, das Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos da Bahia - NPCP-BA (MININSTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019), das Normas Regulamentadoras (NR) e das Normas Brasileiras da ABNT (NBR).

3.4.3. Interação com as ameaças climáticas

Parte das informações que sugerem a interação das infraestruturas portuárias com as ameaças climáticas foi detalhada na etapa de levantamento do histórico de impactos associados ao clima, com base nas trocas realizadas com os atores-chave do porto e com base em documentos oficiais.

Neste produto, os elementos de interação são retomados e a definição da existência ou não de interação entre cada elemento de infraestrutura e cada ameaça é sugerida pela equipe consultora. Importante destacar que a sugestão foi encaminhada aos técnicos do porto, que validaram esse elemento juntamente com a classificação da severidade.

Faz-se uma ressalva com relação às ameaças consideradas nesta etapa, assim como no levantamento da probabilidade das ameaças climáticas. O levantamento do histórico de impactos indicou que eventos de neblina são importantes ameaças à operação do porto, além disso a Autoridade Portuária indicou que as ressacas também seriam representativas. No entanto, essas ameaças não foram consideradas neste estudo em função de não haver variáveis confiáveis nos modelos climáticos, apresentados na etapa de levantamento da probabilidade das ameaças climáticas, que permitam a classificação de risco.

3.4.4. Escala de Severidade

A escala de severidade da presente etapa foi construída em conjunto com a autoridade portuária e alguns dos terminais do porto. O processo se iniciou com a realização de um workshop de orientação e discussão sobre o tema no dia 04/02/2022. Após uma série de discussões, decidiu-se pelo envio de uma planilha de consulta para os atores-chaves do porto (representantes da Praticagem, Capitania dos Portos e de terminais). Como a severidade varia conforme o tipo de carga movimentada e infraestrutura, foi acordado que os técnicos do porto iriam preencher uma planilha, conforme a Figura 8, para construir em conjunto uma escala mais fidedigna à realidade do porto.

Figura 8: Planilha utilizada para construção da escala de severidade

Nome	
Empresa	
Cargo	
Zona Portuária	
Carga Movimentada	

Nivel de Severidade Estrutural		Descrição	
1	Leve		
2	Moderado		
3	Grave		
4	Severo		
5	Catastrófico		

Nivel de Severidade Operacional		Descrição	
1	Leve		
2	Moderado		
3	Grave		
4	Severo		
5	Catastrófico		

Fonte: Elaboração própria.

Nessa planilha, o nível de severidade começa em "Desprezível", com a escala igual a 1, e varia até o último nível, definido como "Catastrófico", de escala igual a 5. Essa escala é parte da Matriz de Risco, a ser descrita na Seção 3.5.

Os técnicos preencheram a descrição dos níveis de severidade de acordo com o tipo de carga movimentada, zona portuária e empresa em que trabalhavam. Para auxiliá-los nesse processo de estruturação das descrições, foram fornecidos exemplos de descrição com base na primeira escala proposta durante a Oficina de Trabalho.

Cada terminal tinha por objetivo construir sua própria escala, com base no tipo de carga que opera. Na sequência as respostas dos terminais foram consolidadas pela equipe consultora. Para condizer com a realidade do porto, a descrição de cada nível de severidade levou também em consideração uma base de informações obtidas em entrevistas e análises das normas NPCP-BA, NR e NBR. O Apêndice C fornece mais detalhes sobre a análise das normas e legislações pertinentes.

Para compor e estruturar uma Escala de Severidade mais realista, as descrições de cada Nível de Severidade foram validadas pelos técnicos do porto apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Grupos de técnicos consultados para construção da Escala de Severidade

Grupos consultados	Nome
Terminais	BNL ULTRACARGO UNIGEL VOPAK
Gestão do Porto	Praticagem

Fonte: elaboração própria.

3.4.5. Classificação de Severidade

A partir da escala de severidade construída em conjunto com os representantes do Porto de Santos, foi realizada a classificação da severidade para as mesmas variáveis climáticas da etapa anterior. Os valores da classificação foram sugeridos pela equipe consultora com base na expertise dos técnicos e em função das trocas feitas com o porto ao longo do trabalho. A classificação foi realizada com base em diferentes perfis de carga operada: graneis líquidos, graneis sólidos, produtos gasosos, contêineres e celulose.

Por fim, para validar as relações entre ameaças climáticas e infraestruturas sugeridas, a autoridade portuária e os terminais foram consultados.

3.5. Cálculo do Risco Climático

3.5.1. Objetivos Específicos

Esta etapa tem por objetivo principal realizar o cálculo do risco climático para o Porto de Aratu. É esperado o seguinte produto:

• Tabela com o nível de risco climático das infraestruturas portuárias para o clima atual e futuro (e para aspectos operacionais e estruturais;

As perguntas norteadoras que embasam esta etapa são:
• “Qual é o nível de risco climático de cada infraestrutura portuária?”;
• “A quantidade de infraestruturas sob risco alto irá aumentar ou diminuir no futuro?”;
• “Quais são as infraestruturas sob maior risco e por quê?”.

3.5.2. Matriz de Risco

A matriz de risco foi construída com base na estrutura de apresentação dos riscos do Relatório de Avaliação de Risco Climático do Porto de Belledune no Canadá (BELLEDUNE PORT AUTHORITY, 2020). Esse relatório segue os passos do Protocolo PIEVC, documento utilizado como referência no levantamento do histórico de impactos e da probabilidade de ameaças climáticas.

O risco é definido como o produto da multiplicação da probabilidade pela severidade. Como esses fatores assumem valores que vão de 1 a 5, o risco pode assumir valores que vão de 1 a 25.

Em seguida o risco foi classificado em três classes: "leve" (1 a 5), "médio" (6 a 14) e "alto" (15 a 25). Uma visão geral do formato dos resultados é apresentada a seguir na Tabela 7.

Tabela 7: Estrutura de apresentação do risco por interação ameaça climática – infraestrutura

INFRAESTRUTURA	RISCO							
	Nome da Ameaça Climática							
	Descrição da ameaça climática							
	Probabilidade	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)	(1 a 5)
	Período	**Histórico**	**2021-2040**		**2041-2060**		**2081-2100**	
			SSP2	**SSP5**	**SSP2**	**SSP5**	**SSP2**	**SSP5**
Nome da infraestrutura	**Interação?**	(Sim ou Não)						
	Severidade	(1 à 5)						
	Risco	(1 à 25)	(1 à 25)	(1 à 25)	(1 à 25)	(1 à 25)	(1 à 25)	(1 à 25)

Fonte: Elaboração própria, baseado no Relatório de Avaliação de Risco Climático de Belledune.

As escalas de probabilidade e severidade, definidas no levantamento da probabilidade das ameaças climáticas e levantamento das infraestruturas portuárias e severidade, respectivamente, seguem as seguintes regras (Tabela 7 a Tabela 12):

Tabela 8: Escala de probabilidade das ameaças climáticas

Nível	Descrição da Probabilidade	Intervalo de Frequência (Nº de Eventos/Ano)	
1	Quase nunca	<1	
2	Raramente	1	4
3	Ocasionalmente	4	19
4	Frequentemente	19	83
5	Muito frequentemente	83	365

Tabela 9: Escala de severidade estrutural por tipo de produto

Nível de Severidade		ESCALA DE SEVERIDADE ESTRUTURAL		
		Granéis Sólidos	Produtos Gasosos	Granéis Líquidos
1	Desprezível	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de até 24 h.	• Vistoria à rede dutoviária, filtros, registros, válvulas e piezômetros • Vistoria a esferas de armazenagem • Não há necessidade de intervenção de manutenção	• Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos inferiores a R$ 275.000 (EUR 50.000); e • Redução da performance inferior a 24 h.
2	Marginal	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de 24 h a 48 h.	• Vistoria aponta necessidade de manutenção preventiva • Necessita realizar limpeza de filtros • Reaperto de flanges • Lubrificação de válvulas • Supressão de oxidação e limpeza de componentes do sistema dutoviário	• Danos funcionais que não afetam a operação ou pequenos danos às instalações; • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$275.000 (EUR 50.000) a R$ 550.000 (EUR 100.000); e • Redução na performance entre 24 h e 1 semana.
3	Moderado	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de 48 h a 72 h.	• Desacoplamento de mangotes sem vazamento de carga química.	• Pequenas inundações das estruturas das instalações com danos reparáveis; • Princípio de incêndio em vegetações no entorno próximo ao terminal; • Pequenas falhas de equipamentos sensíveis ao calor; • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$ 550.000 (EUR 100.000) e R$ 5.500.000 (EUR 1.000.000); e • Redução na performance entre 1 semana e 3 meses.
4	Crítico	• Avarias que causam danos aos equipamentos (p. ex.: *shiploader*, guinchos, correias, *grabs* e moegas) exigindo vistoria e manutenção de 72 h a 168 h.	• Incêndio em áreas adjacentes. Danos pontuais a dutos e tanques; e • Rompimento de mangotes com vazamento de carga química.	• Danos críticos que comprometam parcialmente o uso da estrutura; • Inundações; • Danos críticos que comprometam parcialmente o uso da estrutura; • Focos de incêndio controláveis em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, com potencial de risco de atingir as estruturas do terminal, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis. • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$ 5.500.000 (EUR 1.000.000) e R$ 55.000.000 (EUR 10.000.000); e • Redução na performance superior a 3 meses.
5	Catastrófico	• Perda de área operacional portuária.	• Incêndio em áreas adjacentes. Danos de grande vulto a dutos e tanques, com explosões e difícil combate e controle.	• Danos severos que impeçam o uso da estrutura por tempo indefinido; • Danos irreparáveis, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos superiores a R$ 55.000.000 (EUR 10.000.000).

Tabela 10: Escala de severidade operacional por tipo de produto

Nível de Severidade		ESCALA DE SEVERIDADE OPERACIONAL		
		Granéis Sólidos	Produtos Gasosos	Granéis Líquidos
1	Desprezível	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período inferior a 6h.	• Inibição do processamento de navios em 40% (< 6h/dia).	• Não impedem as condições normais de operações, mas cria necessidade de monitoramento preventivo; • Não geram transtornos às operações; e • Pequeno vazamento que pode ser imediatamente limpo pela equipe do terminal ou vazamento de produto no mar inferior a 10 kg.
2	Marginal	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período de 6h a 24h.	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas gasosas em período de 6h a 24h; e • Inibição do processamento de navios em 41% a 50% do volume programado (6h a 24h).	• Alerta as operações e paralisam içamento de carga (Ex: guindaste); • Pequenos transtornos operacionais; • Não comprometem as estruturas e instalações; e • Vazamentos no terminal, sem efeitos externos, que requerem ações para conter o produto imediatamente, ou vazamentos no mar com volumes entre 10 kg e 1000 kg.
3	Moderado	• Cancelamento do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período de 24h a 48h; e • Dispensa mão-de-obra portuária dos turnos.	• Inibição do processamento de navios em 51% a 60% do volume programado (24h a 48h).	• Paralisação temporária das operações por até 8 h (turno operacional); • Princípio de incêndio em vegetações no entorno próximo ao terminal; • Pequenas falhas de equipamentos sensíveis ao calor; e • Vazamentos no terminal, com efeitos externos ao terminal, que requerem ações de contenção e remediação de vazamentos em solo e mar com volumes entre 1.000 kg e 10.000 kg.
4	Crítico	• Cancelamento do embarque e desembarque de cargas granéis sólidos (48h a 168h).	• Inibição do processamento de navios em 61% a 80% do volume programado (48h a 7 dias).	• Interrupção das operações por até 24 h; • Focos de incêndio controláveis em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, com potencial de risco de atingir as estruturas do terminal, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Dano ambiental severo (superior a 5 anos de remediação) ou vazamentos no mar superior a 10.000 kg.
5	Catastrófico	• Cancelamento do embarque e desembarque de cargas granéis sólidos (acima de 168h).	• Inibição do processamento de navios em > 81% a 100% do volume programado.	• Impedimento ou aborto das operações; • Incêndio de grandes proporções em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, atingindo as estruturas do terminal com danos irreparáveis, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Perda da Licença Operacional ou danos ao ecossistema com longo prazo para recuperação.

Tabela 11: Escala de severidade estrutural com características e danos comuns aos diversos operadores

ESCALA DE SEVERIDADE ESTRUTURAL Características e danos comuns a todos os operadores do complexo portuário		
Nível de Severidade		**Descrição**
1	**Desprezível**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos não apresenta danos, exigindo **somente** a realização de vistoria da equipe do terminal; • Danos funcionais pequenos que não afetam a operação. Porém, se não reparados podem acelerar processos de deterioração da infraestrutura, causar algum dano à carga processada e deixar o ambiente insalubre ao trabalho; • Empoçamento de água e maior tempo de escoamento nos sistemas de drenagem em pátios, cais, sistema viário e ferroviário de acesso aos terminais. Necessita de limpeza e desobstrução de bocas de lobo, bueiros e sarjetas dentro do planejamento organizacional do terminal; • Vistoria de cais, cabeamento de acostagem, defensas, armazéns, Equipamentos de Içamento, transportadores contínuos, pátios, silos, armazéns, tanques, esferas e sistema viário (rodoviário e ferroviário); • Baixíssimo custo de manutenção. Manutenção realizada por equipe do porto ou do Operador dos terminais, em prazo inferior a 24 h; • Impraticabilidade total do porto (entrada e saída dos molhes) em período inferior a 6 h/dia; e • Colisão de navio com sinalização náutica.
2	**Marginal**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária. Aqui, a ação nos equipamentos apresenta danos, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção preventiva; • Pequenos danos às infraestruturas de cercamento, rede elétrica, telefonia e logística na área portuária; • Deflúvio com volume de água suficiente para causar empoçamento de água e pequenas inundações nas áreas internas do perímetro portuário, incluindo áreas de cais, armazéns e acessos terrestres. Observa-se maior tempo de escoamento dos sistemas de drenagem em pátios, cais, sistema viário e ferroviário de acesso aos terminais. Demanda equipe de manutenção, realizando serviços de varrição, limpeza de entulho, bombeamento mecânico de água com conjunto moto-bomba; • Arranque parcial de telhado e cobertura de armazéns e transportadores contínuos. Arranque total de cobertura de prédios administrativos; • Baixo custo de manutenção. Manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 24 h e 48 h; e • Necessidade de manutenção corretiva em um elemento de sinalização (boia ou baliza), danificado em colisão com embarcação de pequeno ou grande porte.
3	**Moderado**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento as bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção corretiva leve; • Reparo de manutenção afetando parcialmente as atividades do porto. Manutenção realizada por equipe própria ou terceira, no prazo de 7 dias, ocorrendo assim, a inoperância do equipamento; • Estouro de cabeamento de acostagem, com deriva de navio; • Deslocamento/avaria das bóias de sinalização do canal (bóias, balizas e faroletes); • Arranque total de telhado e cobertura armazéns e transportadores contínuos; • Deflúvio com volume de água não é mais processado pelo sistema de drenagem, estando ele colapsado, causando inundações em áreas de cais, armazéns e acessos terrestres. Demanda execução de troca de manilhas, aumento das dimensões e quantitativos de bocas de lobo e melhoria da declividade de sarjetas; • Quebra de estiva de navios (30% a 40%) devido à perda de profundidade do canal, ocasionando restrições de calado no canal de acesso e Berços; • Custo médio de manutenção; Manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 48 h e 72 h; e •

4	**Crítico**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos funcionais reparáveis, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção corretiva severa; • Danos à infraestrutura da praticagem e do terminal que exigem ações de manutenção e causam impactos operacionais, ocasionando baixo nível de serviço; • Custo alto de manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 72 h e 168 h; • Ocorrência de inundações de cais e áreas de terminais nos píeres, causando solapamento devido às ressacas e regimes de ondas, com perda funcional e estrutural da infraestrutura; • Colapso parcial de armazéns, transportadores, cais, canal, bacia de evolução ou infraestrutura portuária. • Colapso de estruturas de sinalização náutica; • Paralisação operacional de Equipamentos de Içamento e transferência de carga (6h a 24h); • Quebra de estiva de navios (40% a 50%) devido à perda de profundidade do canal ou Berços, ocasionando restrições de calado devido a processos sedimentológicos estuarinos acelerados por condições climáticas adversas; e • Perda dos acessos rodoviários.
5	**Catastrófico**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos estruturais e funcionais irreparáveis, exigindo a paralisação imediata. • Nos equipamentos, a manutenção corretiva não apresenta viabilidade econômica, sendo necessário aquisição de novos equipamentos. As infraestruturas civis e portuárias, devido ao colapso, necessitam reconstrução; • Sedimentação, alterações de correntes de marés e vazões fluviais com redução de profundidade do canal de acesso, com desconformidade das bacias de evolução; • Perda de estruturas do porto, com colapso, abrangendo infraestrutura, armazéns, molhes, equipamentos de embarque e transportadores contínuos; • Colapso de estruturas de armazenagem, estruturas de suporte transportadores contínuos, erosões e deterioração de cais/píer/berço causando total inoperância da estrutura; • Custo muito alto com necessidade de financiamento de longo prazo. Reconstrução total da infraestrutura afetada, contando com prazo superior a 1 ano de execução; • Colisão de embarcação com cais/píer ou Equipamentos de Içamento/transferência acarretando colapso estrutural da infraestrutura; e • Colisão entre embarcações, causando adornamento ou naufrágio, bloqueando o canal de acesso e Berços • Inundações constantes.

Tabela 12: Escala de severidade operacional com características e danos comuns aos diversos operadores

ESCALA DE SEVERIDADE OPERACIONAL Características e danos comuns a todos os operadores do complexo portuário		
Nivel de Severidade		**Descrição**
1	**Desprezível**	• Indisponibilidade dos Berços de atracação por período inferior a 12 h; • Impraticabilidade da barra por período inferior a 12 h, impossibilitando as atracações e desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso por período inferior a 72 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Inibe o processo de desatracação de embarcações acostadas. O resultado do monitoramento das condições climáticas poderá declarar a paralisação das atividades de abastecimento de embarcações; • Atrasos nos processamentos das embarcações, não causando prejuízos com multas contratuais de sobre-estadia e demurrage de cargas e navios. Atrasos de acesso a mão-de-obra portuária ou dispensa de turnos; • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades <inferior a24 h; • Acidentes de trabalho que resultem em atendimento de primeiros socorros aos trabalhadores.
2	**Marginal**	• Indisponibilidade dos Berços de atracação por período entre 12 h e 24 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 12 h e 24 h, impossibilitando as atracações e desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso por período entre 72 h e 120 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Interrupção dos trabalhos em execução: (a) em altura, realizados mesmo em cockpits de equipamentos; (b) trabalhos em equipamentos elevatórios de operários em cestos via braço articulado; (c) trabalho em altura realizado embarcado em navios atracados e fundeados; (d) reabastecimento de embarcações • Interrupção parcial. Podem inibir o processo de desatracação de embarcações acostadas. Filas de espera dos navios nos fundeadouros inferior a 72 h; • Prejuízos financeiros oriundos a sobre-estadia de embarcações e cargas nos terminais dentro de nível admissível; e • Acidentes de trabalho que resultem em lesões que gerem afastamento do trabalhador por prazo de até 5 dias.
3	**Moderado**	• Indisponibilidade dos Berços de atracação por período entre 24 h e 72 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 24 h e 72 h, impossibilitando as atracações e desatracações; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso em período superior a 120 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Interrupção parcial de mais de uma atividade do porto, gerando severos prejuízos financeiros de sobre-estadia e afetando financeiramente a operação; • Serviços de reabastecimento de navios com diesel marítimo cancelados; • Filas de espera dos navios nos fundeadouros entre 72 h e 120 h; • Acidentes que resultem em lesões que gerem afastamento do trabalhador por período superior a 5 dias; • Cancelamento da programação de trabalhos a serem executados: (a) em altura, realizados mesmo em cockpits de equipamentos; (b) trabalhos em equipamentos elevatórios de operários em cestos via braço articulado; (c) trabalho em altura realizado embarcado em navios atracados e fundeados; (d) reabastecimento de embarcações; e • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades entre 1 semana e 3 meses.
4	**Crítico**	• Indisponibilidade dos Berços de atracação por período entre 72 h e 120 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 72 h e 120 h, impossibilitando as atracações/ desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade total do balizamento do canal de acesso por período inferior a 120 h; • Perda de escala funcional ou filas nos fundeadouros. Na possibilidade de geração de filas nos fundeadouros, tempo é superior a 120 h (5 dias). Cancelamento do embarque e desembarque de cargas. Paralisações das atividades portuárias é superior a 24 h; • Acidente de trabalho que resulta em um óbito ou em lesão irreversível em um colaborador; • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades inferior ou igual a 3 meses. Baixo Nível de Serviço causado por danos a infraestrutura; e • Rupturas contratuais devido ao não cumprimento de prazos e prestação de serviço de transporte marítimo.

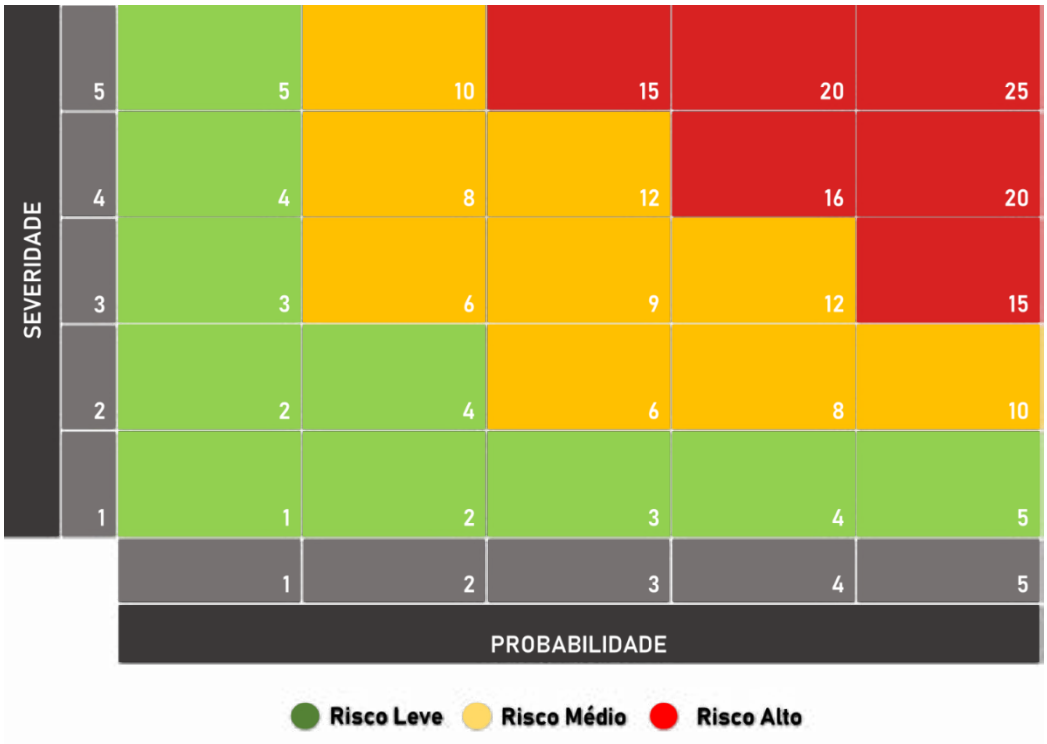
5	Catastrófico	• Indisponibilidade dos Berços de atracação por período superior a 120 h; • Impraticabilidade da barra por período superior a 120 h; • Indisponibilidade total do balizamento do canal de acesso por período superior a 120h; • Fechamento operacional do porto com parada total das atividades. Fechamento do porto por tempo indeterminado. Mais de 80% a 100% das categorias de cargas operadas no porto não são atendidas; • Diminuição dos calados dos navios, quebra de contrato para carregamento de carga, aumento do seguro e porto considerado inseguro; • Acidente de trabalho que resulte em mais de um óbito ou em lesões irreversíveis em mais de um colaborador; e • Custo altíssimo com necessidade de financiamento de longo prazo.

Por sua vez, a escala de risco segue a estrutura apresentada na Tabela 13 e Figura 9.

Tabela 13: Escala de risco dos impactos

Nível	Descrição do risco	Intervalo de valores	
1	Leve	1	5
2	Médio	6	14
3	Alto	15	25

Figura 9: Matriz de risco e mapa de cor



Fonte: ENGINEERS CANADA (2016). Tradução livre.

As subseções a seguir tratam dos principais elementos que compõem a matriz de risco. Primeiramente, aborda-se a probabilidade de ocorrência de um evento climático. Em seguida, o grau de severidade de impacto que um evento climático pode gerar. Por último, o valor do risco climático associado às infraestruturas do porto e pelas ameaças climáticas.

3.5.2.1. Escala de Probabilidade

No levantamento da probabilidade das ameaças climáticas, apresentou-se os valores de ocorrência de eventos climáticos no Porto de Aratu. As variáveis climáticas definidas no documento dizem respeito às ameaças de Vento Fraco (3 m/s), Vento Moderado (7 m/s), Vento Forte (10 m/s), Chuva Persistente (1 mm), Chuva Forte (20 mm) e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar.

Em geral, o porto apresentou baixa probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas. Esses resultados convergem com os relatos dados pelos técnicos do porto na visita técnica realizada em setembro de 2021. Apesar disso, destacaram-se as ameaças de Chuva Persistente (1 mm) e Vento Fraco (3 m/s), que apresentaram classificações iguais ou acima do nível Altamente Provável de probabilidade.

3.5.2.2. Escalada de Severidade

No levantamento das infraestruturas portuárias e severidade, foram verificados os valores da escala de severidade de impactos devido às interações entre ameaças climáticas e infraestruturas e operações portuárias. Os resultados foram segmentados pelos diferentes perfis de carga movimentada e considerou-se o inventário de infraestruturas e as mesmas ameaças climáticas consideradas no levantamento de probabilidade.

Em geral, há valores baixos de severidade para o Porto de Aratu. Entretanto, é possível observar o potencial de impacto atribuído a interações que envolvem a ameaça de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e as infraestruturas de Berços, Equipamentos de Içamento e Transporte Contínuo.

3.5.2.3. Cálculo de Risco

O risco é uma função composta pelo produto dos valores de severidade e probabilidade. Os valores obtidos através desse cálculo servem para indicar quais são as interações (ameaça climática - infraestrutura) que apresentam maior perigo ao porto e ajudam a definir como as ações devem ser priorizadas.

O cálculo do risco é apresentado a seguir pela Equação 3:

$$Rij = Pi \times Sij \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde se lê:

R = risco climático;
P = probabilidade de ocorrer um evento;
S = severidade com que a infraestrutura é afetada;
i= evento climático; e
j = infraestrutura.

Em termos gerais, as pontuações baixas representam riscos com baixo fator de preocupação. Por outro lado, riscos de valores “médios” a “altos” podem indicar a necessidade de monitoramento e intervenção corretiva.

3.6. Identificação e Proposição de Medidas de Adaptação

3.6.1. Objetivos Específicos

Esta etapa tem por objetivo principal identificar, avaliar e recomendar medidas de adaptação robustas e eficientes para o Porto de Santos para a qual é esperado como produto:

Tabelas com a avaliação das medidas de adaptação já implementadas e as possíveis de implementação para cada elemento de infraestrutura e superestrutura dos portos estudados.

As perguntas norteadoras que embasam esta etapa são:

- “Quais são as medidas de adaptação já adotadas e outras possíveis a serem implementadas?”;
- “Qual é a viabilidade técnica e financeira da implementação de cada uma das medidas de adaptação”;
- “Quais são as medidas de adaptação que garantem a eficiência e regularidade das operações, segurança, pontualidade e prestação do serviço adequado?”;
- “Quais são as medidas de não arrependimento?”;
- “Quais medidas podem ser implementadas para a infraestrutura X diante da ameaça climática Y?”;
- “Quais são as vantagens e desvantagens de cada medida?”;
- “Qual é a tipologia de cada medida (gestão ou engenharia)?”

3.6.2. Oficina de trabalho

Segundo o Protocolo PIEVC (2016), uma oficina de trabalho pode ser conduzida para concluir a análise de risco e estimular a proposição de medidas adaptativas. Realizá-lo estimula o intercâmbio e a geração de ideias, o que possibilita encorajar o pensamento “não isolado” e a verificação de ideias através da diversidade de expertises presentes (ENGINEERS CANADA, 2016).

Portanto, para o desenvolvimento das medidas de adaptação, foi realizada uma oficina com atores-chave do Porto de Aratu no dia 1 de junho de 2022. O evento aconteceu das 9h às 16h de forma presencial na cidade de Salvador – BA e foi conduzido pela equipe de pesquisa.

A dinâmica da oficina iniciou-se com a apresentação dos resultados das etapas de levantamento da probabilidade das ameaças climáticas, levantamento das infraestruturas portuárias e severidade e cálculo do risco climático e, em seguida foram desenvolvidas atividades que estimulassem o desenvolvimento de ideias e proposições de medidas de adaptação frente às ameaças climáticas no porto.

Todas as medidas de adaptação desenvolvidas durante e após o evento estão compiladas nes-

te documento. As respostas foram recebidas das arrendatárias Braskem e CS Brasil (ATU 12 e ATU18).

3.6.3. Desenvolvimento e avaliação das medidas de adaptação

As medidas de adaptação são divididas por interação ameaça-infraestrutura, que tem um risco associado, em geral, "médio". As medidas são detalhadas por tipo (gerencial ou estrutural) e por custo, benefícios, prazo de execução, complexidade e horizonte/urgência, sendo esses elementos avaliados de forma qualitativa. Adicionalmente, as medidas possuem responsável definido e outros atores-chaves que podem ser envolvidos. Algumas medidas podem contar também com algumas observações. Ao fim, as medidas são analisadas criticamente pela equipe consultora, buscando trazer elementos que respondem às perguntas norteadoras.

4 :: Resultados

4.1. Levantamento do Histórico de Impactos associados ao Clima

4.1.1. Caracterização do porto

A caraterização do porto a seguir e suas principais infraestruturas e superestruturas, buscam responder à pergunta norteadora:

- "Quais são as infraestruturas e superestruturas de interesse?"

O Porto do Aratu é classificado como Porto Organizado, localizado no município baiano de Candeias (Figura 1). A posição geográfica encontra-se inserida na Baia de Todos os Santos, entrada da Baia de Aratu. Classifica-se como terminal portuário especialista em cargas químicas, nos padrões líquidos, gasosos e sólidos, todas a granel. Um fator positivo quanto à localização do porto, refere-se à inexistência de massiva interferência urbanística lindeira à poligonal portuária. Isto é, o Porto de Aratu não é um porto urbano. Apesar de uma topografia do retroporto mais acidentada, o terminal ainda consta como potencial área para expansão das atividades.

Segundo o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento dos Portos de Salvador e Aratu-Candeias - PDZ (2018), a Baía de Todos os Santos caracteriza-se por um clima tropical-úmido, com médias anuais de temperatura, unidade relativa, precipitação e evaporação, respectivamente, de 25,3°C, 80%, 2086 mm e 1002 mm. De acordo com Thornthwaite & Matther (apud PDZ Aratu, 2018), a baía possui índice hídrico entre 20 e 40%, excedente hídrico 300 e 600 mm e regime pluviométrico outono/inverno.

O regime pluviométrico, observado a partir dos registros realizados na estação meteorológica de Salvador, reflete o padrão de circulação atmosférica que é composta por fenômenos como a convergência do ar úmido dos alísios de leste que provocam precipitação elevada no outono. Ainda segundo o PDZ, observa-se que a precipitação se concentra no outono e no inverno, sobretudo entre abril e junho (trimestre mais chuvoso), quando o nível total da precipitação pluviométrica atinge, em média, 926,7 mm, ou seja, aproximadamente 45% da precipitação média anual.

No verão, a velocidade do vento tem uma média de 5 m/s, soprando na direção leste e sudoeste, enquanto no inverno, com ventos sul e sudoeste, a velocidade média fica em torno de 5,2 m/s. No inverno, foram registrados momentos com velocidade de até 14 m/s (PEREIRA, 2008).

O Porto de Aratu consta com o endereço da Autoridade Portuária localizado à Via Matoin, s/n, Baía de Aratu-Candeias, Candeias, Bahia. A macrolocalização geográfica do porto organizado é fornecido pelas respectiva coordenada geográfica: 13°00'37"S, 038°35'00"W. O ordenamento naval para o tráfego das embarcações comerciais, contendo canal, pontos de risco à navegação, sinalização é organizada e disponibilizada pela Marinha do Brasil, com o Centro de Hidrografia da Marinha, via as cartas náuticas número: (a) Carta nº 1101: Proximidades do Porto de Salvador; (b) Carta nº 1103: Baia de Aratu e Adjacências; (c) Carta nº 1104: Baia de Todos os Santos Parte Nordeste.

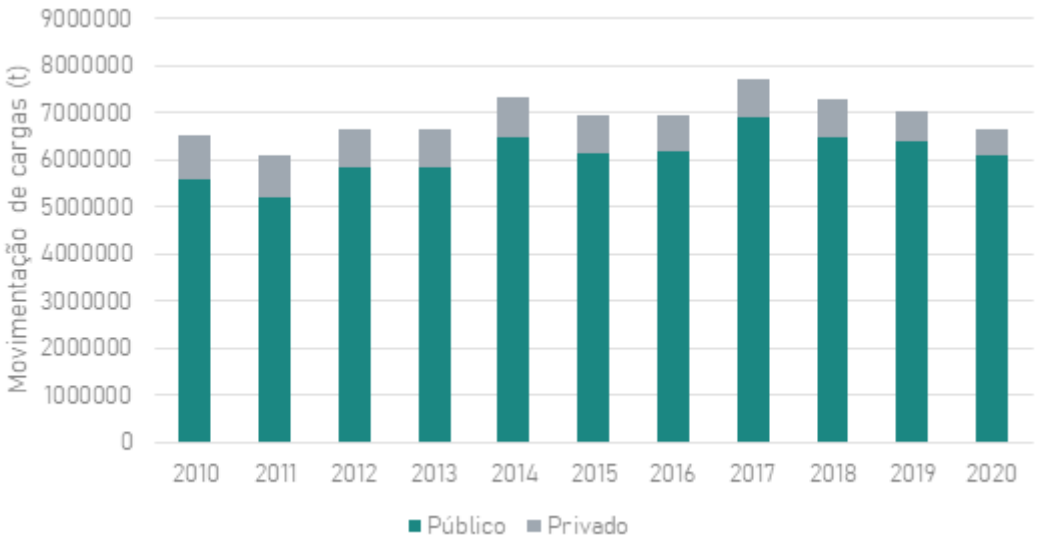
O Porto Organizado de Aratu tem como competência processar embarcações oceânicas de rotas de longo curso e cabotagem. Os fluxos dos processamentos de cargas das embarcações contemplam exportação e importação, caracterizando o embarque e o desembarque de cargas de granéis líquidos, sólidos e produtos gasosos. O acesso intermodal ao porto, pelo lado terrestre, é realizado pelos modos rodoviário, ferroviário e dutoviário (Polo Petroquímico ao porto com transporte de nafta).

O Porto de Aratu é recente, tendo iniciado as operações em 1975, incentivado pela criação do Centro Industrial de Aratu-Candeias (1966) e a construção do terminal de uso privativo na Ponta da Sapoca, pela Usina Siderúrgica da Bahia – USIBA (1968). Em 1977, a gestão do Porto de Aratu foi repassada à Companhia Docas do Estado da Bahia – CODEBA. Outro item relacionado ao desenvolvimento industrial regional e correlata à especialidade do Porto de Aratu foi a criação do Polo Industrial de Camaçari em 1978, que hoje compreende mais de 90 empresas no segmento químico, petroquímico, indústrias de pneus, celulose solúvel, metalurgia do cobre, têxtil, fertilizantes, energia eólica, fármacos, bebidas e serviços.

É um porto de grande importância para o desenvolvimento industrial e econômico do Estado da Bahia. O porto dá provimento e suporte a dois grandes polos industriais, o Centro Industrial de Aratu (CIA) e o Polo Industrial de Camaçari, além disso, é um porto que se destaca por ser um escoadouro de produção química e petroquímica para todo o Brasil.

Atualmente o complexo portuário (Figura 2) conta com três agrupamentos de infraestrutura, relacionados ao perfil de carga: Terminal de Produtos Gasosos (TPG), Terminal de Granéis Líquidos (TGL) e Terminal de Granéis Sólidos (TGS). Decorrente da carga e operação, a gestão da Autoridade Portuária e as empresas arrendatárias dos terminais, como, Vopak, Braskem, Fafen, Tequimar e Magnesita necessitam seguir rigorosas regras, protocolos e normas internacionais e nacionais para a manipulação de cargas, controle operacional, gestão de riscos, segurança no trabalho, salvaguarda, brigada a incêndios, controle de vazamentos, manutenção preventiva e processamento de embarque e desembarque de navios. O porto está localizado no trecho norte da Baía de Todos-os-Santos, distante cerca de 21 km via mar do Porto de Salvador (CETREL, 2019). Entre os principais produtos movimentados pelo Porto de Aratu-Candeias estão minérios de ferro, manganês e cobre, ureia, fertilizantes, nafta, propeno e concentrado de cobre (CODEBA, 2021). O histórico de movimentação de cargas pelo Porto de Aratu-Candeias entre os anos de 2010 e 2020 pode ser visto na Figura 10.

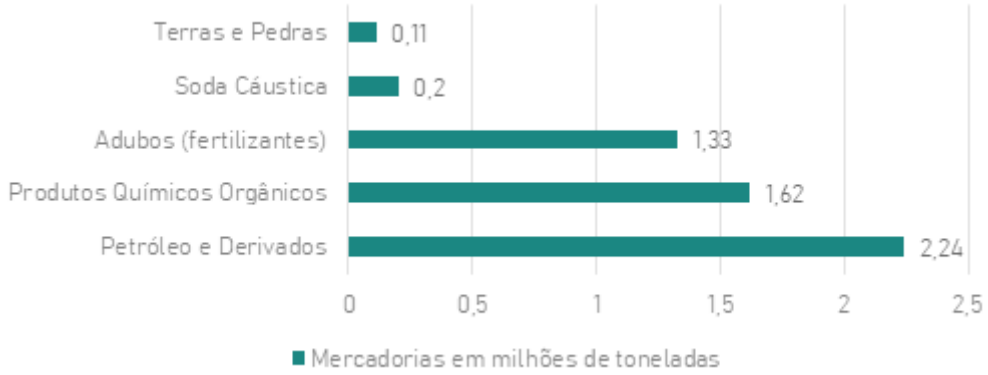
Figura 10: Movimentação de cargas por toneladas para o Porto de Aratu-Candeias



Fonte: Elaboração própria com base no Anuário ANTAQ, 2021b.

No ano de 2020, suas cinco maiores mercadorias em milhões de toneladas foram respectivamente petróleo e derivados (2,24 t), produtos químicos orgânicos (1,62 t), adubos fertilizantes (1,33 t), soda cáustica (0,20 t) e terras e pedras (0,11 t) como se vê na Figura 11 a seguir.

Figura 11: Cinco maiores mercadorias (carga) em milhões de toneladas para o Porto de Aratu-Candeias



Fonte: Elaboração própria com base no Anuário ANTAQ, 2021b.

4.1.1.1. Principais infraestruturas e superestruturas

O zoneamento portuário o Porto de Aratu é organizado em função dos tipos de carga operadas e das infraestruturas de acostagem, conectados com as áreas de armazenagem. A infraestrutura de acostagem do terminal são píeres com pontes de acesso. Não há presença de cais corrido, fingers ou dársenas. O Porto de Aratu conta com os seguintes píeres: (a) Terminal de Produtos Gasosos (TPG); (b) Terminal de Granéis Líquidos (TGL); (c) Terminal de Granéis Sólidos – píeres I (TGS I) e II (TGS II).

TERMINAL DE PRODUTOS GASOSOS (TPG)

Terminal destinado a movimentar gases liquefeitos, principalmente propeno, butadieno e buteno. É formado por um píer em T com uma segunda passarela de acesso a operadores do estaiamento da embarcação. Possui berço com 215 m de extensão, com capacidade para operar embarcações com Comprimento Roda a Roda – Length Overall (LOA) de 297m e calado operacional de 14,8 m. A passarela principal, a noroeste, possui uma extensão aproximada de 140 m. A sudeste encontra-se uma passarela de apoio de acesso a dois dolfins. O píer no total consta com sete dolfins de estaiamento da embarcação.

- Braskem: é a empresa arrendatária que opera a movimentação de cargas gasosas no terminal portuário. Na armazenagem de transferência entre embarcação e terminal existem 7 esferas de armazenamento dispostas em uma área total de 26.946 m², com volume total de 29.600 m³. Na área da empresa consta um tanque de granel líquido de 15.000 m³ que se encontra desativado.

TERMINAL DE GRANÉIS LÍQUIDOS (TGL)

Terminal destinado a movimentar granéis líquidos, como água de formação, amônia, dicloroetano, nafta petroquímica, estireno, agrilonitrila, gasolina, etanol e soda cáustica. A estrutura de acostagem é um píer em L, constando dois berços de atracação simultânea e 11 dolfins de estaiamento das embarcações. O píer configura-se com uma plataforma central e uma ponte de acesso de 324,6 m de extensão. Nessa estrutura estão instalados as dutovias, os sistemas de brigada de incêndio, sistemas de controle de vazamentos e o conjunto de defensas. O berço norte pode atracar embarcações com LOA de 220 m e calado de 12 m e o berço sul pode receber embarcações com LOA de até 170 m e calado de 11 m.

- Tequimar/Ultracargo: Detém o arrendamento de infraestrutura de armazenagem de 94 tanques de granéis líquidos químicos totalizando um volume de 217.990 m³, dispostos em uma área de 94.499 m².
- Fafen: Opera com os granéis líquidos em uma área de 15.067 m², contando com um dispositivo de armazenagem (tanque) de 20.000 m³, destinado a operação de amônia.
- Vopak: Opera uma área do complexo portuário com 39.105 m², constando com uma capacidade volumétrica de 108.130 m³ e possui 65 tanques de armazenamento.

A Figura 13 apresenta a visualização sobre o terminal de granéis líquidos.

TERMINAL DE GRANÉIS SÓLIDOS (TGS I)

Terminal destinado a movimentar granéis sólidos, como magnesita, rocha fosfática, carvão mineral, enxofre, alumina, minério de manganês, fertilizantes e concentrado de cobre. A estrutura de acostagem é um píer em formato finger (em tangente), contendo dois berços de atracação simultânea e 2 dolfins de estaiamento de embarcação remoto ao píer e nove cabeços instalados na estrutura do píer. A ponte do píer apresenta 200 m de extensão. O berço norte possui 153,2 m de extensão, podendo atracar navios de LOA de até 200 m e calado de 12 m. O berço

sul mede 202,6 m e opera embarcações com calado de 12 m e LOA de 250 m. O píer é equipado com guindaste grab e shiploader para, respectivamente, desembarcar e embarcar os graneis. O sistema movimentação de carga é por transportador de correia, estando conectado fisicamente com a maioria dos armazéns e terminais de maior capacidade de carga.

- Fafen: Opera armazém de 54.000 m³ e 40.000 t de capacidade estática, em uma área de 11.496 m². A empresa pretende expandir o segmento de granéis com nova área lindeira ao terminal de granéis sólidos, atrás do atual armazém e vizinho a área da Vopak. A empresa movimenta ureia no terminal.

- Magnesita: Opera armazém de 5.184 m² para movimentação de magnesita. A capacidade desse armazém é de 33.500 t ou 23.000 m³.

- Paranapanema: Movimenta concentrado de cobre, em armazém de 14.625 m² com capacidade de 79.600 t ou 77.000 m³.

- Pátio TGS I: pátio aberto inoperante, porém em processo de negociação de outorga. O antigo operador movimentava enxofre. Área total de 74.485 m² com capacidade estática de 470.000 t

TERMINAL DE GRANÉIS SÓLIDOS (TGS II)

Terminal destinado a movimentar fertilizantes, no fluxo de desembarque. A estrutura de acostagem é um píer em L, contendo único berço de atracação e 2 dolfins de estaiamento de embarcação remoto ao píer e nove cabeços instalados na estrutura do píer. A ponte do píer apresenta 70 m de extensão. O berço possui 210m de extensão, podendo atracar navios de LOA de até 210 m e calado de 12 m. O píer é equipado com guindaste grab para desembarque de graneis.

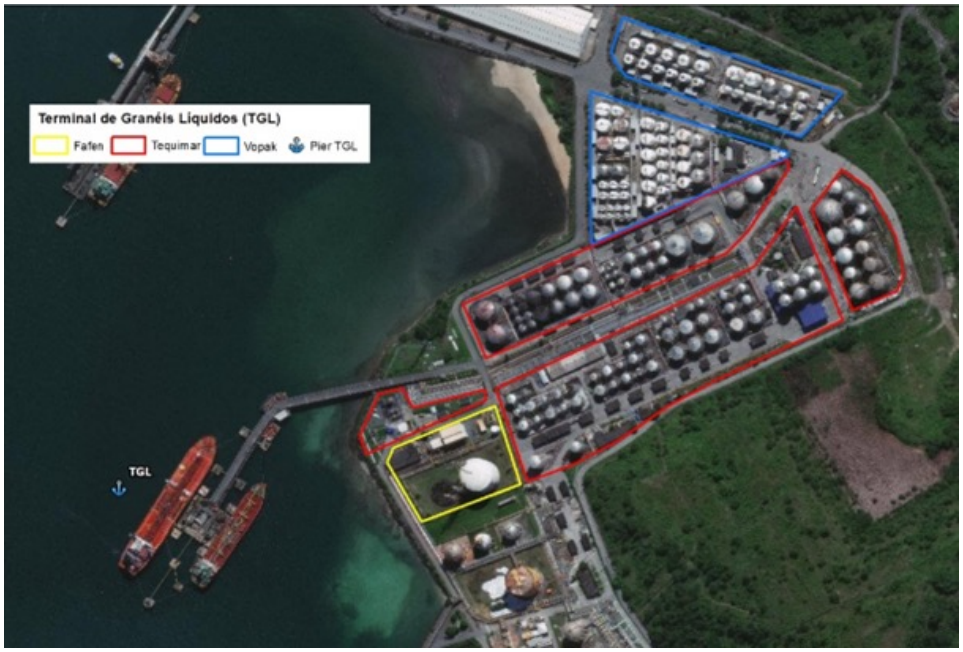
A Figura 14 apresenta a visualização sobre o terminal de granéis sólidos.

Figura 12: Píer TPG e terminal da Braskem. Esferas para gases liquefeitos: (a) perímetro em azul, três



Fonte: elaboração própria com base no PDZ Porto de Aratu

Figura 13: Píer TGL e terminais da Vopak, Fafen e Tequimar/Ultracargo



Fonte: elaboração própria com base no PDZ Porto de Aratu

Figura 14: Píer TGS e terminais da Fafen, Magnesita, Paranapanema e Pátio público em fase de nova outorga de concessão



Fonte: elaboração própria com base no PDZ Porto de Aratu

O Porto Organizado de Aratu conta com sistema viário privilegiado. A geometria do sistema viário possui pistas amplas e interseções com rotatórias de raio grande, dando condições adequadas a manobras de veículos rodoviários longos.

Também conta com sistema ferroviário de acesso, porém aparenta apresentar pouca movimentação. O PDZ do Porto de Aratu prevê proposta de fechamento de anel ferroviário pela perimetral, otimizando assim, excessivos movimentos de manobras de vagões.

Há sistema dutoviário conectando o Polo Petroquímico ao Porto de Aratu para o transporte de nafta.

Conta com amplas áreas para ampliação operacional com a instalação de novas empresas, ainda considerando a própria poligonal do Porto Organizado.

Outras infraestruturas importantes ao Porto são:

- **Canal de Acesso:** O acesso às distintas infraestruturas de acostagem nos terminais do Porto de Aratu é realizado pelo Canal de Acesso (Figura 15). Quando o acesso não conta com profundidade natural suficiente para navegação segura, ocorre a necessidade da sua conformação, provendo padronização geométrica ao longo do elemento longilíneo. Geralmente o canal é projetado em sessão padrão trapezoidal constando de três dimensões básicas: (a) a primeira é a profundidade do canal, definida por elementos geométricos da embarcação e perturbações ambientais, sendo elas, calado da embarcação, pé-de-piloto, oscilação de marés principalmente na baixa mar, ondas de projeto, camada de sedimentação marítima e estuarina e um coeficiente de segurança; (b) o segundo elemento geométrico refere-se aos ângulos do trapézio, que define-se em relação ao comportamento geotécnico do tipo de solo do fundo do canal; (c) a terceira dimensão geométrica refere-se a largura do canal, sendo ela monodirecional (uma embarcação circulando por sentido, tendo a necessidade de regulação de passagem) ou bidirecional (duas embarcações podem circular em fluxos opostos). Essa dimensão considera a largura da embarcação o afastamento entre o término do talude e um notório coeficiente de segurança entre as embarcações, considerando fatores de ondas, fatores de controle direcional relativos aos efeitos de ondas e ventos. Nos trechos em curvas no canal, também se considera elementos de sobrelargura. O acesso ao Porto de Aratu é realizado em duas etapas. A primeira refere-se à entrada a Baia de Todos os Santos, em desenvolvimento de canal de acesso semelhante as embarcações que adentram para acessar o Porto de Salvador. Em águas abrigadas da baía, logo após a área de fundeio das embarcações com destino ao Porto de Salvador e Aratu, há uma bifurcação, sendo que o caminho a bombordo segue para o complexo do Terminal Madre de Deus e a boreste, segue o canal para o Porto de Aratu, antes de chegar ao píer da USIBA. O Canal inicia-se nas coordenadas 12°50'12.00"S, 38°31'24.00"O e possui extensão de 6.300 m até chegar as infraestruturas de acostagem. Possui largura mínima de 200 m e profundidade de 18 m e é sinalizado com boias luminosas e refletoras radar. Continuando o trajeto do Canal de Aratu, inicia-se o Canal de Cotegipe, que adentra a Baía de Aratu, tendo 3.960 m de extensão e restrição de circulação bidirecional devido a largura de 110 m, sendo proibido o cruzamento de embarcações. É esse canal que realiza o acesso ao Porto de Cotegipe (TUP de granéis agrícolas), ao antigo porto roll-on/roll-off da Ford, ao Terminal da Dow Química e a Base Naval de Aratu. A conformação dos canais é afetada pelos processos de sedimentação marinha e fluvial perdendo assim o padrão trapezoidal da sessão. Esse problema não somente é encontrado nos canais de acesso, mas também nos berços de atracação em cais corridos e píeres. A perda da profundidade acarreta a quebra da capacidade efetiva de embarque das cargas nos porões dos navios, acarretan-

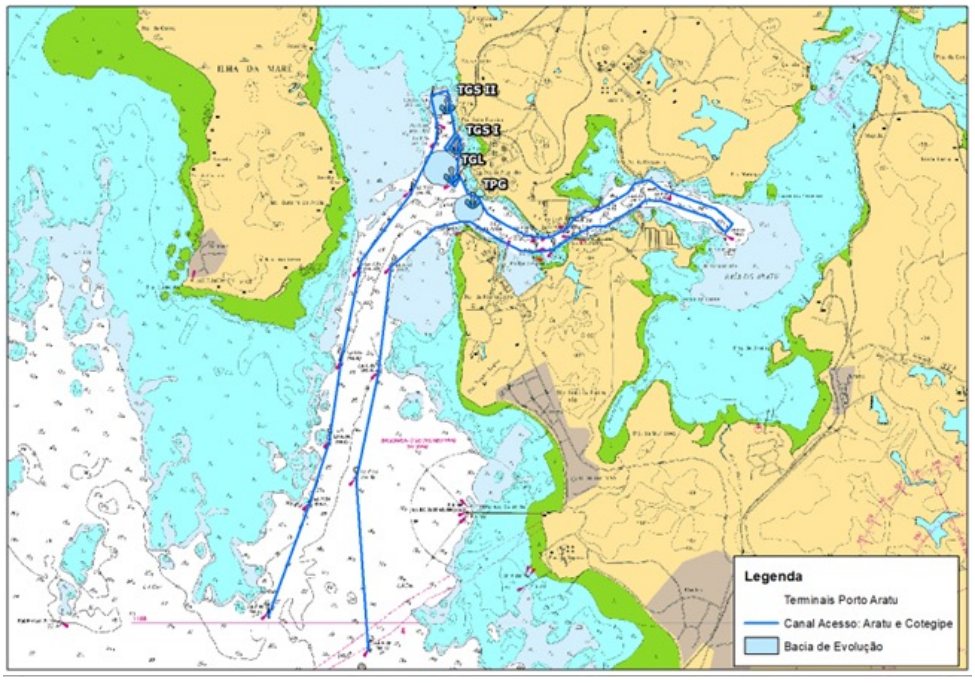
do a quebra de estiva dos navios. A correção desse problema é a realização corriqueira dos serviços de dragagem do canal de acesso, retornando assim a conformação da sessão tipo do canal.

- **Bacias de Evolução:** são áreas destinadas a manobras das embarcações, apresentando profundidade segura e adequação locacional para evitar conflitos de tráfego com outras embarcações. Constam também de uma conformação geométrica, padronizando assim como a profundidade e os taludes do corte da dragagem. Há casos em que a bacia de evolução é alocada em locais de profundidade natural da área portuária. No Porto de Aratu são 3 bacias de evolução, com calado operacional de embarcações de 18 m (Figura 16). No píer do Terminal de Granéis Sólidos II a evolução dos navios é realizada a partir do berço. Os píeres do Terminal de Granéis Sólidos I e o Terminal de Granéis Líquidos utilizam a mesma bacia que possui diâmetro de 500 m. Somente um movimento de evolução é permitido por vez. No Terminal de Produtos Gasosos a evolução é realizada em frente ao berço.

- **Fundeadouros:** os fundeadouros utilizados pelas embarcações à espera de atendimento no Porto de Aratu são os mesmos utilizados para o Porto de Salvador (Figura 16). São cinco bacias de fundeio, totalizando uma área de 46.027.151 m². As profundidades são: (a) Fundeador I com 17 m; (b) Fundeador II com 18 m; (c) Fundeador III com 30 m; (d) Fundeador IV com 27 m e (e) Fundeador V destinados ao fundeio livre de navios que aguardam vaga nos fundeadouros internos a Baia de Todos os Santos.

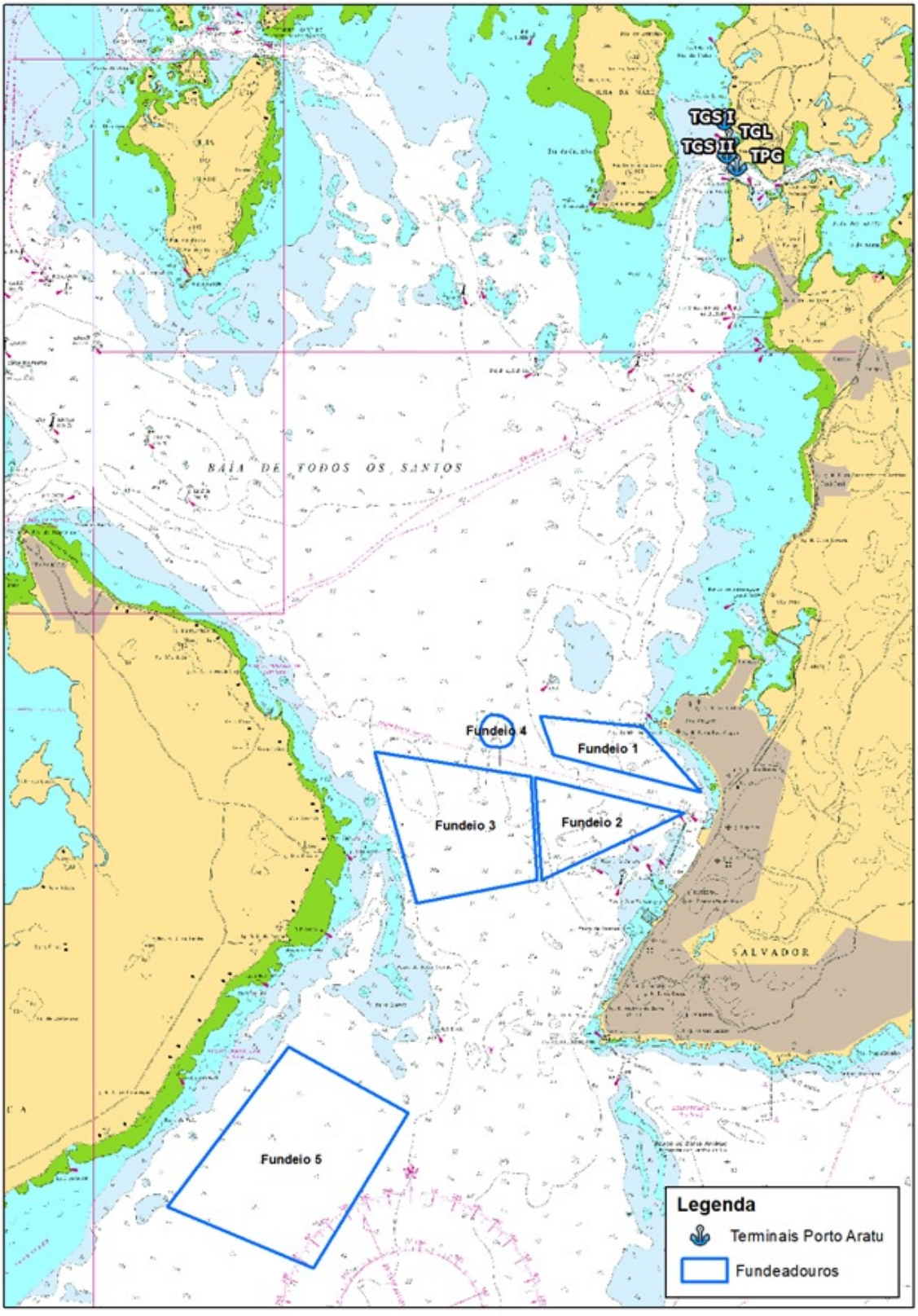
- **Sinalização náutica:** O Porto de Aratu conta com sistema homologado de sinalização náutica para identificar o canal principal. Conta também com um conjunto de faroletes e boias luminosas para o tráfego noturno, identificando assim os canais, os pontos de risco eminente de choque e referência ao continente e terminais.

Figura 15: Canais de Acesso de Aratu e Cotegipe; e Bacias de Evolução do Porto de Aratu



Fonte: PDZ Porto de Aratu

Figura 16: Fundeadouros do Porto de Aratu e Salvador



Fonte: PDZ Porto de Aratu

4.1.2. Histórico de impactos associados ao clima

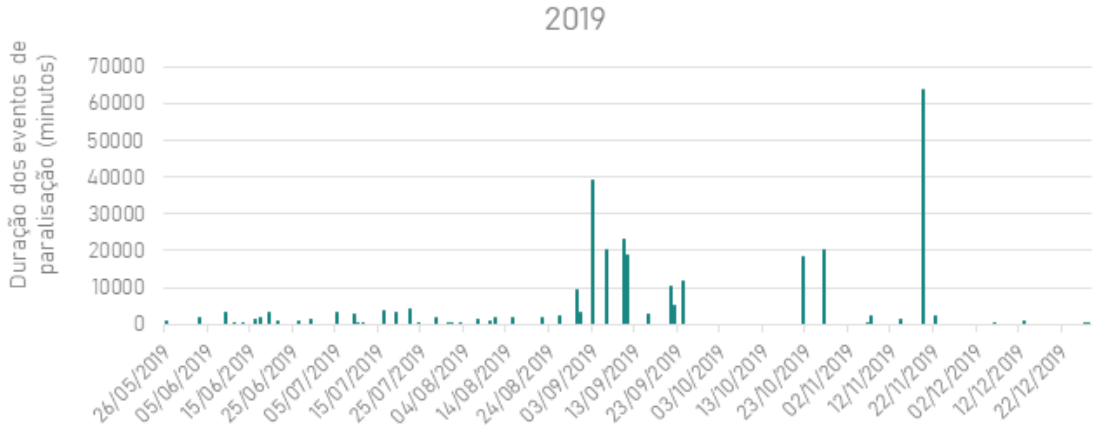
O histórico de impactos associados ao clima busca responder às seguintes perguntas norteadoras:

- "Quais são os impactos (danos e prejuízos) que o porto tem sofrido devido aos eventos climáticos?" e
- "Quando ocorreram estes impactos?"

Em relação aos danos estruturais do Porto de Aratu, foi constatado, através de entrevistas e consultas a bancos de dados, que o porto não possui uma série de dados que atribua relação entre danos estruturais dentro do complexo portuário devido a eventos hidrometeorológicos e oceanográficos. Portanto, não é possível afirmar quantos e quais danos estruturais já ocorreram pelos motivos previamente citados no porto em questão.

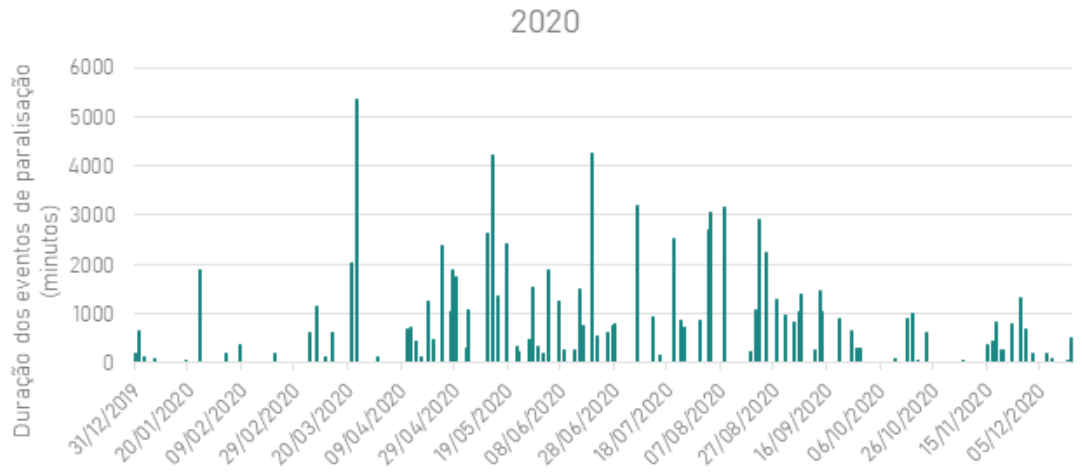
Por outro lado, para análise da série histórica de paralisações, (Figura 17, Figura 18 e Figura 19) há uma completude de dados para o segundo semestre de 2019, o ano de 2020 e o primeiro semestre de 2021, totalizando dois anos completos disponíveis para análise. Dentro da análise de dados para o ano de 2020, foi possível constatar que há paralisações maiores e mais frequentes entre os meses de março e setembro, o que se justifica em função da instabilidade climática característica desta época do ano.

Figura 17: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2019



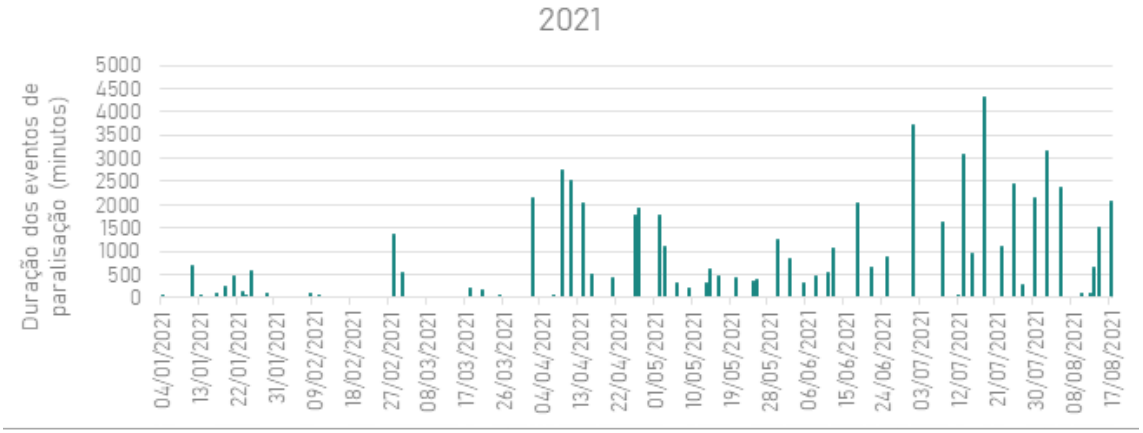
Fonte: elaboração própria

Figura 18: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2020



Fonte: elaboração própria

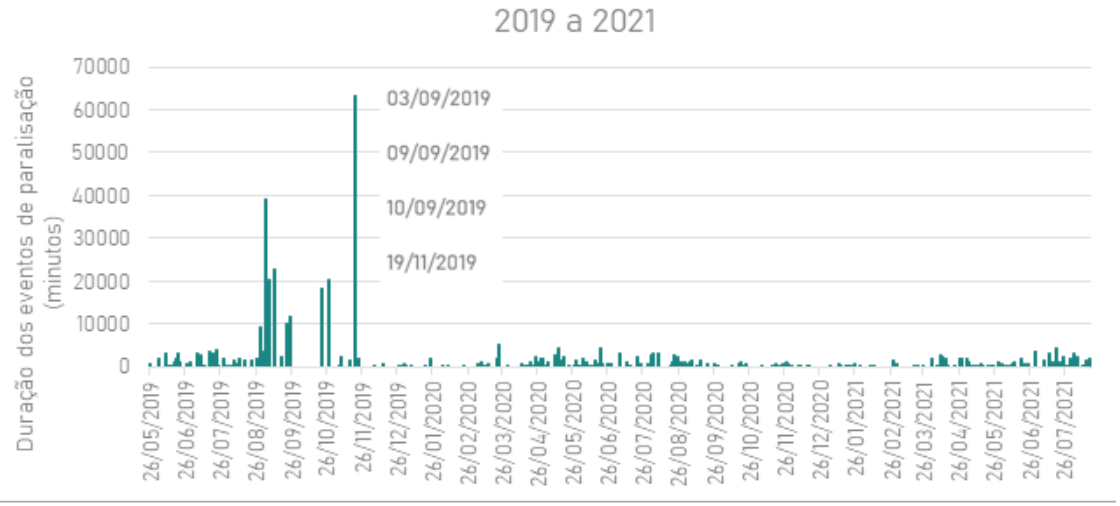
Figura 19: Histórico de paralisações nas operações para o ano de 2021



Fonte: elaboração própria

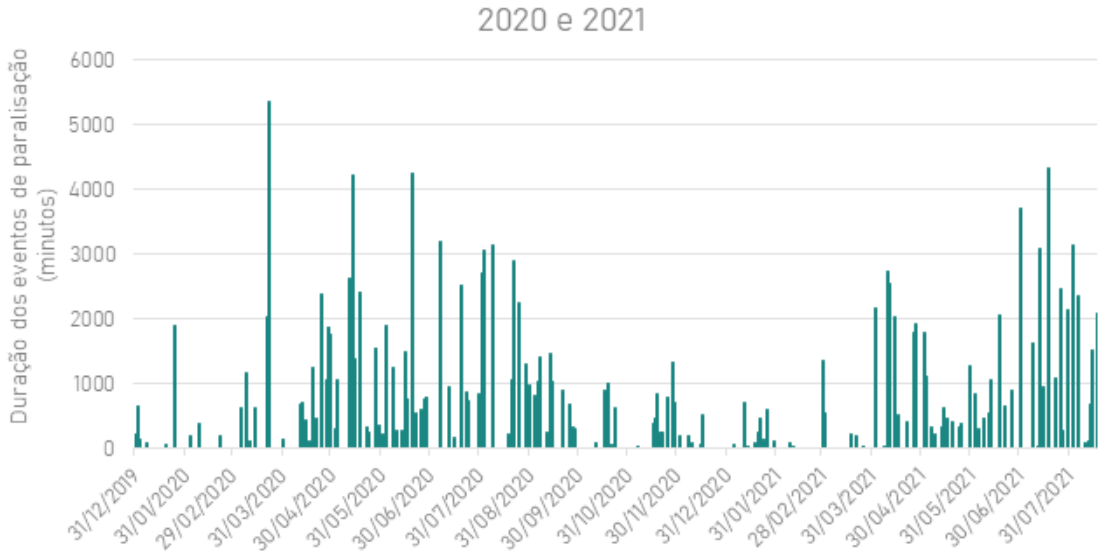
Os dados de 2019 apontam para alguma deficiência nas medições, uma vez que se verifica quatro datas com paralisações superiores a 48 dias (Figura 20). Por outro lado, o ano de 2020 apresenta uma média de paralisações mais plausível, apresentando uma amostra de dados com período de duração inferior a 100 horas. Por isso, levando em consideração apenas os anos de 2020 e 2021 a um nível de significância de 85%, pode-se dizer que há uma ligeira tendência de aumento na duração dos eventos de paralisação nos meses mais frios e nos meses mais chuvosos (Figura 21).

Figura 20: Histórico de eventos de paralisações entre 2019 e 2021



Fonte: elaboração própria

Figura 21: Histórico de eventos de paralisações entre 2020 e 2021



Fonte: elaboração própria

4.1.3. Identificação da relação entre ameaças climáticas e impactos observados

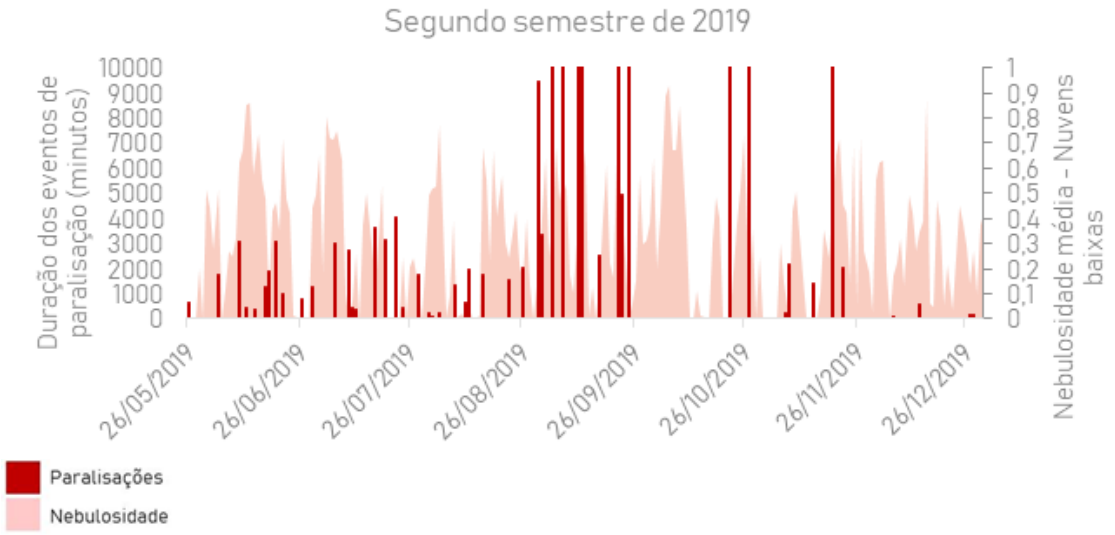
A identificação e priorização das ameaças climáticas busca responder à seguinte pergunta norteadora:

- "Quais foram as variáveis hidrometeorológicas e/ou oceanográficas que causaram o impacto?"

Diante das análises de correlação realizadas, para o Porto de Aratu no período do 2º semestre de 2019, pode-se inferir a partir das Figura 22, Figura 23 e Figura 24 que:

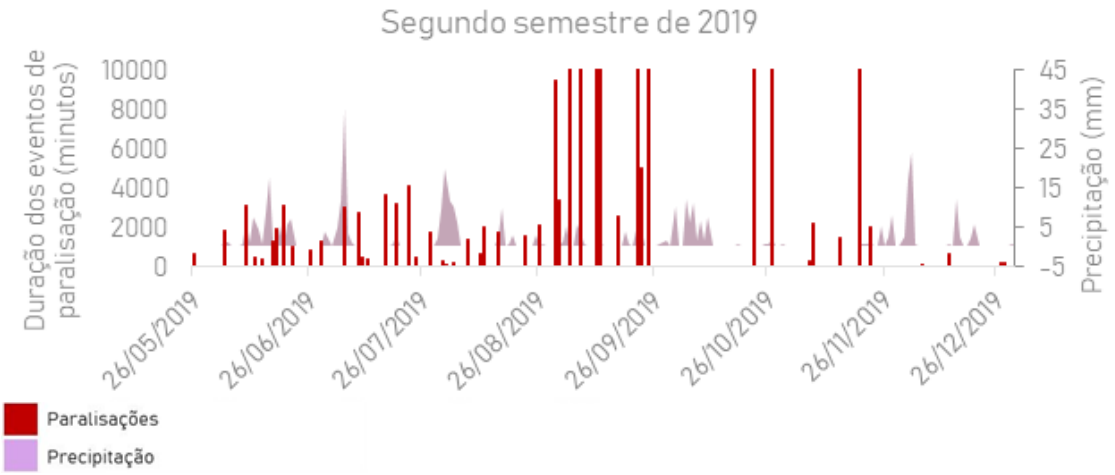
- A Nebulosidade é a variável que mais se mostrou estatisticamente correlacionada com o tempo de paralisação no segundo semestre de 2019 (ρ de Spearman = 0.67);
- A precipitação demonstrou uma correlação fraca (ρ de Spearman = 0.33), embora isto possa mudar ao definir limiares para a investigação;
- A velocidade do vento medida a 10 metros de altura não demonstrou correlação significativa com a duração dos eventos de paralisação (ρ de Spearman = 0.15).

Figura 22: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade Média – Nuvens Baixas e Paralisações no segundo semestre de 2019



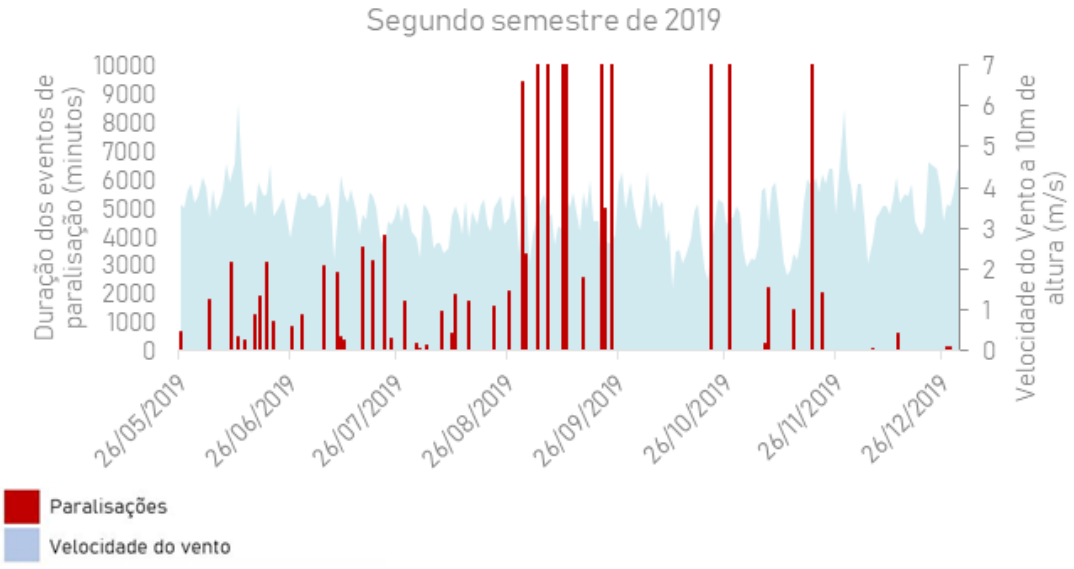
Fonte: elaboração própria

Figura 23: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações no segundo semestre de 2019



Fonte: elaboração própria

Figura 24: Análise de correlação entre a variável Velocidade do Vento a 10 m de altura e Paralisações no segundo semestre de 2019

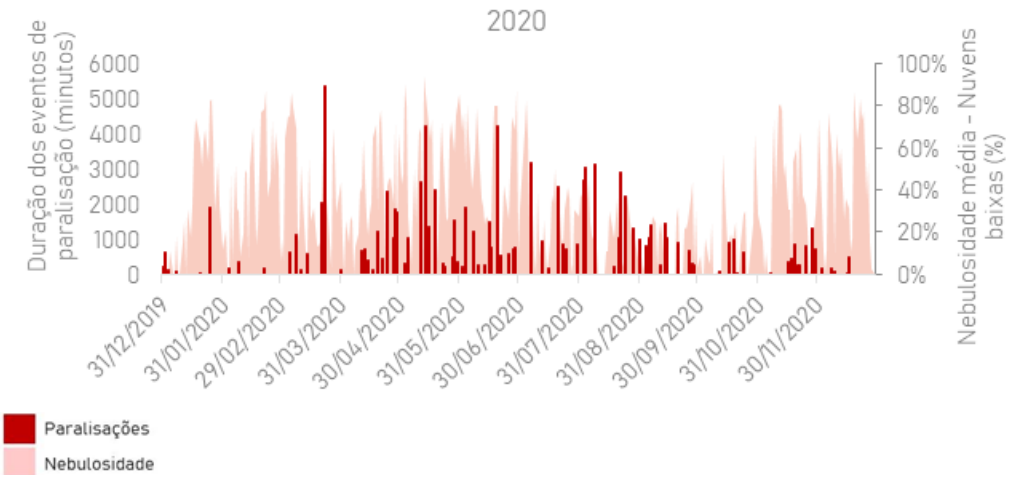


Fonte: elaboração própria

Deve-se dar destaque às análises realizadas no ano de 2020, uma vez que foi o ano que apresentou maior completude e consistência nos dados. Ao analisar as Figura 25, Figura 26 e Figura 27, algumas inferências podem ser feitas:

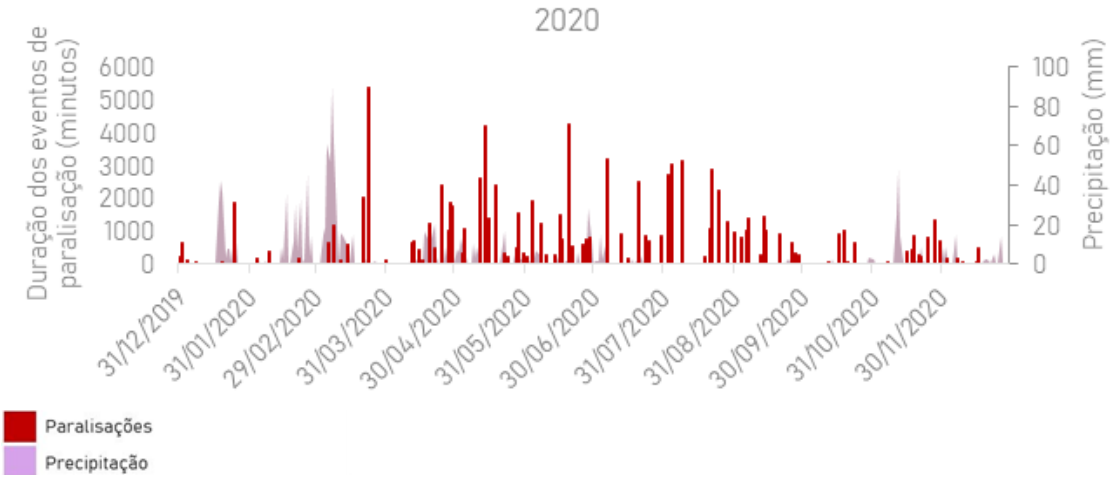
- A Nebulosidade é a variável que mais se mostrou estatisticamente correlacionada com o tempo de paralisação no primeiro semestre de 2020 (ρ de Spearman = 0.72);
- Em segundo lugar a precipitação se mostrou medianamente correlacionada com o tempo de paralisação (ρ de Spearman = 0.59);
- A velocidade do vento medida a 10 metros de altura, não demonstrou correlação significativa (ρ de Spearman = 0.13).

Figura 25: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade Média – Nuvens Baixas e Paralisações para o ano de 2020



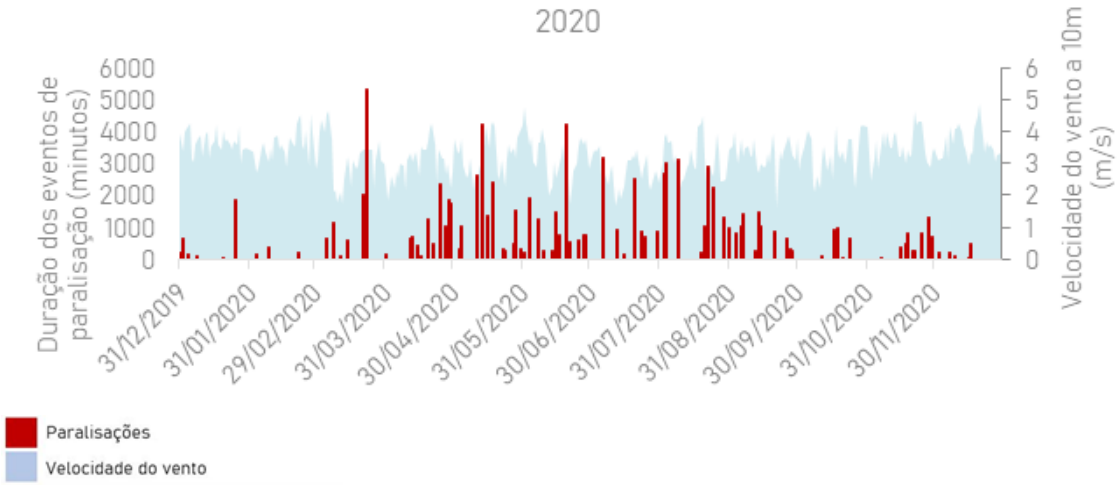
Fonte: elaboração própria

Figura 26: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações para o ano de 2020



Fonte: elaboração própria

Figura 27: Análise de correlação entre a variável Velocidade do vento a 10 m de altura e Paralisações para



Fonte: elaboração própria

Por último, analisando os dados referentes ao primeiro semestre de 2021 apresentados nas Figura 28, Figura 29 e Figura 30, pode-se dizer que:

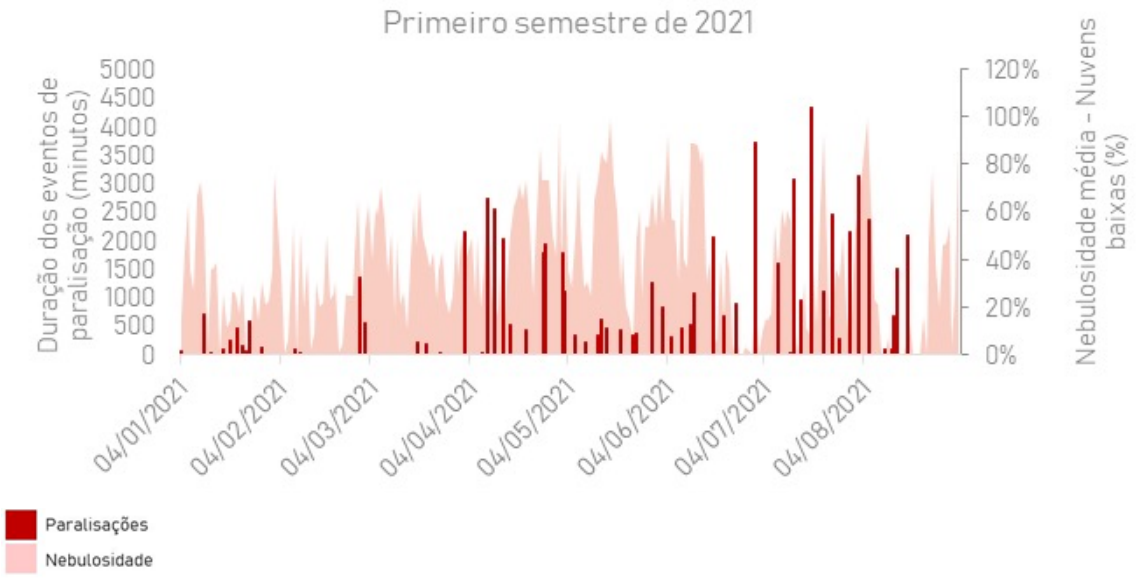
- Períodos com maior nebulosidade estão causando paralisações mais duradouras (ρ de Spearman = 0.71) em 2021.

- Períodos com maior precipitação estão causando paralisações mais duradouras (ρ de Spearman = 0.68), embora com correlação ligeiramente inferior à nebulosidade. Entretanto, os dados disponíveis demonstram que alguns períodos com chuvas acima da média não causaram paralisações severas;

- A velocidade do vento apresenta baixa correlação com a duração dos eventos de paralisação em 2021 (ρ de Spearman = 0.44).

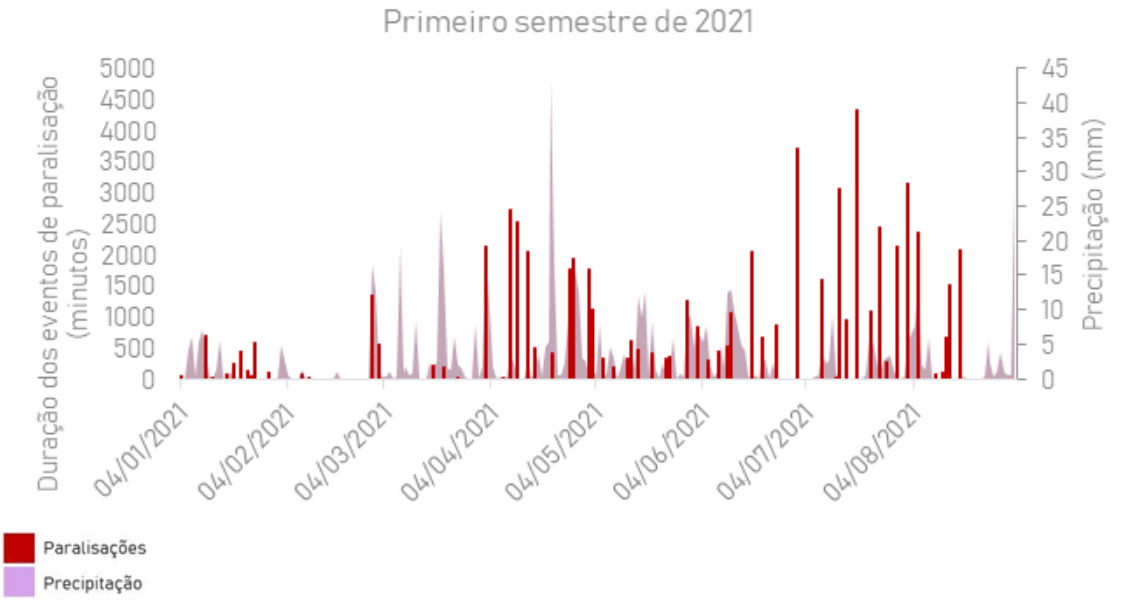
Nesta análise, pode-se dizer que a precipitação alcança valores maiores de correlação em relação aos anos anteriores. Isto se dá em razão do estudo ser feito para um recorte temporal que engloba um período de chuvas intensas de verão nos meses de janeiro e fevereiro, isto é, o primeiro semestre.

Figura 28: Análise de correlação entre a variável Nebulosidade média – Nuvens baixas e Paralisações para o primeiro semestre de 2021



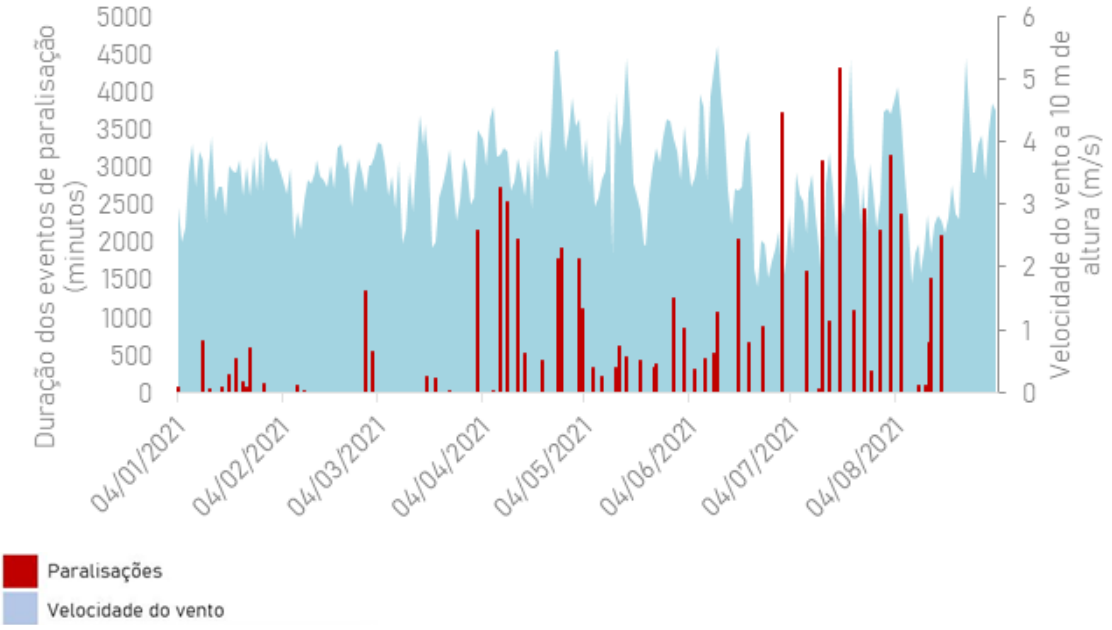
Fonte: elaboração própria

Figura 29: Análise de correlação entre a variável Precipitação e Paralisações para o primeiro semestre de 2021



Fonte: elaboração própria

Figura 30: Análise de correlação entre a variável Velocidade do vento a 10 m de altura e Paralisações para o primeiro semestre de 2021



Fonte: elaboração própria

Sabendo que a correlação entre variáveis climáticas e paralisações não são altamente significativas nas análises realizadas e que o Porto de Aratu não aparenta ter muitos problemas associados a paralisações, sugere-se que por estar posicionado em uma localização bem abrigada, o porto esteja menos exposto às variáveis climáticas estudadas, principalmente às de vento e precipitação.

Outro fator que aumenta a confiança nessa avaliação é a visita técnica que foi realizada no porto no mês de setembro do ano de 2021. Nessa visita, foi apontado pela CODEBA que a Baía de Todos os Santos propicia condições climáticas favoráveis à operação do porto e que a Ilha de Maré serve de proteção ao estuário. Ainda segundo atores ligados à operação do canal, são registradas poucas paralisações em função de chuva forte, neblina, calor ou condições oceanográficas adversas.

4.1.4. Cadeias de impacto

As cadeias de impacto, descritas a seguir, buscam responder à seguinte pergunta norteadora:

- "Qual é a relação de causa-efeito entre as ameaças climáticas e seus possíveis impactos?".

As principais ameaças identificadas para o porto de Santos foram: vendavais, enchentes e inundação fluvial, ressaca, aumento do nível do mar e neblina. Na sequência são apresentadas as respectivas cadeias de impacto.

4.1.4.1. Vendavais

A alteração nos padrões de ventos, dada principalmente pela alteração da temperatura e outras variáveis relacionadas com as mudanças climáticas (MOSER et al., 2018), pode implicar em ventos mais fortes para a região de Aratu, podendo provocar uma série de impactos sobre a operação e danos estruturais ao porto.

Em condições de vento adversas, a Capitania dos Portos determina a paralização de tráfego do canal. Navios e equipamentos precisam ser ancorados para evitar que danos mais extensos sejam observados. Com isso, há também interrupção do processo de embarque e desembarque das cargas nos navios, o que leva a prejuízos econômicos para os terminais privados, arrendados e públicos.

Os ventos podem trazer ondas mais altas e com mais energia à costa e elas podem provocar danos estruturais ao porto, principalmente à acostagem. Isso pode acabar exigindo manutenções mais frequentes, que geram custos maiores à operação dos terminais.

Em geral, a quantidade e tipo de infraestrutura e de equipamentos são fatores de exposição dos portos, uma vez que podem ser afetados por um vendaval em função do seu limite de trabalho a determinadas velocidades de vento. Equipamentos mais modernos conseguem resistir e trabalhar mesmo sob condição de vento, sendo respeitados regras e protocolos de segurança laborais. O sistema de ancoragem de equipamentos mais modernos também evita que eles entrem em colapso ou gerem danos mais severos a outras estruturas. Determinadas cargas processadas no desembarque, com características pulverulentas, tais como alguns fertilizantes agrícolas, gipsita, calcário podem apresentar sensibilidade na operação dos guindastes grabs em função da formação de poeira em suspensão, danosa para a segurança dos funcionários, equipe de apoio e operação do equipamento de desembarque.

O tipo de cadeia logística também é um fator de exposição, uma vez que pode ser paralisada em função de ventos muito fortes, mesmo que não seja na região do porto. Com isso, o escoamento das importações ou o transporte do produto a ser exportado não chegam até o terminal na mesma velocidade em que o terminal trabalha e isso pode gerar interrupção no embarque/desembarque de carga nos navios.

Vale enfatizar aqui que embarcações contam com diferentes portes, pesos e capacidades de carga. Esses fatores são definidos nos aspectos geométricos e construtivos das embarcações, tais como, deslocamento (displacement), comprimento total (LOA: lenght overall), boca e calado. Assim, uma determinada ocorrência de vendaval com uma intensidade pode ser impeditiva para embarcações menores, e não restritiva a embarcações de maior porte.

A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de sensibilidade. Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Adicionalmente, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

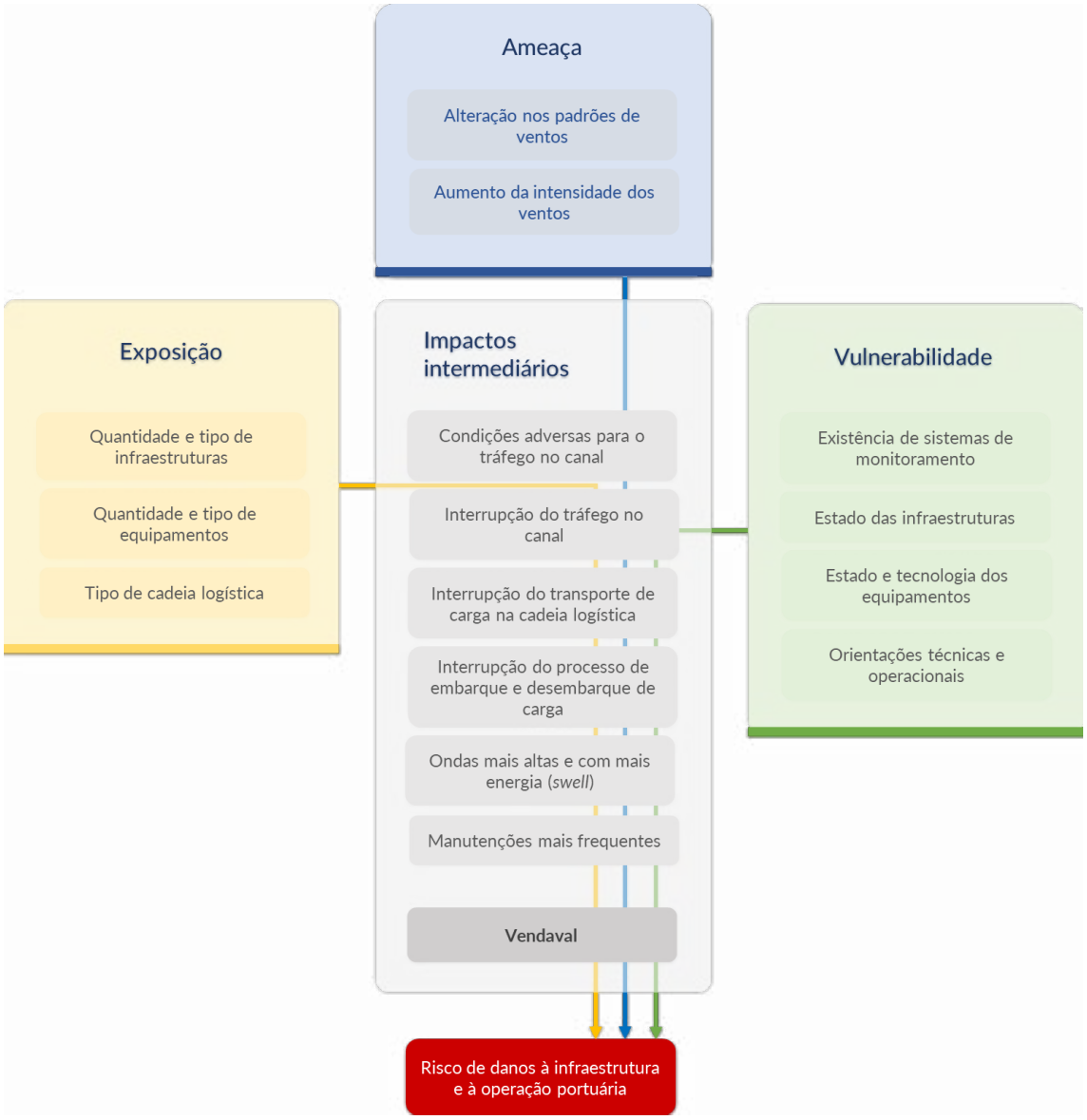
O estado das infraestruturas e dos equipamentos também é um fator fundamental de sensibilidade. Estruturas mais antigas, com problemas estruturais, podem não suportar velocidades de

vento que estruturas modernas suportam e podem sofrer impactos que levam a perdas econômicas.

Segundo informações dos atores-chaves do porto, os vendavais podem causar destelhamentos de terminais, galpões, áreas administrativas, queda de contêineres e paralisação da operação, dadas as restrições de segurança.

Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 31. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto, uma vez que os dados foram validados com os representantes do complexo portuário. Essa validação se deu através de reuniões e entrevistas com o porto.

Figura 31: Cadeia de impacto para vendavais em função da alteração nos padrões de ventos



Fonte: elaboração própria

4.1.4.2. Enchentes e inundação fluvial

Chuvas mais intensas podem causar uma série de impactos às infraestruturas portuárias e, em casos extremos, até mesmo interromper a operação. Em geral, na operação de granéis sólidos, quando há chuva, mesmo que pequena, há interrupção da operação em função da característica da carga (fator de exposição), mas observa-se que a chuva, principalmente quando acompanhada de ventos, pode gerar impactos a algumas infraestruturas. Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 32. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto, uma vez que os dados foram validados com os representantes do complexo portuário. Essa validação se deu através de reuniões e entrevistas com o porto.

Chuvas intensas, e consequentemente as inundações e enchentes, podem provocar tanto interrupções no tráfego do canal de acesso, quanto na cadeia logística e no processo de embarque e desembarque de carga, especialmente se a carga for do tipo granel sólido, que não pode operar com umidade.

A quantidade e tipo de infraestrutura e de equipamentos são fatores de exposição dos portos, uma vez que podem ser afetados por chuvas muito intensas. Especialmente quando acompanhadas de ventos, elas podem causar destelhamento, colapso de estruturas e impedir o trânsito de máquinas e pessoas.

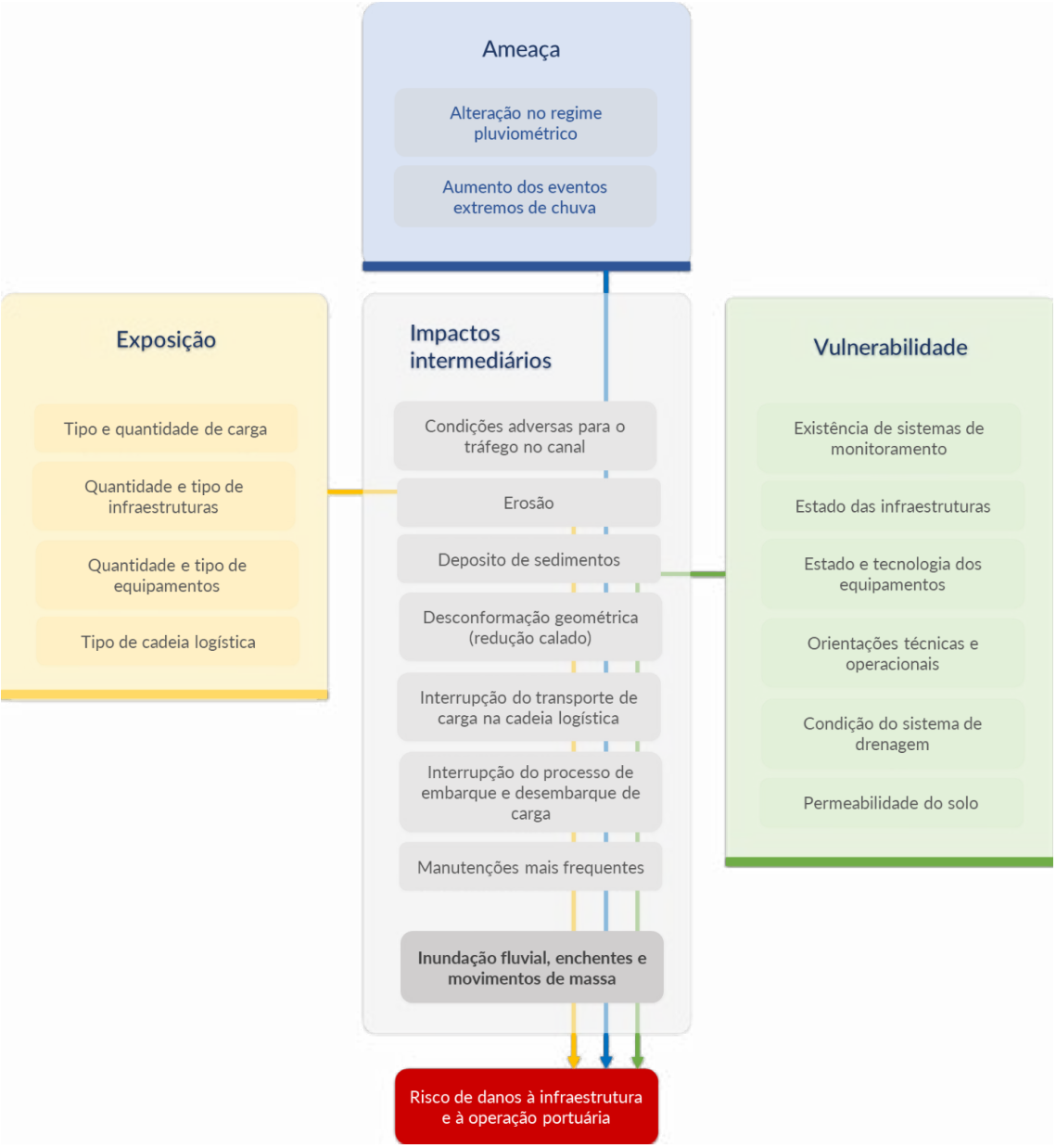
O tipo de cadeia logística também é um fator de exposição, uma vez que pode ser paralisada em função de chuvas muito fortes, mesmo que não seja na região do porto. Inundações do sistema viário ou da via férrea podem afetar a acessibilidade terrestre dos terminais, comprometendo a recepção ou a expedição de cargas marítimas. Com isso, o escoamento das importações ou o transporte do produto a ser exportado, não chega até o terminal na mesma taxa de processamento em que o terminal trabalha e isso pode gerar interrupção no embarque/desembarque de carga nos navios.

A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de vulnerabilidade (ligada à capacidade adaptativa). Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Adicionalmente, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

O estado das infraestruturas e dos equipamentos também é um fator fundamental de sensibilidade. Estruturas mais antigas, com problemas estruturais, podem não suportar chuvas fortes, principalmente aquelas acompanhadas de vento.

Por fim, a permeabilidade do solo da região do porto e as condições de drenagem podem reduzir o escoamento superficial, criando áreas inundáveis, que impedem a passagem de pessoas e máquinas e podem chegar a submergir parcialmente equipamentos importantes para a operação.

Figura 32: Cadeia de impacto para enchentes e inundação fluvial em decorrência de alterações nos regimes pluviométricos



Fonte: elaboração própria

4.1.4.3. Tempestades

Segundo a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA, 2022), três ingredientes básicos são necessários para a formação de uma tempestade: umidade, ar instável ascendente e um mecanismo de elevação para fornecer este "empurrão". Com a formação das correntes de convecção pelo aumento da temperatura da superfície, o ar quente que ascende e chega nas partes mais altas da atmosfera, se condensa, precipita e forma uma instabilidade entre partículas de gelo, que acabam por gerar raios, um dos principais elementos das tempestades.

As tempestades ou ciclones tropicais podem danificar estruturas terminais não reforçadas, como armazéns metálicos leves, grandes superfícies e outros equipamentos portuários (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2011). Além disso, podem causar, em casos extremos, até mesmo a interrupção das operações.

Em geral, na operação de granéis sólidos, quando há chuva, mesmo que pequena, há interrupção da operação em função da característica da carga (fator de exposição), mas observa-se que a chuva, principalmente quando acompanhada de ventos, pode gerar impactos a algumas infraestruturas. Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 33. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto, uma vez que os dados foram validados com os representantes do complexo portuário. Essa validação se deu através de reuniões e entrevistas com o porto.

Tempestades, que podem causar inundações e enchentes, podem provocar tanto interrupções no tráfego do canal de acesso, quanto na cadeia logística e no processo de embarque e desembarque de carga, especialmente se a carga for do tipo granel sólido, que não pode operar com umidade. Adicionalmente, as descargas elétricas das tempestades podem causar incêndios quando raios atingem algumas estruturas, principalmente quando não estão protegidas por para-raios.

A quantidade e tipo de infraestrutura e de equipamentos são fatores de exposição dos portos, uma vez que podem ser afetados por chuvas muito intensas. Especialmente quando acompanhadas de ventos, elas podem causar destelhamento, colapso de estruturas e impedir o trânsito de máquinas e pessoas.

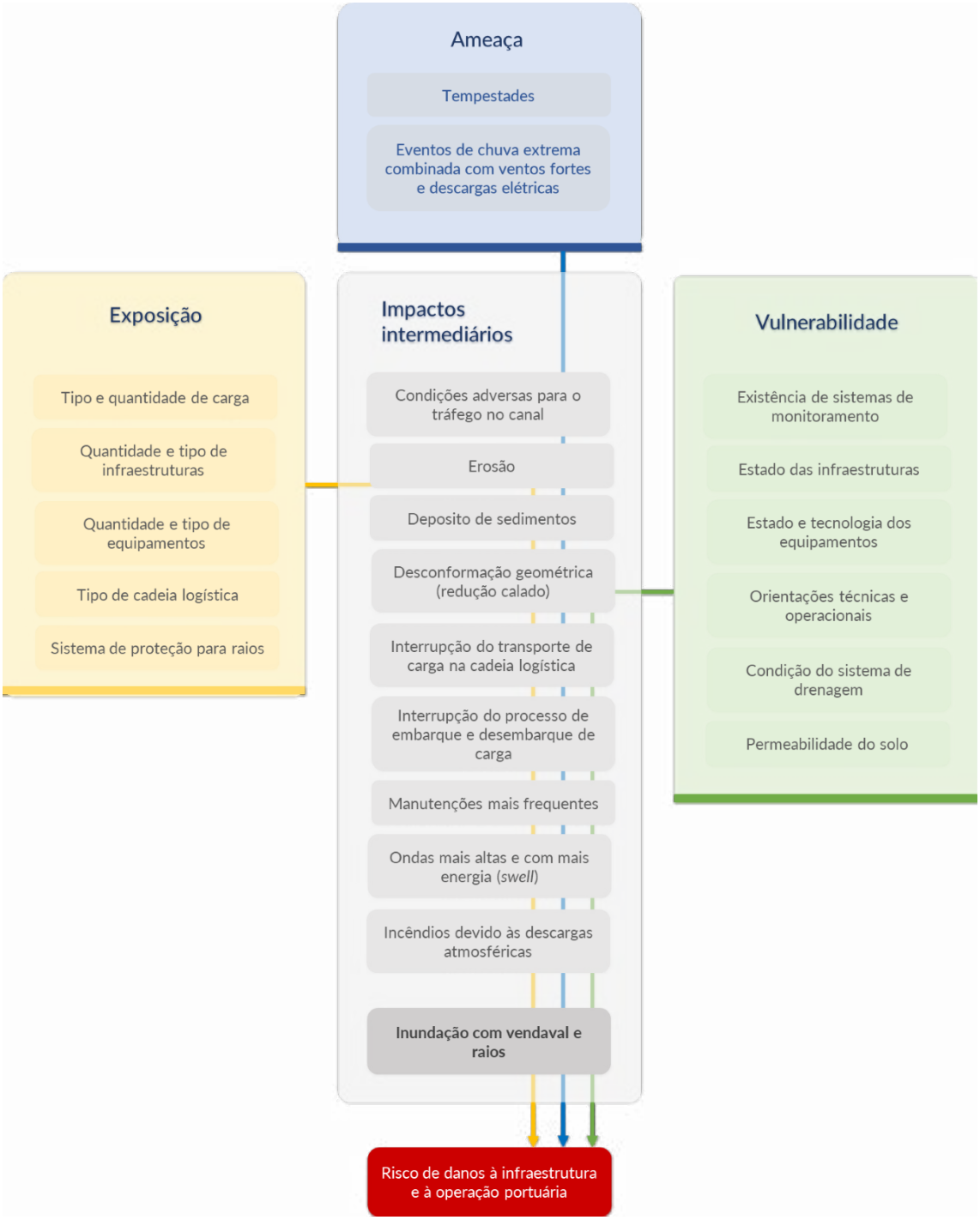
O tipo de cadeia logística também é um fator de exposição, uma vez que pode ser paralisada em função de chuvas muito fortes, mesmo que não seja na região do porto. Inundações do sistema viário ou da via férrea podem afetar a acessibilidade terrestre dos terminais, comprometendo a recepção ou a expedição de cargas marítimas. Com isso, o escoamento das importações ou o transporte do produto a ser exportado, não chega até o terminal na mesma taxa de processamento em que o terminal trabalha e isso pode gerar interrupção no embarque/desembarque de carga nos navios.

A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de vulnerabilidade (ligada à capacidade adaptativa). Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Adicionalmente, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralização do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

O estado das infraestruturas e dos equipamentos também é um fator fundamental de sensibilidade. Estruturas mais antigas, com problemas estruturais, podem não suportar chuvas fortes, principalmente aquelas acompanhadas de vento.

Por fim, a permeabilidade do solo da região do porto e as condições de drenagem podem reduzir o escoamento superficial, criando áreas inundáveis, que impedem a passagem de pessoas e máquinas e podem chegar a submergir parcialmente equipamentos importantes para a operação.

Figura 33: Cadeia de impacto para tempestades



Fonte: elaboração própria

4.1.4.4. Ressaca

O fenômeno da ressaca é a elevação anormal do nível do mar na costa. Pode ser provocada por ondas, marés astronômicas ou marés meteorológicas (storm surge). Geralmente ocorre quando há combinação de mais de um desses fatores, além de ventos fortes favoráveis. Também

acontecem em função de marés de tempestades (storm tide), uma combinação do aumento do nível da água devido à combinação de uma tempestade (chuva e vento) e uma situação de maré astronômica.

O potencial de um evento de ressaca depende da orientação da linha de costa com o trajeto da tempestade (que depende da intensidade, do tamanho e da velocidade da própria tempestade), além da batimetria local (NOAA, s/d; KARIM, MIMURA, 2008; NOAA, 2018).

As ressacas causam problemas de inundações e erosões costeiras, este último sendo um processo natural que pode ser potencializado e até mesmo produzido por processos antrópicos que causam algum desequilíbrio no balanço sedimentar do sistema costeiro (PILKEY et al., 2009; VAN RIJN, 2011).

As ressacas podem gerar uma série de impactos à operação e infraestrutura portuária, principalmente problemas com erosão e depósito de sedimentos, que ao longo dos anos podem prejudicar o calado e obrigar a dragagem do canal. No longo prazo, podem ser necessárias obras para erguer os equipamentos portuários, para evitar o colapso de infraestrutura.

Ressacas podem causar a interrupção do tráfego no canal e do transporte na cadeia logística em áreas próximas à costa e impedir o processo de embarque e desembarque de carga. Além disso, a força da ressaca pode causar danos estruturais que exigirão manutenções mais frequentes.

Dentre as condições de exposição à essa ameaça estão o tamanho da área costeira, que determina a área a ser afetada em eventos do tipo. Adicionalmente a quantidade e tipo de infraestrutura e equipamentos são fatores de exposição, uma vez que podem ser afetados por eventos de ressaca. Elas podem causar colapso de estruturas e impedir o trânsito de máquinas e pessoas.

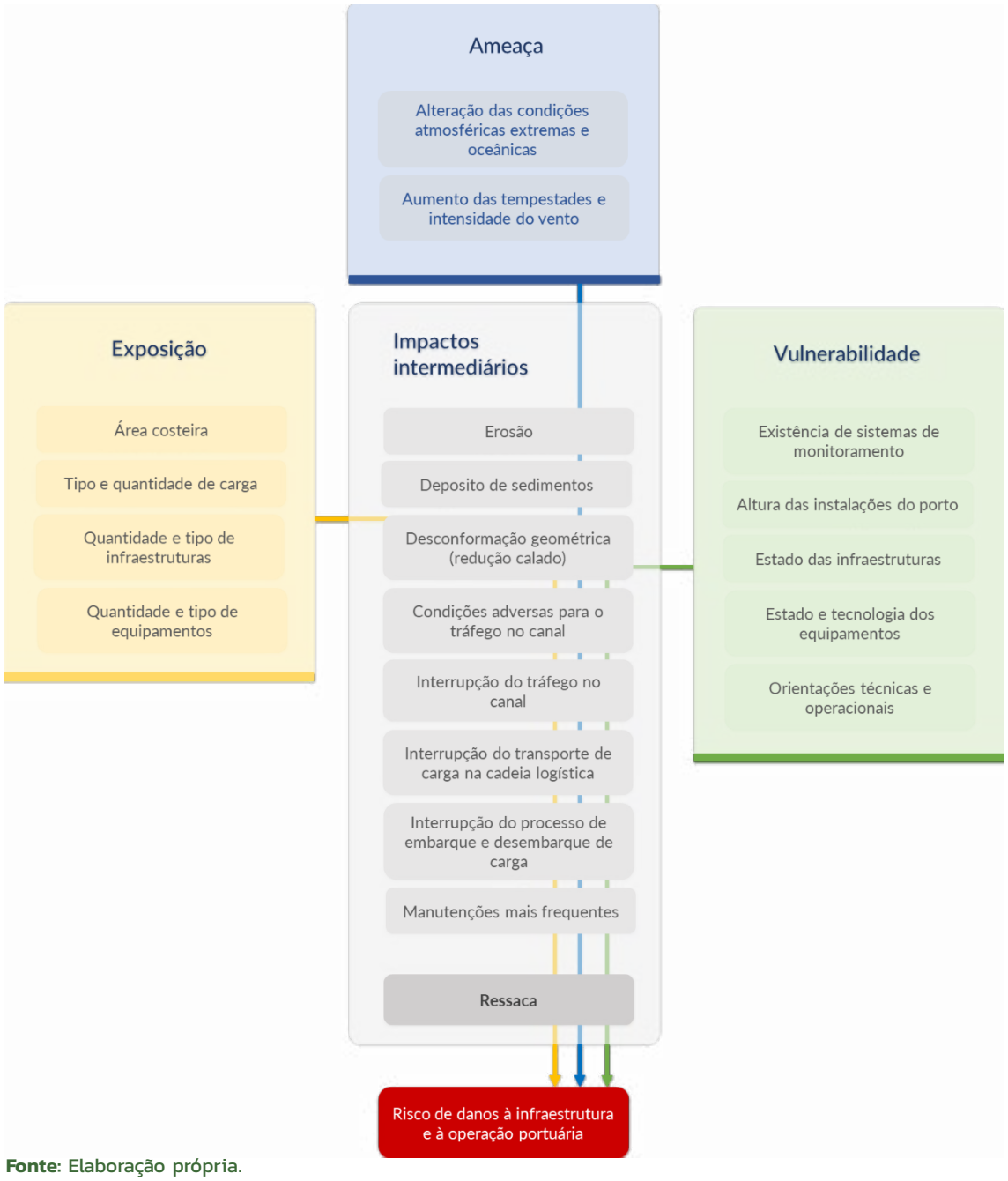
A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de sensibilidade. Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Além disso, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

O estado das infraestruturas e dos equipamentos também é um fator fundamental de sensibilidade. Estruturas mais antigas, com problemas estruturais, podem não suportar eventos de ressaca.

Por fim, a altura das instalações dos portos é também um fator de sensibilidade, uma vez que a ressaca pode gerar ondas de vários metros e pode invadir a área do cais dos terminais, danificando equipamentos e colocando em risco a vida dos operadores.

Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 34. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto.

Figura 34: Cadeia de impacto para ressaca



Fonte: Elaboração própria.

4.1.4.5. Aumento do nível do mar

Para fins de navegação, o nível alto, potencialmente causado pelo aumento do nível do mar, e extremamente baixo do mar tem um interesse prático maior do que o aumento médio do nível do mar. No entanto, para as infraestruturas portuárias, o aumento do nível do mar pode afetar o padrão de serviço, permitindo maior penetração da energia das ondas na costa e nos portos, causando maior erosão costeira e aumentando a salinidade das baías e estuários. Adicionalmente, o aumento do nível do mar também aumenta a frequência e intensidade das ressacas (OPPE-

NHEIMER, 2019) e pode gerar danos estruturais e operacionais a locais onde a infraestrutura portuária não está condicionada à presença de águas e ondas (locais que o mar não alcançava antes). Exemplos disso são as margens de linha de costa paralelas a píeres que podem demandar proteção contra o solapamento de margens, as erosões e a instabilidade geotécnica com a instalação de muros de contenção, proteção com matacos e gabiões ou até mesmo a instalação de estacas pranchas, conforme a condicionante de resistência dos solos.

Uma mudança no nível do mar pode causar a redução do espaço entre os navios e as pontes, aumentar a força das ondas que atacam uma estrutura, aumentar a exposição dos conveses dos cais e píeres, aumentar a taxa de corrosão e a degradação ao longo do tempo de materiais especificamente projetados para uma gama particular de condições (MOSER et al., 2008).

O aumento do nível do mar pode causar a redução da faixa operacional do terminal, o que poderá causar interrupção e danos nas cadeias logísticas adjacentes. Essa condição é agravada pelo fato da presença urbana lindeira à poligonal portuária, reduzindo a expansão no sentido costa. Assim, proteção da infraestrutura portuária se faz por possíveis intervenções de engenharia portuária: (a) aterrar e soerguer os terminais e cais; (b) construção de polderes ao longo do canal de acesso, com distintas cotas de nível de água, uma com o nível crítico e outra com a cota convencional de operação do terminal portuário; (c) instalação de comportas hidráulicas de controle de acesso.

Ademais, poderá haver degradação de materiais que fiquem submersos em eventos de maré alta, que podem sofrer corrosão dada a salinidade da água. Esse tipo de condição poderá exigir manutenções mais frequentes.

Dentre as condições de exposição à essa ameaça estão o tamanho da área costeira, que determina a área a ser afetada pelo aumento do nível do mar. Adicionalmente a quantidade e tipo de infraestrutura e equipamentos são fatores de exposição, uma vez que podem ser afetados por eventos de aumento do nível do mar. Esses eventos podem causar colapso de estruturas e impedir o trânsito de máquinas e pessoas.

A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de sensibilidade. Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Além disso, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

O estado das infraestruturas e dos equipamentos também é um fator fundamental de sensibilidade. Estruturas mais antigas, com problemas estruturais, podem não suportar eventos de inundação costeira.

Por fim, a altura das instalações dos portos é também um fator de sensibilidade, uma vez que a água do mar pode invadir a área do cais dos terminais, danificando equipamentos e colocando em risco a vida dos operadores.

Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 35. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto.

Figura 35: Cadeia de impacto para aumento do nível do mar



Fonte: Elaboração própria.

4.1.4.6. Neblina

A neblina se forma, em geral, quando o ar quente e úmido entra em contato com o solo frio e perde o calor, formando vapor sendo comum em lugares frios e bastante úmidos. Sempre que a umidade relativa de uma massa de ar atmosférico próxima à superfície da Terra atinge mais de 100%, as condições se tornam favoráveis para formar neblina (KLEMM, LIN, 2016).

Em geral, segundo atores-chaves do porto, eventos de neblina não causam danos estruturais im-

portantes, mas podem paralisar a operação, principalmente em razão da redução da visibilidade. A praticagem, responsável pela navegação dos navios nos canais, muitas vezes recebe ordens da Capitania dos Portos para fechar o canal, uma vez que a visibilidade esteja tão baixa a ponto de criar riscos para as instalações portuárias e outros navios.

A interrupção do processo de deslocamento dos navios no canal e sua respectiva ancoragem geram impactos financeiros aos portos, uma vez que a operação nos principais terminais fica parada por falta de navio ancorado. Em casos extremos, mesmo quando ancorado, o processo de embarque e desembarque pode ser suspenso, caso o nível de visibilidade impeça o operador (de um grab, por exemplo) de realizar seu processo e para evitar acidentes em função da baixa visibilidade.

Dentre os fatores de exposição estão o tipo e quantidade de infraestrutura, carga e equipamento, além do tipo de cadeia logística. Essas condições podem determinar se a operação precisa ser paralisada ou não. Por exemplo, no caso da cadeia logística, mesmo que a neblina aconteça fora da região, o escoamento das importações ou o transporte do produto a ser exportado, pode não chegar até o terminal na mesma velocidade em que o terminal trabalha e isso pode gerar interrupção no embarque/desembarque de carga nos navios.

Dentre as condições de sensibilidade, a existência de sistemas de monitoramento é um importante fator. Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto. Além disso, as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação do tráfego no canal e das operações dos terminais, podem garantir maior segurança às operações.

Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 36. Embora tenha sido construída com base na literatura, as considerações obtidas durante a visita técnica indicam que a cadeia de impactos representa um retrato fidedigno da realidade do porto.

Figura 36: Cadeia de impacto para neblina



Fonte: Elaboração própria.

5.1.4.5 Ondas de calor

Segundo o IPCC (2021) os eventos de ondas de calor marinhas dobraram de frequência desde os anos 80 (alta confiança). Esses eventos devem ficar mais intensos e mais frequentes no futuro em função da mudança do clima. O processo de urbanização deve contribuir para aumentar ainda mais a percepção do calor, uma vez que a substituição das coberturas naturais do solo por grande quantidade de casas e prédios, ruas asfaltadas e uma série de outras construções produzem um maior aquecimento local (GARTLAND, 2010). O porto de Aratu, apesar de locali-

zado fora da conurbação urbana de Salvador, pode, ainda assim, observar eventos extremos de ondas de calor.

As ondas de calor são um fenômeno climático que é caracterizado por períodos de calor intenso e com duração de vários dias. Segundo o Plano de Ação Climática da cidade de Salvador lançado em 2020, as ondas de calor devem provocar efeitos principalmente sobre a saúde de crianças, idosos, doentes e pobres.

Em geral, ondas de calor não têm grandes efeitos sobre os portos, mas podem criar problemas na saúde das pessoas que se encontram na operação. É também um risco para transporte de carga viva e gera maior consumo de energia para cargas que precisam ser refrigeradas. Adicionalmente, pode ser importante para cargas com risco de explosão, como enxofre, muito embora esse tipo de carga não tenha sido observado no porto de Aratu.

Ressalta-se que a área litorânea possui características de clima local muito relevantes para amenização dos efeitos das ilhas de calor. Detém efeito de brisas marítimas importantes que conferem frescor através de ventos que circulam do oceano Atlântico e da Baía de Todos-os-Santos em direção ao continente. Portanto, até o momento não representam grandes riscos à operação portuária em Aratu, mas com o aumento da temperatura média global, esse panorama pode mudar.

Dentre os fatores de exposição estão o tipo e quantidade de carga, principalmente se a carga necessitar refrigeração ou for sensível à temperatura, como carga viva. Adicionalmente, a quantidade e tipo de infraestrutura e equipamentos também são fatores de exposição, uma vez que podem ser afetados por eventos por ondas de calor, principalmente se não houver refrigeração para os operadores.

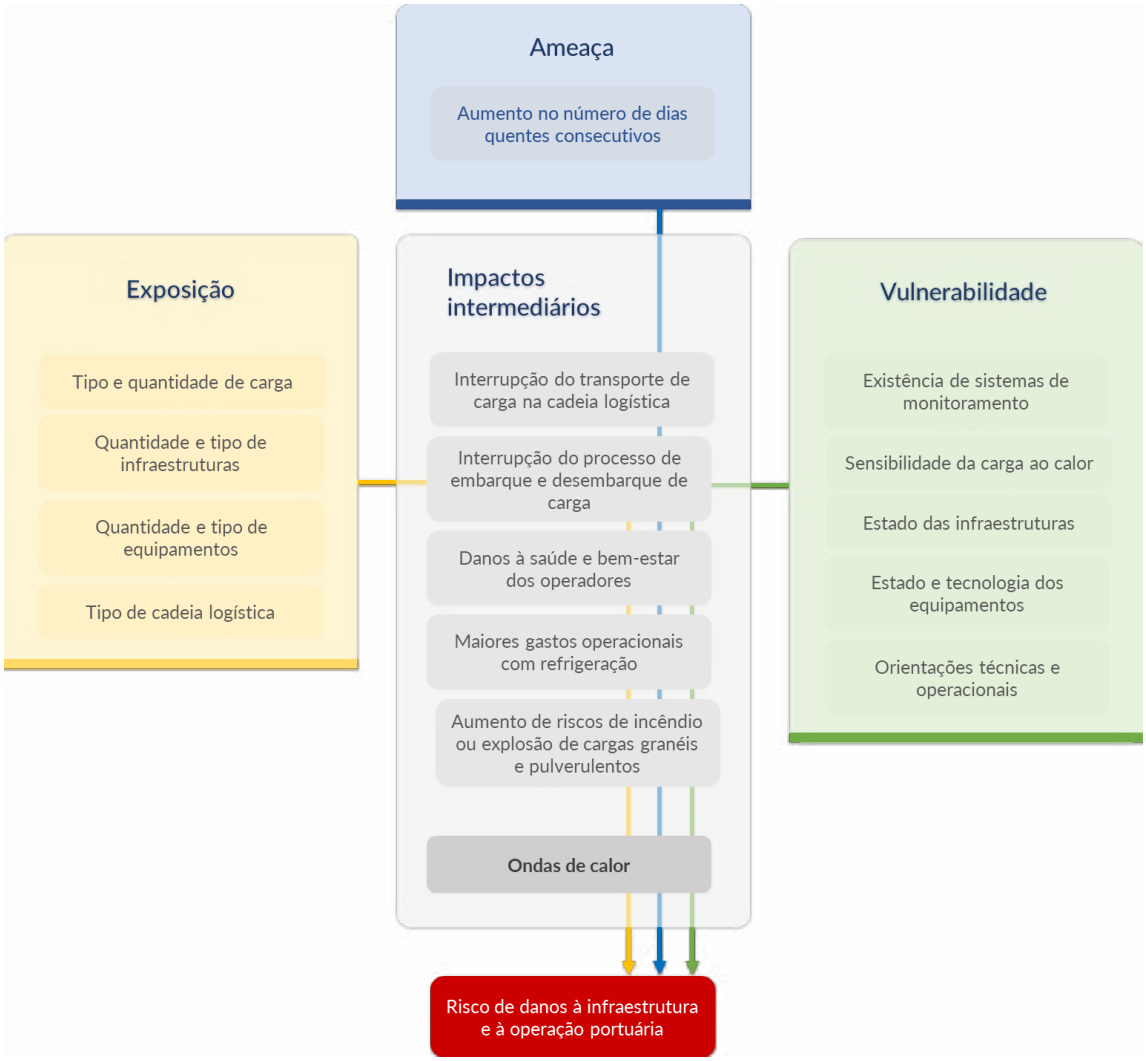
O tipo de cadeia logística também é um fator de exposição, visto que ondas de calor extremas poderiam afetar o trânsito nas estradas, dutos e ferrovias. Há ainda o risco acentuado de incêndio próximo a esses locais, o que provoca risco de interrupção.

A existência de sistemas de monitoramento é um importante fator de sensibilidade. Terminais que possuem meteorologia dedicada podem planejar toda a sua cadeia logística em função de um evento climático extremo que esteja previsto.

Outros fatores de sensibilidade são o estado das infraestruturas e de equipamentos e as orientações técnicas e operacionais, principalmente relacionadas à paralisação das operações dos terminais.

Os impactos e fatores de exposição e vulnerabilidade são apresentados na Figura 37.

Figura 37: Cadeia de impacto para ondas de calor



Fonte: elaboração própria

4.1.5. Identificação da relação entre infraestruturas e ameaças climáticas

As informações descritas a seguir buscam responder à seguinte pergunta norteadora:

- "Quais são as variáveis climáticas que afetam cada elemento da infraestrutura e da superestrutura?"

Como o porto não possui informações sobre relações de causalidade entre ameaças climáticas e impactos em infraestruturas e superestruturas, foi feita uma adaptação para responder a seguinte pergunta:

- "Quais são as variáveis climáticas que podem afetar cada elemento da infraestrutura e da superestrutura?".

Com base nas trocas realizadas com os atores-chaves do Porto de Aratu durante a visita técnica, nos elementos destacados nas cadeias de impacto e na identificação e priorização das ameaças climáticas, as infraestruturas de interesse são relacionadas a seguir com as ameaças climáticas.

Canal de Acesso

- Canal Aratu-Candeias 200m x 18m x 6.300m
- Canal Cotegipe (Aratu - Ponta da Matanga) 110m x 3960m
- Canal Baia de Todos os Santos (Ponta de Santo Antônio - Monte Serrat) 200m x 20m x 20.000m

De acordo com as informações coletadas durante a visita técnica e com base nos dados encaminhados pela autoridade portuária do Porto de Aratu, elaborou-se a Tabela 14, que associa eventos climáticos com possíveis danos operacionais e de infraestrutura.

Tabela 14: Potenciais impactos climáticos nos canais de acesso

		Dano Operacional			Dano Infraestrutura		
		Interrupção do Tráfego no Canal	Redução da estiva dos navios*	Encalhe de Embarcações*	Desconformação geométrica (redução calado)	Rompimento ancoragem das bóias/ balizamento	Dano funcional a faroletes, sinalização e balizamento
Evento Climático Crítico	Chuva				X		
	Chuva Torrencial				X		
	Tempestade	X			X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X			X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial						
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas						X

***Esse** dano conta com o evento climático declarado e interferindo nos processos de sedimentação do canal por processos erosivos do mesmo ou das bacias de contribuição que carreiam material sólido para o canal
Fonte: elaboração própria

Bacia de Evolução

- Bacia de Evolução TGS II
- Bacia de Evolução TGS I e TGL
- Bacia de Evolução TGP

De acordo com as informações coletadas durante a visita técnica e com base nos dados encaminhados pela autoridade portuária do Porto de Aratu, elaborou-se a Tabela 15, que associa

eventos climáticos com possíveis danos operacionais e de infraestrutura.

Tabela 15: Potenciais impactos climáticos nas bacias de evolução

		Dano Operacional			Dano Infraestrutura	
		Interrupção das manobras das embarcações	Redução da estiva dos navios*	Encalhe de Embarcações*	Desconformação geométrica (redução calado)	Desconformação geométrica (planimetria)
Evento Climático Crítico	Chuva				X	X
	Chuva Torrencial				X	X
	Tempestade	X			X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X			X	X
	Ressaca					
	Inundação Pluvial					
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

*Esse dano conta com o evento climático declarado e interferindo nos processos de sedimentação do canal por processos erosivos do mesmo ou das bacias de contribuição que carreiam material sólido para o canal
Fonte: Elaboração própria

Píeres e Terminais – TGS I, TGS II, TGL e TPG

De acordo com as informações coletadas durante a visita técnica e com base nos dados encaminhados pela autoridade portuária do Porto de Aratu, elaborou-se as Tabela 16 e Tabela 17, que associam eventos climáticos com possíveis danos operacionais e de infraestrutura nas áreas que englobam o Terminal de Granéis Sólidos I – TGS I, Terminal de Granéis Sólidos II - TGS II, Terminal de Granéis Líquidos – TGL e Terminal de Produtos Gasosos - TPG.

Nesta parte da análise, foi realizada uma aglutinação dos aspectos gerais de possíveis danos às infraestruturas de acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário por ameaças climáticas definidas a partir de consenso com os portos. Todos os detalhamentos de danos nessas infraestruturas são apresentados no ANEXO A e apontam impactos específicos conforme as particularidades de cada terminal.

De maneira geral, nas áreas dos terminais TGS I, TGS II, TGL e TPG, sob o aspecto operacional da infraestrutura de acostagem, observou-se um risco potencial de impacto de eventos críticos de chuvas, tempestades e inundações pluviais sobre às operações e ao estaiamento dos navios, além de potencial soltura dos cabos, a depender das condições climáticas. Sob o aspecto de danos às infraestruturas, entende-se que a acostagem pode ser impactada por tempestade, ventos

críticos e aumento do nível do mar, que podem causar desde danificação dos cabeços e defensas até colapso do cais corrido.

Em relação aos equipamentos, entende-se que, operacionalmente, há potencial de interrupção do embarque e desembarque por eventos climáticos críticos que vão desde chuvas, ventos, tempestades até inundação e aumento do nível do mar. Por outro lado, estruturalmente há risco de colapso dos guindastes, colisão das embarcações com equipamentos e quebras constantes de equipamentos em situações críticas de ventos críticos, inundação pluvial e altas temperaturas.

Nas infraestruturas de armazenamento, o dano operacional aponta para a potencial interrupção da movimentação de carga (recebimento e expedição) por eventos climáticos críticos de chuva torrencial, tempestade e ventos críticos. No que tange aos danos estruturais, o armazenamento pode sofrer colapso estrutural do concreto armado ou metálico dos armazéns, silos e pátios, colapso geotécnico de pátios, tanques e adjacências, destelhamento, inundação de armazéns e quebra de coberturas por eventos climáticos críticos de chuva, chuva torrencial, tempestade, ventos críticos e inundações.

Por fim, o sistema viário apresenta riscos de danos operacionais de interrupção do tráfego terrestre na poligonal portuária por eventos climáticos críticos de tempestade, chuva torrencial e inundação pluvial. A respeito dos danos às infraestruturas, o sistema viário possui risco de sofrer colapso estrutural e/ou geotécnico do pavimento, redução da vida útil das estruturas sem perda funcional, inundação de pátios ou docas de recepção/expedição, entre outros também por eventos críticos de chuva torrencial, tempestade e inundação pluvial.

Tabela 16: Potenciais impactos climáticos associados à operação anos dos Píeres e Terminais

		Danos Operacionais			
		Acostagem	Equipamentos	Armazenamento	Sistema Viário
Evento Climático Crítico	Chuva	X	X		
	Chuva Torrencial	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	
	Ressaca				
	Inundação Pluvial				X
	Inundação Fluvial				
	Aumento do Nível do Mar				
	Neblina				
	Altas Temperaturas				

Fonte: elaboração própria

Tabela 17: Potenciais danos causados por eventos climáticos nos Píeres e Terminais

		Danos às Infraestruturas			
		Acostagem	Equipamentos	Armazenamento	Sistema Viário
Evento Climático Crítico	Chuva			X	
	Chuva Torrencial			X	X
	Tempestade	X		X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	
	Ressaca				
	Inundação Pluvial		X	X	X
	Inundação Fluvial				
	Aumento do Nível do Mar	X			
	Neblina				
	Altas Temperaturas		X	X	

Fonte: elaboração própria

4.2. Levantamento da Probabilidade das Ameaças Climáticas

4.2.1. Informações climáticas customizadas

4.2.1.1. Tendências observadas

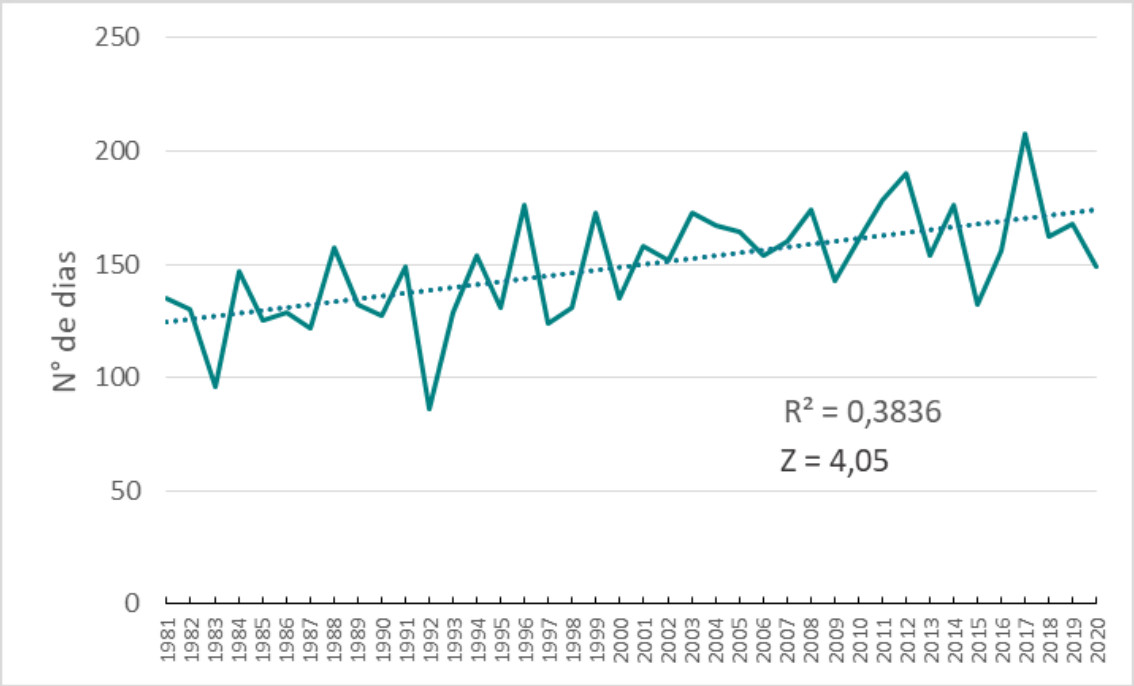
Essa seção responde às seguintes perguntas norteadoras:

- "Com base nos modelos de clima e indicadores genéricos, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?" e
- "Com base nos modelos de clima e indicadores customizados, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?".

Ventos extremos

A nível global, observou-se nas últimas décadas uma tendência de aumento da velocidade do vento, principalmente para ventos extremos (YOUNG et al., 2011). Pes et al. (2017) identificaram um aumento na frequência de ventos extremos nas últimas décadas na maior parte do Brasil. Em Aratu, dados observacionais derivados de reanálise mostram uma tendência de aumento de vento médio na ordem de +0,1 m/s por década. A análise de tendência customizada para Aratu detectou um aumento estatisticamente significativo na frequência de ventos moderados (> 3m/s, W3ms) nas últimas décadas (Figura 38). Para frequência de ventos fortes (> 7 m/s e 10 m/s, W7ms e W10ms), não foram detectadas tendências estatisticamente significativas.

Figura 38: Série histórica de número de dias com vento fraco à forte (> 3 m/s) Aratu de 1981 a 2020 a partir de dados de reanálise do ERA5.



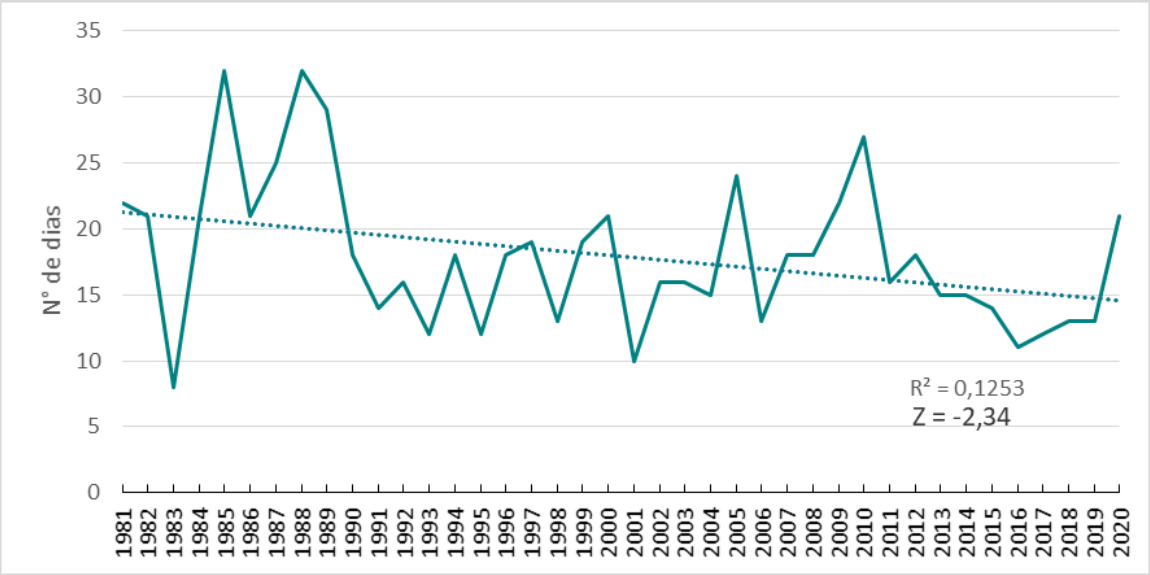
Fonte: Adaptado de COPERNICUS, 2022.

Chuvas

A ocorrência de chuvas limita a operação de graneis sólidos, uma das principais cargas movimentada pelo Porto de Aratu (ANTAQ, 2021a). A nível global, a mudança termodinâmica induzida pelo aquecimento global resulta em um aumento na precipitação extrema, a uma taxa que segue a relação Clausius-Clapeyron, a qual especifica que a capacidade de retenção de água na atmosfera tem relação com a temperatura (7% de retenção para cada 1°C adicional). Os extremos de precipitação também são afetados por outros mecanismos, tais como orografia, sistemas de circulação atmosférica, aerossóis, uso e cobertura do solo e urbanização. Existem evidências robustas da intensificação da precipitação extrema em escalas global e continental. No entanto, em algumas regiões a chuva pode diminuir (SENEVIRATNE et al., 2021).

Em Aratu, dados observacionais mostram uma tendência de diminuição de chuva total anual na ordem de -0,2 a -0,4 mm/dia por década, a depender do produto global de clima. A análise de tendência customizada para Aratu usando dados observacionais detectou uma diminuição estatisticamente significativa na frequência de dias com chuva forte (> 20 mm, R20mm) nas últimas décadas (Figura 39). Para frequência de dias com chuva persistente (> 1 mm, R1mm) e duração de chuva (Consecutive Wet Days – CWD), não foi constatada tendência estatisticamente significativa.

Figura 39: Série histórica de número de dias com chuva forte (> 20 mm) no Porto de Aratu de 1981 a 2020 a partir de dados do CHIRPS.



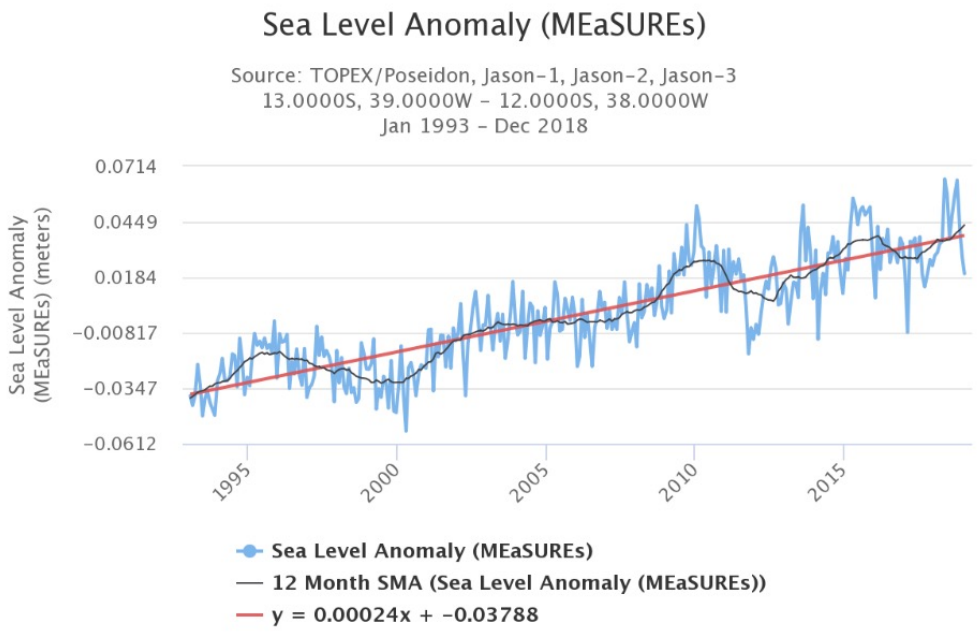
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de FUNK et al. (2015).

Aumento do nível do mar

O Porto de Aratu já sofreu um impacto estrutural leve no berço devido a um evento de nível extremo do mar (ANTAQ, 2021a). O aumento do nível do mar aumenta a magnitude de inundações costeiras, ressacas e nível extremo do mar, além de acelerar a erosão costeira (OPPENHEIMER et al., 2019), podendo danificar infraestruturas como berços de atracação, pátios de armazenagem, armazéns e acessos rodoviários (ANTAQ, 2021a).

Não há dúvidas de que o nível médio global do mar está subindo e acelerando e que as principais contribuições para esse aumento são a expansão térmica e o derretimento de geleiras e mantos de gelo da Antártica e da Groenlândia devido ao aquecimento global (OPPENHEIMER et al., 2019). Em Aratu, dados observacionais mostram um aumento do nível médio do mar de aproximadamente 7 cm no período de 1993 a 2018 (Figura 40).

Figura 40: Anomalia do nível do mar para o período de 1993-2018 na ona do Porto de Aratu



Fonte: NASA, 2022a

4.2.1.2. Cenários de mudança do clima e concordância entre os modelos

Essa seção responde às seguintes perguntas norteadoras:

- "Com base nos modelos de clima e indicadores customizados, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?"
- "Qual é o nível de concordância (%) entre as projeções dos modelos de clima quanto ao sinal de mudança?"; e
- "Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?".

A Tabela 18 apresenta dados de frequência dos indicadores climáticos selecionados, tanto para dados observacionais quanto para as projeções climáticas, representadas pela anomalia média dos modelos.

Adicionalmente, são apresentados o percentual de concordância entre os modelos utilizados. Foram destacados, pela cor verde, os níveis de concordância dos modelos que apresentaram mais de 66,7% de concordância, informação utilizada para definir o nível de confiança das informações climáticas (Seção 4.2.2.2). Mais detalhes sobre os cenários de mudança do clima para ameaças de Ventos, Chuvas e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar, úteis para determinação dos níveis de confiança, são apresentados no APÊNDICE D.

Tabela 18: Resumo das condições climáticas observadas e das projeções futuras

Ameaça	Indicador	Baseline (1981 – 2000)		Tendência (1981 – 2020)	ANOMALIA											
					Curto Prazo (2021-2040)				Médio Prazo (2041-2060)				Longo Prazo (2081-2100)			
					SSP2		SSP5		SSP2		SSP5		SSP2		SSP5	
		Número	Unidade		Média	% Concor-dância	Média	% Concor-dância	Média	% Concor-dância	Média	% Concor-dância	Média	% Concor-dância	Média	% Concor-dância
Vento Fraco (8 nós)	W3ms	40,3	dias/ano	++	17,7	100,0	-5,0	60,6	13,0	80,8	-4,9	50,5	22,6	90,9	-3,6	70,7
Vento Moderado (15 nós)	W7ms	0,0	dias/ano	-	0,0	40,4	6,8	80,8	-0,2	40,4	6,7	80,8	-0,2	40,4	6,0	60,6
Vento Forte (39 nós)	W10ms	0,0	dias/ano	+	0,0	10,1	0,2	50,5	0,0	10,1	0,2	50,5	0,0	10,1	0,2	60,6
Chuva Persistente (1 mm)	R1mm	105,8	dias/ano	-	-11,2	80,0	-11,5	100,0	-9,0	60,0	-21,5	100,0	-17,4	80,0	-40,9	100,0
Chuva Forte (20 mm)	R20mm	17,4	dias/ano	--	-0,2	60,0	0,0	41,6	3,4	50,0	-0,2	58,3	0,7	70,0	-0,3	66,6
Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar	ANM	0,00	m	++	0,10	83,0	0,10	83,0	0,21	83,0	0,24	83,0	0,50	83,0	0,65	83,0

Legenda:

- Nível de concordância maior ou igual a 66,7%.
- Tendências de aumento estatisticamente significativa
- Tendências de redução estatisticamente significativa
- \+ Positivo, mas não estatisticamente significativo
- ++ Positivo e estatisticamente significativo (intervalo de confiança de 95%)
- \- Negativo, mas não estatisticamente significativo
- -- Negativo e estatisticamente significativo
- NA Não aplicável

4.2.2. Probabilidade das ameaças climáticas

4.2.2.1. Probabilidades de ocorrência das ameaças climáticas

Com base nos resultados observados na Seção 4.2.1.2 Cenários de mudança do clima e concordância entre os modelos e na escala de probabilidade definida na Seção 3.3.6.1. Escala de probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas, realizou-se a classificação de probabilidade para o Porto de Santos, como pode ser observado pela Tabela 19.

Tabela 19: Classificação de probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas no Porto de Aratu

		Linha de Base (1981-2000)	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
			SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5
Ameaça	**Indicador**	**Nota**	**Nota**					
Vento Fraco (8 nós)	W3ms	4	4	4	4	4	4	4
Vento Moderado (15 nós)	W7ms	1	1	3	1	3	1	3
Vento Forte (39 nós)	W10ms	1	1	1	1	1	1	1
Chuva Persistente (1 mm)	R1mm	5	5	5	5	5	5	4
Chuva Forte (20 mm)	R20mm	3	3	3	4	3	3	3
Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar	ANM	1	1	1	2	2	2	2

1 – Quase nunca; 2 - Raramente; 3 – Ocasionalmente; 4 - Frequentemente; 5 – Muito frequentemente

Fonte: elaboração própria

Vento Fraco (3 m/s)

Observa-se que o indicador Vento Fraco (3m/s) apresenta classificação de probabilidade de acontecer 'Frequentemente'. Esse índice não teve o nível de probabilidade modificado para os cenários dos horizontes futuros.

Vento Moderado (7 m/s)

Observa-se que o indicador Vento Moderado (7 m/s) apresentou probabilidade de acontecer 'Quase nunca' no período de base. Os cenários SSP5 dos horizontes futuros aumentaram seu nível de probabilidade em dois pontos, tornando-se 'Ocasionais'. O cenário SSP2, por sua vez, manteve-se no mesmo nível de probabilidade da linha de base.

Vento Forte (10 m/s)

Em relação ao indicador climático Vento Forte (10 m/s), observou-se que o nível de probabilidade é acontecer 'Quase nunca', tanto para a climatologia observada quanto para as projeções futuras.

Chuva persistente (1 mm)

Para o indicador climático de Chuva Persistente (1 mm), verifica-se uma classificação de probabilidade de acontecer 'Muito frequentemente' na climatologia de base. Nos cenários futuros, esse nível de probabilidade permanece o mesmo para os cenários SSP2. Para o cenário SSP5, a probabilidade também se mantém a mesma da linha de base, com exceção do período entre 2081-2100. Nesse período, há uma redução de um nível, tornando-se um evento que pode ocorrer 'Frequentemente'.

Chuva Forte (20 mm)

Avaliando o de Chuva Forte (20 mm), verifica-se uma probabilidade de acontecer 'Ocasionalmente' na linha de base e nos horizontes futuros. No cenário SSP2 no horizonte 2041-2060 o valor passa a uma probabilidade de acontecer 'Frequentemente'.

Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar

A probabilidade de acontecer é de 'Quase nunca' para o indicador durante os anos da linha de base (1981 a 2000). Avaliando os cenários, é possível dizer que o nível de probabilidade aumenta ao longo do tempo, com a classificação ocorrendo 'Raramente' a partir do período de 2041-2060.

4.2.2.2. Nível de confiança das informações climáticas

A seguir apresentam-se os níveis de confiança verificados de acordo com os horizontes temporais definidos:

Período 2021 – 2040

Os resultados para o período 2021-2040 são observados na Tabela 20:

Tabela 20: Nível de confiança para o período de 2021 a 2040

Indicador	Projeções	Concordância	Tendência	Literatura	Nível de confiança
W3ms	Aumento no SSP2 e redução no SSP5	Sim no SSP2 Não no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Moderado no SSP5
W7ms	Se mantem estável no SS2 e aumenta no SSP5	Não no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Moderado no SSP5
W10ms	Se mantem estável no SS2 e leve aumento no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Aumento	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Baixo no SSP5
R1mm	Diminuição em todos os cenários	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Moderado no SSP2 Moderado no SSP5
R20mm	Diminuição no SSP2 e mantém-se estável no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Diminuição e significativo	Diminuição	Moderado no SSP2 Moderado no SSP5
ANM	Aumento em todos os cenários	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Alto no SSP5

Fonte: elaboração própria

Período 2041–2060

Os resultados para o período 2041-2060 são observados na Tabela 21:

Tabela 21: Nível de confiança para o período de 2041 a 2060

Indicador	Projeções	Concordância	Tendência	Literatura	Nível de confiança
W3ms	Aumento no SSP2 e redução no SSP5	Sim no SSP2 Não no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Moderado no SSP5
W7ms	Diminuição no SS2 e aumenta no SSP5	Não no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Moderado no SSP5
W10ms	Se mantem estável no SS2 e leve aumento no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Aumento	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Baixo no SSP5
R1mm	Diminuição em todos os cenários	Não no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Moderado no SSP5
R20mm	Aumento no SSP2 e leve redução no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Diminuição e significativo	Diminuição	Moderado no SSP2 Moderado no SSP5
ANM	Aumento em todos os cenários	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Alto no SSP5

Fonte: elaboração própria

Período 2081-2100

Os resultados para o período 2081-2100 são observados na Tabela 22:

Tabela 22: Nível de confiança para o período de 2081 a 2100

Indicador	Projeções	Concordância	Tendência	Literatura	Nível de confiança
W3ms	Aumento no SSP2 e redução no SSP5	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Alto no SSP5
W7ms	Diminuição no SS2 e aumenta no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Baixo no SSP5
W10ms	Se mantem estável no SS2 e leve aumento no SSP5	Não no SSP2 Não no SSP5	Aumento	Sem mudança clara	Baixo no SSP2 Baixo no SSP5
R1mm	Diminuição em todos os cenários	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição	Sem mudança clara	Moderado no SSP2 Moderado no SSP5
R20mm	Aumento no SSP2 e leve redução no SSP5	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Diminuição e significativo	Diminuição	Alto no SSP2 Alto no SSP5
ANM	Aumento em todos os cenários	Sim no SSP2 Sim no SSP5	Aumento e significativo	Aumento	Alto no SSP2 Alto no SSP5

Fonte: elaboração própria

4.3. Levantamento das Infraestruturas Portuárias e Severidade

4.3.1. Inventário das infraestruturas de interesse do porto

A navegação nos canais é regulamentada pelas Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos da Bahia. A partir da interpretação dessa base normativa e de informações obtidas em consultas e reuniões de trabalho com operadores - Autoridade Portuária, Capitania dos Portos e Praticagem - temos que os principais eventos que impactam na operação estão relacionados a ventos, que podem ocasionar o fechamento do Canal Externo, paralisando por consequência o Canal Interno.

Os maiores impactos provenientes de eventos climáticos extremos que as infraestruturas do "lado água", tais como, Canal Externo, Canal Interno, Fundeadouros e Bacias de Evolução, podem sofrer estão relacionados ao aumento da intensidade e recorrência dos ventos e a processos de sedimentação nas infraestruturas.

O sistema de sinalização náutica é composto por 24 boias de delimitação do canal (boias verdes a boreste e boias vermelhas a bombordo), conforme a carta náutica 1104. Como sinalização complementar e de indicação de margem ou obstáculos à navegação, há 13 faroletes. Para o sistema de sinalização náutica do Porto de Aratu, a principal ameaça refere-se ao aumento do

nível do mar. No caso da ocorrência dessa ameaça, ocorrerá a necessidade da realocação dos faroletes para cotas mais altas e troca de cabeamento de ancoragem das boias, para atender a ancoragem em maior profundidade.

No PDZ do Porto de Aratu são apresentadas informações descritivas de extensão, área útil e capacidades volumétricas de berços, edificações e infraestruturas de armazenagem. Porém não são apresentadas informações relacionadas a alturas de edificações e cotas em relação ao nível médio do mar.

O Porto de Aratu caracteriza-se pela instalação dos berços em estruturas píeres, em quatro instalações destinadas à movimentação de cargas granel sólido, granel líquido e gasosos. Não há informações disponibilizadas no PDZ e pela Autoridade Portuária sobre as cotas de crista dessas estruturas e a altura livre entre a crista e o nível d'água médio.

As possíveis inundações decorrentes do aumento do nível do mar acarretariam paralisação operacional e danos à infraestrutura via aceleração da deterioração das estruturas de acostagem, abrangendo a redução da vida útil do concreto armado, o solapamento e o processo erosivo das margens, a criação de tensões pelo nível d'água nas estruturas da ponte de acesso, a colmatação do solo e a perda de resistência geotécnica do solo na linha do cais e a ocorrência de recalques de solo e piso. No caso das defensas e cabeços submersos, poderá ocorrer a perda do tratamento superficial da peça e aceleração da oxidação das peças.

O sistema de tubulações, válvulas de alívio, registros e demais dispositivos necessários a transferência de granéis líquidos e gasosos entre os tanques ou esferas aos navios necessitarão de realocação para cotas mais elevadas em caso de inundações. Limitações técnicas, regras de salvaguarda ambiental e condições de segurança não permitem que esses equipamentos de transferência operem submergidos.

As edificações administrativas-operacionais dos arrendatários e os sistemas de armazenamento constituem construções civis diversas. As áreas administrativas, geralmente anexas ao conjunto de pátio e armazéns, são edificações comuns, geralmente baixas, sem grande volume arquitetônico e executadas em concreto armado com cobertura convencional.

A edificação da Autoridade Portuária encontra-se em cota elevada, estando assim resguardada de possíveis problemas oriundos do aumento do nível do mar. Do outro lado, edificações administrativas dos operadores encontram-se inseridas nas poligonais em cota mais baixa, próxima ao mar.

Por outro lado, as infraestruturas de armazenagem possuem características de projeto e adequação ao perfil de carga que operam. A mais simples existente no Porto de Aratu é o pátio aberto para granel sólido. Uma significativa preocupação direcionada a essas infraestruturas, refere-se a um sistema de drenagem eficiente e rápido, capaz de atender chuvas estimadas de projeto.

Outras estruturas de armazenagem para granéis sólidos são os armazéns horizontais e silos verticais de concreto armado que se encontram desativados. Granéis líquidos e gasosos são acondicionados em tanques e esferas geralmente metálicas, resistentes a ações químicas dos produtos armazenados. Todas essas estruturas construtivas contam com significativo volume

arquitetônico, possuindo área vélica sensível à ação dos ventos. Ventos também podem agir no empuxo e arranque de cobertura.

Complementarmente inundações, além do prejuízo da perda da carga em si, podem gerar deterioração de pisos, saturação dos solos por água, podendo acarretar recalques de pilares e fissuras que podem levar ao desmoronamento de paredes e muros.

Este trabalho realizou investigação junto aos operadores e à Autoridade Portuária quanto aos danos às infraestruturas ocasionados por eventos climáticos. Foi inferido que os maiores danos podem ocorrer com o aumento do nível do mar, o aumento da intensidade e recorrência de chuvas e a ocorrência de ventos fortes, que podem causar danos estruturais às edificações, silos, infraestrutura de acostagem e paralisação operacional. A descrição dos berços e infraestruturas de armazenagem, obtidas nos documentos oficiais do Porto de Aratu, estão na Seção 4.1.1.

Em relação aos equipamentos portuários, além de suportar os esforços intrínsecos à movimentação da carga, contam com os elementos estruturais das treliças, braços, cabos e apoios de solo dimensionados para suportar esforços de vento, ondas (no caso de equipamentos flutuantes) e de colisões acidentais não severas.

No Porto de Aratu são encontrados os equipamentos portuários sujeitos a ações climáticas extremas descritos na Tabela 23.

Tabela 23: Equipamentos portuários abordados no estudo

Equipamento		Descrição
	Guindaste portuário	Destinado ao içamento de carga geral lingada, carga geral em dispositivo de unitização, uso de pás acopladas do tipo *grab* para granéis e carregamento esporádico de contêineres. Pode ser fixo ou móvel, sobre trilhos ou sistemas pneumáticos.
	Guindaste embarcado em navios *self-sustained*	Equipamento apresenta a mesma funcionalidade do guindaste portuário, porém apresenta características e restrições específicas devido ao fato de estar instalado no próprio navio. Apresentando dimensões e porte menor, possui menor capacidade de içamento comparado aos equipamentos instalados no cais. A restrição do equipamento é maior perante a ação de ventos e ondas, pois possíveis movimentações geradas por esses fatores ambientais no navio paralisam a operação do guindaste de bordo. Os navios *self-sustained* contam com decrescimento de uso, sendo aqui no Brasil, utilizado na marinha mercante de exportação de fardos de celulose e toras de madeira.

	*Shipunloader* com *grab*	Equipamento destinado à descarga de granéis sólidos. Estrutura pórtico instalada sobre trilhos, possibilitando movimentação sobre o berço. Conta com sistema de cabeamento acoplando na extremidade um implemento pá tipo *grab* com controle de abertura e fechamento, possibilitando a captura do volume do desembarque. O içamento do *grab* alcança todo o pontal de convés do navio. Geralmente o equipamento é polivalente. Consegue acondicionar o volume coletado em uma tremonha conectada a um sistema de correia/esteira transportadora contínua ou diretamente à caçamba de um caminhão ou vagão ferroviário. Equipamentos modernos contam com elevadas taxas de processamento.
	*Shiploader*	Equipamento destinado ao carregamento de granéis sólidos. Instalado no berço, possui mobilidade sobre trilhos e conta com lança e tubo de descarga acoplado, possibilitando a movimentação pela área da abertura do porão da embarcação, auxiliando na disposição do cone do granel. A carga processada pelo equipamento é alimentada por sistema de correia/esteira transportadora contínua. Equipamentos modernos que contam com elevadas taxas de processamento.
	Tubulações e mangotes	Sistema dutoviário de transferência entre tanques de armazenagens para granéis líquidos e gasosos. Composto por tubulações rígidas e segmentos de mangotes flexíveis para conexão nas tampos-sifões dos navios. Contém conjunto motobomba hidráulico, com piezômetros, válvulas de alívio, e conforme a característica do produto, pode ter filtros, sistema arrefecimento, controle de temperatura, compartimento de liquefação/gaseificação e demais processos físico-químicos.
	Plataforma elevatória	Equipamento de apoio operacional para realização de trabalhos em altura, permitindo a elevação de trabalhador em cesto. Utilizado para manutenção de equipamentos e acesso a locais altos.
	Tremonha	Equipamento de apoio à transferência de granéis sólidos descarregados diretamente nas caçambas de caminhões ou em vagões ferroviários. Equipamento móvel, tracionado por trator de apoio.

Fonte: Elaboração própria.

De modo complementar, temos o conjunto de infraestrutura e equipamentos que compõem os transportadores contínuos de cargas granéis e os circuitos dutoviários para granéis líquidos e gasosos, que conectam os berços às áreas de armazenagem e transferência intermodal. As fotos da Figura 41 ilustram as estruturas de suporte e cobertura das esteiras transportadoras no TGS I, no armazém operado pela empresa Paranapanema. Também é ilustrado um exemplo da infraestrutura de dutovias, composta de diferentes circuitos de tubulações dimensionadas para operação segura de produtos químicos líquidos e gaseificados.

Figura 41: Infraestrutura de suporte ao transportadores contínuos e dutovias



Fonte: Elaboração própria

No PDZ, quanto à instalação dos terminais, estão descritos zoneamento, nome do operador, tipo de carga, descrição de uso de berço e área de armazém, pátio, silo, tancagem e listagem de equipamentos dos terminais.

A Tabela 24 mostra os quantitativos dos equipamentos portuários existentes no Porto de Aratu, segundo o PDZ.

Tabela 24: Quantitativo de equipamentos portuários no Porto de Aratu

Equipamento	Capacidade	Finalidade	Operador	Fabricação	Modelo
Balança	100 t	-	CODEBA	2011	Toledo 900i
Shiploader	700 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1985	PHB
Shiploader	1200 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1974	PHB
Shipunloader	940 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1975	PHB
Empilhadeira	1400 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1975	PHB
Guindaste	150 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1985	Veb-Kranbau
Moega	1200 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1975	PHB
Transportador de correia	1200 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1975	PHB
Transportador de correia	1200 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1975	PHB
Transportador de correia	300 t/h	Granéis Sólidos	CODEBA	1997	PHB
Guindaste	18 t	Granéis Líquidos	TEQUIMAR	1978	Tadano TS 180L
Guindaste	18 t	Granéis Líquidos	TEQUIMAR	1978	Tadano TS 180L
Guindaste	1,5 t	Gasosos	TEQUIMAR	1980	Liebher
Guindaste	160 t/h	Granéis Líquidos	VOPAK	2005	Madal Palfinger PK38502
Guindaste	160 t/h	Granéis Líquidos	VOPAK	2010	Madal Palfinger PK38502

Fonte: CODEBA, 2018.

Os registros declarados totalizam 15 equipamentos, sendo 9 unidades aplicadas ao processamento de granéis sólidos, 4 para granéis líquidos, 1 para apoio operacional aos gasosos e 1 para controle dos caminhões que acessam o terminal.

Outro fator interessante extraído do PDZ é a descrição das marcas e modelos de alguns equipamentos, possibilitando a busca de informações mais específicas.

Constata-se que a idade dos equipamentos é avançada: 40% dos equipamentos apresentam idade superior a 40 anos; 33% estão na faixa de 20 a 40 anos; 13%, entre 10 e 20; e os demais equipamentos com idade inferior a 10 anos.

As infraestruturas de transporte terrestre do Porto de Aratu são dos modos rodoviário e ferroviário. Contam com a possibilidade de aumento da demanda por manutenções devido à ação da água pluvial, a qual acelera o processo de deterioração de pavimentos. Os sistemas dutoviários poderão ter problemas referentes ao aumento do nível do mar, com a necessidade de remanejamento da linha e instalação em cota mais elevada.

Em suma, as infraestruturas a serem utilizadas na definição do nível de severidade e, posteriormente, na matriz de risco do cálculo de risco climático são apresentadas a seguir pela Tabela 25. Esses são equipamentos que podem vir a sofrer com ações adversas do clima.

Tabela 25: Infraestruturas avaliadas na definição de pontuação de severidade para o Porto de Aratu

Infraestrutura	Observações
Canal Externo	-
Canal Interno	-
Bacia de Evolução	-
Sinalizações Náuticas	-
Berços	Localizado no píer TGL
Edificações	Relativo aos prédios administrativos e operacionais sem função de armazenamento
Infraestrutura de Armazenamento	Relativo aos tanques destinados ao armazenamento de granéis líquidos
Equipamentos de Içamento	Relativo aos braços de carregamento marítimo para acoplamento dos mangotes às embarcações
Empilhadeiras	Relativo às empilhadeiras comuns de garfo, equipamentos de elevação pantográfica de colaboradores e veículos de apoio de pátio
Transportador Contínuo	Relativo a dutovias, tubulações, válvulas de alívio, registros de operação, filtros, painéis de comando, infraestrutura civil de suporte
Acesso Viário	Sistema viário e ramal ferroviário interno ao terminal

Fonte: Elaboração própria.

4.3.2. Interação entre as infraestruturas e as ameaças climáticas

A interação entre as infraestruturas e ameaças climáticas busca responder à seguinte pergunta norteadora:

- “Existe interação entre a infraestrutura X e a ameaça climática Y?”

Conforme discorrido na “Seção 4.1.5. Identificação da relação entre infraestruturas e ameaças climáticas”, os terminais TGL, TPG e TGS do Porto de Aratu contam com relações de danos operacionais e danos de infraestrutura relacionados a eventos climáticos críticos, ilustrados em tabelas, para cada terminal individualmente.

Por exemplo, os aspectos da integração física dos equipamentos móveis destinados à transferência de carga entre o terminal, armazéns ou pátios para os navios apresentam características díspares quanto à sua interação com as ameaças climáticas. No caso das empilhadeiras convencionais de garfo, empilhadeiras de vazio, transportadores de pátio para contêineres, reach stacker, veículos de apoio operacional, plataformas elevatórias móveis, escavadeiras, retroescavadeiras e demais veículos que possuem mobilidade pela estrutura viária do terminal, são facilmente desmobilizados para locais seguros durante eventos extremos, resguardando-os dos efeitos danosos de vendavais, tempestades e inundações. Considerou-se também a ocorrência de quedas de objetos ou colisões de embarcações nesses equipamentos móveis, as quais poderiam resultar em avarias.

Quando observados os equipamentos de maior porte, sendo eles fixos ou móveis sobre trilhos, instalados na linha do cais e píer, tais como, guindaste portuário, grua convencional, portainer, transtainer, shipunloader com grab, shiploader, essa desmobilização é inexistente e, portanto, estão susceptíveis à interação com algumas ameaças. Percebe-se que, do ponto de vista da Engenharia Mecânica, esses equipamentos são dimensionados para suportar as cargas operacionais dentro de condições climáticas adversas com uma margem de segurança estabelecida pelo projetista. Por se tratar de equipamentos com grande porte e volume, contam com área vélica suscetível à ação de ventos e tempestades e, assim, apresentam parâmetros limites para garantir a segurança do operador, da operação em si e, em condições mais severas, da própria integridade estrutural do equipamento.

O conjunto dos equipamentos móveis e fixos descritos anteriormente também podem ser afetados por condições climáticas não severas, porém com capacidade de afetar a integridade e a qualidade das cargas e mercadorias processadas. Temos como exemplo que a simples possibilidade da ocorrência de precipitações pluviométricas acarreta a paralisação do processo de embarque e desembarque de granéis sólidos como soja, milho, cevada, farelos e açúcares devido ao risco de fermentação, proliferação de fungos e deterioração biológica da carga. Também alguns fertilizantes são sensíveis à água devido à solubilidade dos componentes químicos.

As demais infraestruturas de conexão de cargas entre os terminais e os porões dos navios são complementadas pelos transportadores contínuos e tubulações/dutovias, os quais realizam a movimentação de granéis sólidos, granéis líquidos e gasosos. Essas infraestruturas são instaladas sobre treliças espaciais e pórticos ou afixados sobre as pontes de acesso aos píeres. A fragilidade dessas estruturas refere-se ao aumento do nível do mar, podendo o Nível d’Água (NA) de projeto dessas estruturas ficar submerso, demandando assim a construção de novas estruturas e a realocação das tubulações e transportadores contínuos a pontos mais altos que sobrepõem o nível do mar e das ressacas.

Outras possibilidades de impacto nessa infraestrutura são a colisão de embarcações à deriva devido a rajadas críticas e o arranque por empuxo de rajadas de vento dos sistemas de telhados e coberturas das linhas dos transportadores contínuos.

As inundações decorrentes do aumento do nível do mar podem causar primeiramente uma ideia positiva quanto ao aumento das profundidades disponíveis em canais de acesso e bacias de evolução. Ocorre, porém, que o "lado terra" das poligonais portuárias poderá sofrer os maiores impactos financeiros devido a inundação permanente, que poderá gerar perda de área da poligonal, necessidade de realocação, construção e reposicionamento de armazéns, equipamentos portuários e infraestrutura de acostagem de embarcações. Para evitar essas condições críticas, poderá ser necessária a construção de sistemas de polderes, molhes, sistemas moto-bombas e comportas para o controle do nível das cotas operacionais dos terminais.

As inundações pluviais também são preocupantes, pois em condições críticas elas podem saturar a capacidade de projeto dos sistemas de drenagem de pátios de contêineres e carga, linhas de cais, sistemas viários e áreas adjacentes aos equipamentos de armazenagem. O próprio aumento da cota freática do subsolo e a saturação devido à baixa drenagem podem acarretar perda física de resistência de solos, possibilitando assim o surgimento de recalques diferenciais acelerados em pilares de armazéns, instabilidade de taludes ou recalques de aterros de linhas de cais, sendo que nos piores cenários poderá ocorrer colapso estrutural dessas infraestruturas.

Quanto ao aumento dos períodos de ocorrência e ao aumento da intensidade desses eventos climáticos adversos, ter-se-ia um acréscimo das paralisações impostas pela Capitania dos Portos devido à priorização da segurança e integridade das embarcações e dos movimentos de entrada, saída, acostagem, desacostagem, manobras e fundeio. Por consequência, essas paralisações acarretam aumentos de custo logístico sistêmicos do complexo portuário, podendo acarretar multas de demurrage (sobre-estadia), cancelamento de embarque e, em situações mais severas e adversas, a perda de escala operacional do terminal portuário.

Partindo do pressuposto de que a infraestrutura de Engenharia Portuária de acostagem, defensas, dolfins e de proteção conta com boas práticas de manutenção, conservação e utilização da estrutura para a "embarcação tipo" que foi projetada, as probabilidades de danos à infraestrutura devido a eventos climáticos como ventos, rajadas e ondas são menores. Porém, essa infraestrutura não está livre de inundações e da elevação do nível do mar, que podem gerar sobrepressão em taludes e causar patologias funcionais ou mesmo o colapso de estruturas.

Quanto ao canal de acesso, pode ser afetado pelas ameaças climáticas destacadas na Tabela 26, enquanto os elementos que afetam a bacia de evolução são apontados na Tabela 27.

Tabela 26: Impactos climáticos potenciais nos canais de acesso

		Dano Operacional			Dano Infraestrutura		
		Interrupção do Tráfego no Canal	Redução da estiva dos navios*	Encalhe de Embar-cações*	Desconfor-mação geométrica (redução calado)	Rompimento ancoragem das bóias/ balizamento	Dano funcional a faroletes, sinalização e balizamento
Evento Climático Crítico	Chuvas Persistentes						
	Chuva Forte				X		
	Vento Moderado				X		
	Vento Forte	X			X	X	X
	Vento Muito Forte	X			X	X	X
	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar				X	X	X

*Este impacto decorre de sedimentação no canal devido a processos erosivos ou do carreamento de material particulado ao canal por meio de bacias de contribuição.

Fonte: elaboração própria

Tabela 27: Impactos climáticos potenciais nas bacias de evolução

		Dano Operacional			Dano Infraestrutura	
		Interrupção das manobras das embarcações	Redução da estiva dos navios*	Encalhe de Embarcações*	Desconformação geométrica (redução calado)	Desconformação geométrica (planimetria)
Evento Climático Crítico	Chuva Persistente				X	X
	Chuva Forte				X	X
	Vento Fraco					
	Vento Moderado	X			X	X
	Vento Forte	X			X	X
	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar					

Este impacto decorre de sedimentação no canal devido a processos erosivos ou do carreamento de material particulado ao canal por meio de bacias de contribuição.

Fonte: elaboração própria

Outros elementos como Acostagem, Equipamentos, Armazenamento e Sistema Viário podem ser acometidos pelas ameaças apresentadas nas Tabela 28 e Tabela 29.

Tabela 28: Impactos climáticos potenciais nos Píeres e Terminais

		Danos Operacionais			
		Acostagem	Equipamentos	Armazenamento	Sistema Viário
Evento Climático Crítico	Chuvas Persistentes	X	X		
	Chuva Forte	X	X	X	X
	Vento Fraco	X	X	X	
	Vento Moderado	X	X	X	
	Vento Forte	X	X	X	
	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar				

Fonte: elaboração própria.

Tabela 29: Impactos climáticos causados nos Píeres e Terminais

		Danos às Infraestruturas			
		Acostagem	Equipamentos	Armazenamento	Sistema Viário
Evento Climático Crítico	Chuva Persistente			X	
	Chuva Forte			X	X
	Vento Fraco				
	Vento Moderado	X	X	X	
	Vento Forte	X	X	X	
	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar	X			

Fonte: elaboração própria

Importante ressaltar que, embora fosse objetivo desta etapa avaliar o estado de conservação e a frequência de manutenção das infraestruturas portuárias e dos equipamentos, essas informações não foram encontradas nos programas das empresas arrendatárias e da Autoridade do Porto de Aratu.

4.3.3. Escala de severidade

A escala de severidade busca responder à seguinte pergunta norteadora:

- Quais são os possíveis níveis de severidade (estrutural e operacional) que as infraestruturas podem sofrer?

A seguir são apresentadas as escalas de severidade validadas com o porto. As Tabela 30 e Tabela 31 descrevem componentes específicos de severidade estrutural e operacional por perfil de carga. As escalas de tempo para uma severidade declarada pelos operadores do TGL, TPG e TGS em alguns casos diferem-se entre si. Para o operador dos granéis líquidos, os danos da severidade estrutural no nível "marginal" foram declarados para o período compreendido entre 24 h e 1 semana. Nessa mesma escala, o operador de granel sólido declarou para a mesma severidade um período entre 24h e 48h e o operador de produtos gasosos não declarou nenhum evento de severidade operacional.

Nesse contexto, sugere-se aqui uma avaliação contemplando as declarações emitidas pelos operadores do Porto de Aratu conforme as seguintes classes de carga: Granéis Sólidos, Granéis Líquidos e Produtos Gasosos.

Nas Tabela 32 e Tabela 33 estão contemplados os impactos operacionais e em infraestruturas comuns englobam componentes comuns a todos operadores do complexo portuário, as quais independem do perfil carga.

Tabela 30: Escala de Severidade Estrutural

Nível de Severidade		ESCALA DE SEVERIDADE ESTRUTURAL		
		Granéis Sólidos	Produtos Gasosos	Granéis Líquidos
1	Desprezível	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de até 24 h.	• Vistoria à rede dutoviária, filtros, registros, válvulas e piezômetros; • Vistoria a esferas de armazenagem; e • Não há necessidade de intervenção de manutenção	• Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos inferiores a R$ 275.000 (EUR 50.000); e • Redução da performance inferior a 24 h.
2	Marginal	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de 24 h a 48 h.	• Vistoria aponta necessidade de manutenção preventiva; • Necessita realizar limpeza de filtros; • Reaperto de flanges; • Lubrificação de válvulas; e • Supressão de oxidação e limpeza de componentes do sistema dutoviário.	• Danos funcionais que não afetam a operação ou pequenos danos às instalações; • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$275.000 (EUR 50.000) a R$ 550.000 (EUR 100.000); e • Redução na performance entre 24 h e 1 semana.

3	**Moderado**	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de 48 h a 72 h.	• Desacoplamento de mangotes sem vazamento de carga química.	• Pequenas inundações das estruturas das instalações com danos reparáveis; • Princípio de incêndio em vegetações no entorno próximo ao terminal; • Pequenas falhas de equipamentos sensíveis ao calor; • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$ 550.000 (EUR 100.000) e R$ 5.500.000 (EUR 1.000.000); e • Redução na performance entre 1 semana e 3 meses.
4	**Crítico**	• Avarias que causam danos aos equipamentos exigindo vistoria e manutenção de 72 h a 168 h.	• Incêndio em áreas adjacentes. Danos pontuais a dutos e tanques; e • Rompimento de mangotes com vazamento de carga química.	• Danos críticos que comprometam parcialmente o uso da estrutura; • Inundações; • Danos críticos que comprometam parcialmente o uso da estrutura; • Focos de incêndio controláveis em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, com potencial de risco de atingir as estruturas do terminal, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis. • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos entre R$ 5.500.000 (EUR 1.000.000) e R$ 55.000.000 (EUR 10.000.000); e • Redução na performance superior a 3 meses.
5	**Catastrófico**	• Perda de área operacional portuária.	• Incêndio em áreas adjacentes. Danos de grande vulto a dutos e tanques, com explosões e difícil combate e controle.	• Danos severos que impeçam o uso da estrutura por tempo indefinido; • Danos irreparáveis, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Manutenção e recuperação dos danos a infraestrutura com custos superiores a R$ 55.000.000 (EUR 10.000.000).

Fonte: elaboração própria.

Tabela 31: Escala de Severidade Operacional

Nível de Severidade		ESCALA DE SEVERIDADE OPERACIONAL		
		Granéis Sólidos	Produtos Gasosos	Granéis Líquidos
1	Desprezível	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período inferior a 6h.	• Inibição do processamento de navios em 40% (< 6h/dia).	• Não impedem as condições normais de operações, mas cria necessidade de monitoramento preventivo; • Não geram transtornos às operações; e • Pequeno vazamento que pode ser imediatamente limpo pela equipe do terminal ou vazamento de produto no mar inferior a 10 kg.
2	Marginal	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período de 6h a 24h.	• Inibição do embarque/ desembarque de cargas gasosas em período de 6h a 24h; e • Inibição do processamento de navios em 41% a 50% do volume programado (6h a 24h).	• Alerta as operações e paralisam içamento de carga (Ex: guindaste); • Pequenos transtornos operacionais; • Não comprometem as estruturas e instalações; e • Vazamentos no terminal, sem efeitos externos, que requerem ações para conter o produto imediatamente, ou vazamentos no mar com volumes entre 10 kg e 1000 kg.
3	Moderado	• Cancelamento do embarque/ desembarque de cargas a granéis em período de 24h a 48h; e • Dispensa mão-de-obra portuária dos turnos.	• Inibição do processamento de navios em 51% a 60% do volume programado (24h a 48h).	• Paralisação temporária das operações por até 8 h (turno operacional); • Princípio de incêndio em vegetações no entorno próximo ao terminal; • Pequenas falhas de equipamentos sensíveis ao calor; e • Vazamentos no terminal, com efeitos externos ao terminal, que requerem ações de contenção e remediação de vazamentos em solo e mar com volumes entre 1.000 kg e 10.000 kg.
4	Crítico	• Cancelamento do embarque e desembarque de cargas granéis sólidos (48h a 168h).	• Inibição do processamento de navios em 61% a 80% do volume programado (48h a 7 dias).	• Interrupção das operações por até 24 h; • Focos de incêndio controláveis em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, com potencial de risco de atingir as estruturas do terminal, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Dano ambiental severo (superior a 5 anos de remediação) ou vazamentos no mar superior a 10.000 kg.
5	Catastrófico	• Cancelamento do embarque e desembarque de cargas granéis sólidos (acima de 168h).	• Inibição do processamento de navios em > 81% a 100% do volume programado.	• Impedimento ou aborto das operações por período superior a 24h; • Incêndio de grandes proporções em vegetações secas no entorno próximo ao terminal, atingindo as estruturas do terminal com danos irreparáveis, principalmente os tanques que armazenam produtos inflamáveis; e • Perda da Licença Operacional ou danos ao ecossistema com longo prazo para recuperação.

Fonte: elaboração própria

Tabela 32: Escala de Severidade Estrutural para características e danos comuns a todos operadores do complexo portuário

ESCALA DE SEVERIDADE ESTRUTURAL Características e danos comuns a todos os operadores do complexo portuário		
Nível de Severidade		**Descrição**
1	**Desprezível**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos não apresenta danos, exigindo **somente** a realização de vistoria da equipe do terminal; • Danos funcionais pequenos que não afetam a operação. Porém, se não reparados podem acelerar processos de deterioração da infraestrutura, causar algum dano à carga processada e deixar o ambiente insalubre ao trabalho; • Empoçamento de água e maior tempo de escoamento nos sistemas de drenagem em pátios, cais, sistema viário e ferroviário de acesso aos terminais. Necessita de limpeza e desobstrução de bocas de lobo, bueiros e sarjetas dentro do planejamento organizacional do terminal; • Vistoria de cais, cabeamento de acostagem, defensas, armazéns, equipamentos de içamento, transportadores contínuos, pátios, silos, armazéns, tanques, esferas e sistema viário (rodoviário e ferroviário); • Baixíssimo custo de manutenção. Manutenção realizada por equipe do porto ou do Operador dos terminais, em prazo inferior a 24 h; • Impraticabilidade total do porto (entrada e saída dos molhes) em período inferior a 6 h/dia; e • Colisão de navio com sinalização náutica.
2	**Marginal**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária. Aqui, a ação nos equipamentos apresenta danos, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção preventiva; • Pequenos danos às infraestruturas de cercamento, rede elétrica, telefonia e logística na área portuária; • Deflúvio com volume de água suficiente para causar empoçamento de água e pequenas inundações nas áreas internas do perímetro portuário, incluindo áreas de cais, armazéns e acessos terrestres. Observa-se maior tempo de escoamento dos sistemas de drenagem em pátios, cais, sistema viário e ferroviário de acesso aos terminais. Demanda equipe de manutenção, realizando serviços de varrição, limpeza de entulho, bombeamento mecânico de água com conjunto moto-bomba; • Arranque parcial de telhado e cobertura de armazéns e transportadores contínuos. Arranque total de cobertura de prédios administrativos; • Baixo custo de manutenção. Manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 24 h e 48 h; e • Necessidade de manutenção corretiva em um elemento de sinalização (boia ou baliza), danificado em colisão com embarcação de pequeno ou grande porte.

3	**Moderado**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento as bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção corretiva leve; • Reparo de manutenção afetando parcialmente as atividades do porto. Manutenção realizada por equipe própria ou terceirizada, no prazo de 7 dias, ocorrendo assim, a inoperância do equipamento; • Estouro de cabeamento de acostagem, com deriva de navio; • Deslocamento/avaria das bóias de sinalização do canal (bóias, balizas e faroletes); • Arranque total de telhado e cobertura armazéns e transportadores contínuos; • Deflúvio com volume de água não é mais processado pelo sistema de drenagem, estando ele colapsado, causando inundações em áreas de cais, armazéns e acessos terrestres. Demanda execução de troca de manilhas, aumento das dimensões e quantitativos de bocas de lobo e melhoria da declividade de sarjetas; • Quebra de estiva de navios (30% a 40%) devido à perda de profundidade do canal, ocasionando restrições de calado no canal de acesso e berços; e • Custo médio de manutenção; Manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 48 h e 72 h.
4	**Crítico**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos funcionais reparáveis, exigindo a realização de paralisação, vistoria e manutenção corretiva severa; • Danos à infraestrutura da praticagem e do terminal que exigem ações de manutenção e causam impactos operacionais, ocasionando baixo nível de serviço; • Custo alto de manutenção. Manutenção realizada por equipe interna do operador ou por representante do equipamento. Serviços realizados entre 72 h e 168 h; • Ocorrência de inundações de cais e áreas de terminais nos píeres, causando solapamento devido às ressacas e regimes de ondas, com perda funcional e estrutural da infraestrutura; • Colapso parcial de armazéns, transportadores, cais, canal, bacia de evolução ou infraestrutura portuária. • Colapso de estruturas de sinalização náutica; • Paralisação operacional de equipamentos de içamento e transferência de carga (6h a 24h); • Quebra de estiva de navios (40% a 50%) devido à perda de profundidade do canal ou berços, ocasionando restrições de calado devido a processos sedimentológicos estuarinos acelerados por condições climáticas adversas; e • Perda dos acessos rodoviários.
5	**Catastrófico**	• Necessidade de monitoramento das condições climáticas e exige atendimento às bases normativas de segurança de agentes internacionais, nacionais, Capitania dos Portos da Bahia e Autoridade Portuária; • A ação nos equipamentos apresenta danos estruturais e funcionais irreparáveis, exigindo a paralisação imediata. • Nos equipamentos, a manutenção corretiva não apresenta viabilidade econômica, sendo necessário aquisição de novos equipamentos. As infraestruturas civis e portuárias, devido ao colapso, necessitam reconstrução; • Sedimentação, alterações de correntes de marés e vazões fluviais com redução de profundidade do canal de acesso, com desconformidade das bacias de evolução; • Perda de estruturas do porto, com colapso, abrangendo infraestrutura, armazéns, molhes, equipamentos de embarque e transportadores contínuos; • Colapso de estruturas de armazenagem, estruturas de suporte transportadores contínuos, erosões e deterioração de cais/píer/berço causando total inoperância da estrutura; • Custo muito alto com necessidade de financiamento de longo prazo. Reconstrução total da infraestrutura afetada, contando com prazo superior a 1 ano de execução; • Colisão de embarcação com cais/píer ou equipamentos de içamento/transferência acarretando colapso estrutural da infraestrutura; • Colisão entre embarcações, causando adornamento ou naufrágio, bloqueando o canal de acesso e berços; e • Inundações constantes.

Fonte: elaboração **própria**

Tabela 33: Escala de Severidade Operacional para características e danos comuns a todos operadores do complexo portuário

ESCALA DE SEVERIDADE OPERACIONAL Características e danos comuns a todos os operadores do complexo portuário		
Nivel de Severidade		**Descrição**
1	**Desprezível**	• Indisponibilidade dos berços de atracação por período inferior a 12 h; • Impraticabilidade da barra por período inferior a 12 h, impossibilitando as atracações e desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso por período inferior a 72 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Inibe o processo de desatracação de embarcações acostadas. O resultado do monitoramento das condições climáticas poderá declarar a paralisação das atividades de abastecimento de embarcações; • Atrasos nos processamentos das embarcações, não causando prejuízos com multas contratuais de sobre-estadia e demurrage de cargas e navios. Atrasos de acesso a mão-de-obra portuária ou dispensa de turnos; • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades inferior a 24 h; • Acidentes de trabalho que resultem em atendimento de primeiros socorros aos trabalhadores.
2	**Marginal**	• Indisponibilidade dos berços de atracação por período entre 12 h e 24 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 12 h e 24 h, impossibilitando as atracações e desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso por período entre 72 h e 120 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Interrupção dos trabalhos em execução: (a) em altura, realizados mesmo em cockpits de equipamentos; (b) trabalhos em equipamentos elevatórios de operários em cestos via braço articulado; (c) trabalho em altura realizado embarcado em navios atracados e fundeados; (d) reabastecimento de embarcações • Interrupção parcial. Podem inibir o processo de desatracação de embarcações acostadas. Filas de espera dos navios nos fundeadouros inferior a 72 h; • Prejuízos financeiros oriundos a sobre-estadia de embarcações e cargas nos terminais dentro de nível admissível; e • Acidentes de trabalho que resultem em lesões que gerem afastamento do trabalhador por prazo de até 5 dias.
3	**Moderado**	• Indisponibilidade dos berços de atracação por período entre 24 h e 72 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 24 h e 72 h, impossibilitando as atracações e desatracações; • Indisponibilidade parcial do balizamento do canal de acesso em período superior a 120 h, sem possibilidade de substituição provisória; • Interrupção parcial de mais de uma atividade do porto, gerando severos prejuízos financeiros de sobre-estadia e afetando financeiramente a operação; • Serviços de reabastecimento de navios com diesel marítimo cancelados; • Filas de espera dos navios nos fundeadouros entre 72 h e 120 h; • Acidentes que resultem em lesões que gerem afastamento do trabalhador por período superior a 5 dias; • Cancelamento da programação de trabalhos a serem executados: (a) em altura, realizados mesmo em cockpits de equipamentos; (b) trabalhos em equipamentos elevatórios de operários em cestos via braço articulado; (c) trabalho em altura realizado embarcado em navios atracados e fundeados; (d) reabastecimento de embarcações; e • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades entre 1 semana e 3 meses.

4	**Crítico**	• Indisponibilidade dos berços de atracação por período entre 72 h e 120 h; • Impraticabilidade da barra por período entre 72 h e 120 h, impossibilitando as atracações/ desatracações e os fundeios para espera; • Indisponibilidade total do balizamento do canal de acesso por período inferior a 120 h; • Perda de escala funcional ou filas nos fundeadouros. Na possibilidade de geração de filas nos fundeadouros, tempo é superior a 120 h (5 dias). Cancelamento do embarque e desembarque de cargas. Paralisações das atividades portuárias é superior a 24 h; • Acidente de trabalho que resulta em um óbito ou em lesão irreversível em um colaborador; • Redução da performance operacional ou interrupção das atividades inferior ou igual a 3 meses. Baixo Nível de Serviço causado por danos a infraestrutura; e • Rupturas contratuais devido ao não cumprimento de prazos e prestação de serviço de transporte marítimo.
5	**Catastrófico**	• Indisponibilidade dos berços de atracação por período superior a 120 h; • Impraticabilidade da barra por período superior a 120 h; • Indisponibilidade total do balizamento do canal de acesso por período superior a 120h; • Fechamento operacional do porto com parada total das atividades. Fechamento do porto por tempo indeterminado. Mais de 80% a 100% das categorias de cargas operadas no porto não são atendidas; • Diminuição dos calados dos navios, quebra de contrato para carregamento de carga, aumento do seguro e porto considerado inseguro; • Acidente de trabalho que resulte em mais de um óbito ou em lesões irreversíveis em mais de um colaborador; e • Custo altíssimo com necessidade de financiamento de longo prazo.

Fonte: elaboração própria

4.3.4. Classificação de Severidade

A classificação da severidade busca responder à seguinte pergunta norteadora:

- Caso haja interação entre a infraestrutura X e a ameaça climática Y, qual é o nível de severidade?

Após o estabelecimento da escala de severidade, a equipe consultora definiu o nível de severidade de cada infraestrutura em associação a uma ameaça climática. Para consolidar os dados, o Porto do Aratu também contribuiu e validou os níveis de severidade pré-definidos pela consultoria.

Com essa avaliação, foram construídas as Tabela 34 a Tabela 39. Essas tabelas apresentam os níveis de severidade estrutural e operacional de cada infraestrutura do porto, respectivamente.

Os resultados preenchidos pela cor cinza (“S.I.”) nas referidas tabelas revelam a falta de interação entre ambas as variáveis. Essa definição foi feita com base no conhecimento de clima e das infraestruturas portuárias da consultoria e validada pelo porto.

4.3.4.1. Granéis Líquidos

Para os perfis de carga de Granéis Líquidos, a ameaça de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar apresentou maior relevância dentro da análise de níveis de severidade estrutural. Mesmo assim, o nível máximo de severidade encontrado foi igual a 2 (Marginal). Na Tabela 34, encontram-se as infraestruturas que estão associadas a esses níveis.

Em relação aos níveis de severidade operacional, a ameaça Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar é a mais relevante para o porto. Aqui, observou-se três infraestruturas com nível de severidade igual a 3 (Médio), são elas: os Berços, os Equipamentos de Içamento e o Transporte Contínuo (Tabela 35). A outra ameaça relevante para a operação são as Chuvas Fortes, que podem afetar, em alguma medida, Infraestrutura de Armazenamento, Equipamentos de Içamento e Transportador contínuo.

A Figura 42 a seguir demonstra a mancha de inundação na Baía de Todos os Santos, capaz de causar danos de severidade descritos anteriormente. A inundação causada por ressacas anuais devido a 0,2 m de aumento do nível do mar também acontece para os perfis de carga de Granéis Sólidos e Produtos Gasosos.

Figura 42: Área inundada (Aumento do Nível do Mar + Ressacas com Tempo de Retorno de 1 ano) para o cenário de altas emissões (SSP5-8.5) para o ano de 2050 para Aratu



Fonte: Climate Central, 2022.

Tabela 34: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Granéis Líquidos – severidade estrutural

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	1
Berços	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Edificações	1	S.I.	1	1	S.I.	1
Infraestrutura de Armazenamento	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Equipamentos de Içamento	1	S.I.	1	1	1	2
Empilhadeiras	1	S.I.	1	1	1	S.I.
Transportador contínuo	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Acesso Viário	1	S.I.	1	1	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 35: Nível de classificação evento-operação-severidade para Granéis Líquidos – severidade operacional

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	S.I.
Berços	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	3
Edificações	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	2
Infraestrutura de Armazenamento	2	S.I.	1	S.I.	S.I.	2
Equipamentos de Içamento	2	S.I.	1	1	1	3
Empilhadeiras	1	1	1	1	1	S.I.
Transportador contínuo	2	S.I.	1	1	1	3
Acesso Viário	1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

4.3.4.2. Granéis Sólidos

Avaliando-se os níveis de severidade estrutural para os perfis de carga Granéis Sólidos, nota-se que as ameaças climáticas de maior importância são Inundações devido ao Aumento do Nível do Mar e Chuva Forte. Para a primeira, a infraestrutura de Berço possui um valor de severidade igual a 3 (Médio), enquanto para Chuva Forte, Infraestruturas de Armazenamento e Transportadores Contínuos possuem severidade igual a 2 (Tabela 36).

No que diz respeito aos níveis de severidade operacional, avaliou-se que as ameaças Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento do Nível do Mar possuem relevância para o porto. Nessa análise, para a primeira ameaça observou-se que as infraestruturas que apresentam nível de severidade igual a 3 (Médio) são Infraestruturas de Armazenamento e Transporte Contínuo. Em relação à segunda ameaça, a infraestrutura Berços possui severidade igual a 3 (Tabela 37).

Tabela 36: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Granéis Sólidos – severidade estrutural

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	1
Berços	1	S.I.	1	1	S.I.	3
Edificações	1	S.I.	1	1	S.I.	1
Infraestrutura de Armazenamento	2	1	1	1	S.I.	2
Equipamentos de Içamento	1	1	1	1	1	2
Empilhadeiras	1	S.I.	1	1	1	S.I.
Transportador contínuo	2	S.I.	1	1	1	2
Acesso Viário	1	S.I.	1	1	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 37: Nível de classificação evento-operação-severidade para Granéis Sólidos – severidade operacional

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	S.I.
Berços	2	1	1	1	S.I.	3
Edificações	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	1
Infraestrutura de Armazenamento	3	2	1	S.I.	1	2
Equipamentos de Içamento	2	1	1	1	1	S.I.
Empilhadeiras	1	1	1	1	1	S.I.
Transportador contínuo	3	2	1	1	1	2
Acesso Viário	1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

4.3.4.3. Produtos Gasosos

No que diz respeito ao perfil de carga Produtos Gasosos, pode-se dizer que os níveis de severidade operacional e estrutural mais relevantes estão associados a Aumento do Nível do Mar.

Para a severidade operacional, as infraestruturas que possuem nível de severidade igual a 3 (Médio) para Inundações devido ao Aumento do Nível do Mar são Berços, Equipamentos de Içamento e Transporte Contínuo (Tabela 37). Para a severidade estrutural, o maior nível de severidade encontrado foi igual a 2 (Marginal) para a interação entre Aumento do Nível do Mar e Berços, Infraestrutura de Armazenamento, Equipamentos de Içamento, Transportador Contínuo e Acesso Viário (Tabela 38).

Tabela 38: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Produtos Gasosos – severidade estrutural Tabela 38: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Produtos Gasosos – severidade estrutural

Tabela 38: Nível de classificação evento-infraestrutura-severidade para Produtos Gasosos – severidade estrutural

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	1
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	1
Berços	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Edificações	1	S.I.	1	1	S.I.	1
Infraestrutura de Armazenamento	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Equipamentos de Içamento	1	S.I.	1	1	1	2
Empilhadeiras	1	S.I.	1	1	1	S.I.
Transportador Contínuo	1	S.I.	1	1	S.I.	2
Acesso Viário	1	S.I.	1	1	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 39: Nível de classificação evento-operação-severidade para Produtos Gasosos – severidade operacional

Ameaças Climáticas Infraestrutura	Chuva Forte	Chuva Persistente	Vento Forte	Vento Moderado	Vento Fraco	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar
	Chuva acima de 20 mm	Chuva acima de 1 mm	Vento acima de 10 m/s (36 km/h)	Vento acima de 7 m/s (25,2 km/h)	Vento acima de 3 m/s (10,8km/h)	Inundação de 0,2 m
Canal Externo	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	S.I.
Canal Interno	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Bacia de Evolução	S.I.	S.I.	1	1	1	S.I.
Sinalização Náutica	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	S.I.
Berços	S.I.	S.I.	1	1	S.I.	3
Edificações	S.I.	S.I.	1	S.I.	S.I.	2
Infraestrutura de Armazenamento	2	S.I.	1	S.I.	S.I.	2
Equipamentos de Içamento	2	S.I.	1	1	1	3
Empilhadeiras	1	1	1	1	1	S.I.
Transporte Contínuo	2	S.I.	1	1	1	3
Acesso Viário	1	S.I.	S.I.	S.I.	S.I.	2

1 Desprezível 2 Marginal 3 Médio 4 Crítico 5 Catastrófico S.I. Sem Interação

Fonte: Elaboração própria.

4.4. Cálculo do Risco Climático

4.4.1. Matriz de Risco

Esse tópico pretende responder às seguintes perguntas norteadoras:

- "Qual é o nível de risco climático de cada infraestrutura portuária?";
- "A quantidade de infraestruturas sob risco alto irá aumentar ou diminuir no futuro?"; e
- "Quais são as infraestruturas sob maior risco e por quê?".

Considerando as informações do levantamento da probabilidade das ameaças climáticas e levantamento das infraestruturas portuárias e severidade, a matriz de risco foi construída por perfil de

carga e tipo de risco (operacional ou estrutural). Em termos gerais, as pontuações de baixo risco representam riscos de baixo fator de preocupação. Por outro lado, riscos de valores "médios" a "altos" podem indicar a necessidade de monitoramento e intervenção corretiva.

Ao longo da discussão dos riscos por perfil de carga, serão apresentadas tabelas que indicam quais interações apresentam risco "médio" a "alto". Nelas, serão atribuídos comentários explicativos sobre as interações existentes e sua relação com o risco associado.

4.4.1.1. Granéis Líquidos

Riscos estruturais: Todas as interações da matriz de risco estrutural apontam para um risco "leve". Além disso, a matriz aponta para a inexistência de interação entre as infraestruturas listadas e a ameaça de Chuva Persistente (Tabela 40).

De forma geral, apesar de apresentar resultados de risco estrutural baixos, a continuidade do monitoramento das ameaças climáticas é recomendada para o Porto de Aratu.

Riscos operacionais: O maior risco verificado nessa matriz é "médio", atribuído às ameaças de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Chuva Forte. Para a primeira, as infraestruturas que apresentam esse resultado são Berços, Infraestruturas de Armazenamento e Transportador Contínuo. Já para a segunda, Infraestrutura de Armazenamento, Equipamentos de Içamento e Transportador Contínuo (Tabela 41).

Sob a perspectiva do horizonte de tempo, o risco "médio" aparece a partir do ano de 2041 e permanece até 2100 para interações associadas às Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar. Os diferentes cenários de baixa e alta emissão não apresentam mudanças no grau de risco dessas interações. Para a Chuva Forte, o resultado de risco "médio" é o mesmo, independentemente do horizonte temporal e cenário.

Esses resultados de risco operacional "médio" são detalhados na Tabela 42.

Tabela 40: Risco estrutural para Granéis Líquidos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 41: Risco operacional para Granéis Líquidos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 42: Risco operacional para Granéis Líquidos

RISCO OPERACIONAL – GRANÉIS LÍQUIDOS									
Infraestrutura	**Risco**	**Linha de Base**	**2021-2040**		**2041-2060**		**2081-2100**		**Comentários**
			SSP2	**SSP5**	**SSP2**	**SSP5**	**SSP2**	**SSP5**	
Berços	**Médio**	-	-	-	ANM	ANM	ANM	ANM	**Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** Apesar da probabilidade da ameaça de ANM variar entre "quase nunca" e "raramente", a severidade de um possível aumento do nível do mar para os cenários projetados é média e pode interferir nas operações de embarque e desembarque pelos Berços a partir de 2041. Esse risco de paralisação das operações pode trazer prejuízos financeiros associados à movimentação de cargas. Alguns impactos nas infraestruturas portuárias podem ocorrer, como submersão de estruturas de sustentação elevada de tubulações e de dutovias de baixa altura, exigindo o cancelamento operacional. Os dolfins podem tornar-se inoperantes para o estaiamento de navios.
Infraestrutura de Armazenamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuva Forte:** As chuvas fortes têm uma probabilidade "ocasional" a "frequente" de acontecer para os períodos analisados em Aratu. Entretanto, cargas líquidas não apresentam um fator alto de sensibilidade às operações (severidade marginal). Sendo assim, o risco dessa interação deve estar associado às manobras de armazenamento à medida em que chuvas fortes ocorrerem. As chuvas fortes também podem impactar na instabilidade dos taludes adjacentes à área de tancagem, causando deslizamentos de terra, conforme constatado pela Autoridade Portuária.
Equipamentos de Içamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	**Chuva Forte:** As chuvas fortes apresentam probabilidade "ocasional" a "frequente" de acontecerem. A severidade, por sua vez, é denominada "marginal". O risco dessa interação está relacionado às manobras de içamento das cargas, que podem ter sua segurança reduzida à medida em que as chuvas fortes podem reduzir a visibilidade e a segurança dos colaboradores do porto. Como consequência, as operações podem ser paralisadas. **Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** O aumento do nível do mar possui probabilidade de acontecer variável entre "quase nunca" e "raramente" a partir de 2041. No entanto, a severidade para as inundações apresenta riscos de interrupção da operação, uma vez que pode levar áreas de utilização de operadores à submersão. Nesse caso, o risco "médio" pode significar em paralisações do carregamento e descarregamento de cargas e geração de prejuízos financeiros a partir do médio prazo (2041-2080).
Transportador Contínuo	**Médio**	CF	CF	CF	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	**Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** Os transportadores contínuos podem ter operação descontinuada a medida em que a chuva possa ocasionar alagamento e inundação na parte operacional do porto, de componentes do próprio sistema de dutovias para granéis líquidos e gasosos, mais precisamente nos elementos como válvulas, registros, filtros e casa de bombas. O mesmo acontece para Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar a partir de 2041.

Legenda:
CF – Chuva Forte,
CP – Chuva Persistente,
VFO – Vento Forte,
VM – Vento Moderado,
VFR – Vento Fraco,
ANM – Inundações devido ao Aumento de 0,2m do Nível do Mar

4.4.1.2. Granéis Sólidos

Riscos estruturais: Em relação aos granéis sólidos, o maior risco encontrado é “médio”, verificado nas interações de Chuva Forte com Transportador Contínuo e Infraestrutura de Armazenamento e de Inundação devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar com Berços. De maneira geral, a severidade estrutural dos impactos está associada a avarias nos equipamentos e infraestruturas, de manutenção e/ou vistoria (Tabela 43).

Os horizontes temporais influenciam a probabilidade da ameaça de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar a partir do médio prazo (2041-2060), quando deixam de acontecer com frequência “quase nunca” e passar a acontecer “raramente”. Em relação a Chuva Forte, a outra ameaça que também alcançou risco “médio” na matriz, a probabilidade é “ocasional” para todos os períodos, exceto entre 2041-2060 quando se torna “frequente”. Para um maior detalhamento do porquê do resultado de risco “médio” nessas interações da matriz de risco estrutural, verifica-se o resumo da matriz de risco apresentado pela Tabela 45.

Riscos operacionais: O maior valor de risco observado na matriz é “médio”, associado às ameaças Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar, Chuva Forte e Chuva Persistente. Para a última, a probabilidade apresenta os maiores níveis de pontuação da escala variando entre “muito frequentemente” e “frequentemente”, sendo que esta pontuação acontece apenas para o cenário de altas emissões (SSP5) no longo prazo (2081-2100). Para as duas outras ameaças, as pontuações de probabilidade permanecem as mesmas do risco estrutural (Tabela 44).

As interações em que se verifica um risco “médio” possuem severidades que variam entre “marginal” e “média", sendo que esta acontece na interação entre a ameaça de Chuva Forte e as infraestruturas de Armazenamento e Transportador Contínuo em todos os períodos e entre a ameaça de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Berços nos períodos de 2041 a 2060 e 2081 a 2100. Essa severidade aponta para impactos que podem demandar custos adicionais de operação e aumentar o tempo de paralisações no porto.

De forma geral, a Tabela 46 apresenta um resumo dos riscos operacionais de valor “médio” com um detalhamento sobre os impactos, a probabilidade e a severidade.

Tabela 43: Risco estrutural para granéis sólidos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 44: Risco operacional para Granéis Sólidos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 45: Risco operacional para Granéis Sólidos

RISCO ESTRUTURAL – GRANÉIS SÓLIDOS									
Infraestrutura	Risco	Linha de Base	2021-2040		2041-2060		2081-2100		Comentários
			SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	
Berços	**Médio**	-	-	-	ANM	ANM	ANM	ANM	**Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** As Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar podem gerar uma severidade "média" de modo a formar pequenos alagamentos das estruturas das instalações com danos reparáveis pelo porto. A probabilidade de eventos de ressacas anuais acontecerem é "quase nunca" para o período compreendido entre 2021-2040, mas "raramente" para os períodos de médio (2041-2060) a longo prazo (2081-2100). Esses eventos podem causar avarias nas infraestruturas de atracação de navios, gerando custos de manutenção e substituição de material., insegurança no estaiamento das embarcações e dificuldades na atracação. O berço pode voltar a receber operações apenas após a readequação dos dolfins à nova cota média do nível do mar.
Infraestrutura de Armazenamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuva Forte:** As chuvas fortes podem causar avarias nas infraestruturas de armazenamento, exigindo vistoria e manutenções. Essa ameaça possui uma probabilidade que varia entre "ocasional" e "frequentemente" desde o período de linha de base até o horizonte de 2100 e possui severidade "marginal" na interação com as diferentes infraestruturas. O risco climático, produto dessas duas variáveis, é "médio" e, por isso, demanda avaliação da segurança estrutural das infraestruturas e, eventualmente, substituição por materiais de proteção mais resilientes e adaptados às chuvas fortes. Deve-se ter ainda maior atenção às manutenções preventivas para perpetuação da vida útil da estrutura de galpões, tais como limpeza de calhas de telhados, pintura externa com tinta hidrofugante, sistemas de drenagem nos arredores dos armazéns e consertos de infiltrações de telhados ou coberturas. Para o pátio aberto, demanda a manutenção e limpeza periódica dos sistemas de drenagem, bem como das caixas de retenção de material percolados. Conforme citado pela Autoridade Portuária do Porto de Aratu, haveria melhor aproveitamento operacional do pátio caso esse fosse coberto e assim protegido de chuvas fortes.
Transportador Contínuo	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuva Forte:** Da mesma maneira que para as infraestruturas de armazenamento, a severidade "marginal" atrelada à probabilidade variável entre "ocasionalmente" e "frequentemente" resultam em risco "médio" à interação entre a ameaça Chuva Forte e Transportador Contínuo. Os impactos associados a alagamentos, inundações e infiltrações no sistema de esteiras contínuas, podem demandar manutenções nos roletes, esteiras e no sistema de cobertura da linha. A ausência de manutenção preventiva pode ocasionar a necessidade de reparos corretivos das máquinas, podendo gerar prejuízos financeiros e impactar as operações de transporte de carga.

Legenda:
CF – Chuva Forte,
CP – Chuva Persistente,
VFO – Vento Forte,
VM – Vento Moderado,
VFR – Vento Fraco,
ANM – Inundações devido ao Aumento de 0,2m do Nível do Mar

Tabela 46 Risco operacional para Granéis Sólidos

RISCO OPERACIONAL – GRANÉIS SÓLIDOS									
Infraestrutura	Risco	Linha de Base	2021-2040		2041-2060		2081-2100		Comentários
			SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	
Berços	**Médio**	CF	CF	CF	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	**Chuva Forte:** A probabilidade da ocorrência de Chuva Forte no Porto de Aratu possui uma probabilidade que varia entre “ocasionalmente” e “frequentemente”. Esse valor, multiplicado pela severidade marginal, dá o resultado de risco “médio” a essa interação. O fator de atenção a esse risco está associado ao embarque e desembarque de cargas sensíveis à umidade que dependem de condições ambientais minimamente seguras para poderem ser transportadas. **Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** Apesar da probabilidade da ameaça de ANM variar entre “quase nunca” e “raramente”, a severidade de um possível do aumento do nível do mar para os cenários projetados é “média” e pode causar paralisações nas operações de embarque e desembarque nos Berços a partir do ano de 2041, gerando prejuízos financeiros. Alguns impactos podem ocorrer, como insegurança no estaiamento das embarcações e dificuldades na atracação no berço.
Infraestrutura de Armazenamento	**Médio**	CF / CP	CF / CP	CF / CP	CF / CP	CF / CP	CF / CP	CF / CP	**Chuva Forte:** Os granéis sólidos operados no Porto de Aratu contam com elevada sensibilidade à umidade. . A probabilidade dessa ameaça varia entre “ocasional” e “frequente” no Porto de Aratu, enquanto sua severidade alcança o nível “médio”. O risco “médio” associado às infraestruturas de armazenamento prejudica a operabilidade e a segurança da carga, exigindo, assim, monitoramento contínuo para evitar custos de paralisação. **Chuva Persistente:** As infraestruturas de armazenamento no padrão pátio estão particularmente vulneráveis à umidade em função da sensibilidade das cargas de granéis sólidos. Durante chuvas persistentes, a carga exposta demanda monitoramento contínuo, devido a possíveis impactos ambientais. A probabilidade de ocorrência dessa ameaça varia entre “muito frequentemente” e “frequentemente” para um grau de severidade “marginal”. As infraestruturas padrão armazéns demandam sistema de drenagem eficiente e vistorias contínuas quanto a infiltrações pelo telhado, a fim de evitar prejuízos financeiros decorrentes de danos a carga e insalubridade no perímetro do armazém decorrente do empoçamento de água da chuva.
Equipamentos de Içamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuva Forte:** O risco “médio” relacionado às chuvas fortes é uma função da probabilidade variando de “ocasional” a “frequente” e da severidade “marginal”. Esse resultado está associado à paralisação operacional dos guindastes com *grabs* e *shiploaders* decorrente do fechamento do porão dos navios devido à precipitação. No caso de cargas granéis não sensíveis à precipitação, a paralisação das manobras de içamento das cargas poderá ocorrer por falta de segurança devido a redução da visibilidade dos operadores de solo, convés e comando de equipamento.
Transportador Contínuo	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuva Forte e Persistente:** Chuvas persistentes e fortes podem afetar a operação, inibindo o embarque/desembarque de cargas a granéis, decorrente do fechamento do porão dos navios para evitar danificação da carga. Por consequência, essa precipitação ocasiona a paralisação dos transportadores contínuos de granéis sólidos. Essas chuvas também podem exigir paralisações operacionais para vistorias de identificação de infiltrações pelo sistema de fechamento superior e lateral da linha do transportador, bem como a verificação de possíveis danos mecânicos no sistema de esteiras contínuas, elevadores de rosca, elevadores de caneco e similares. Para as chuvas persistentes, a probabilidade varia entre “frequentemente” e “muito frequentemente”, enquanto chuvas fortes variam a frequência entre “ocasionalmente” e “frequentemente”. A severidade para essa interação é marginal para a primeira e média para a segunda.

Legenda:
CF – Chuva Forte,
CP – Chuva Persistente,
VFO – Vento Forte,
VM – Vento Moderado,
VFR – Vento Fraco,
ANM – Inundações devido ao Aumento de 0,2m do Nível do Mar

4.4.1.3. Produtos Gasosos

Riscos estruturais: Todas as interações apontam para impactos de risco “leve” no Porto de Aratu. Além disso, as infraestruturas não possuem nenhuma interação com a ameaça de Chuva Persistente dentro da matriz de risco (Tabela 47). Apesar disso, é necessário que o porto continue a realizar as manutenções necessárias e a instalação de equipamentos de monitoramento de ameaças climáticas para que o risco permaneça baixo.

Riscos operacionais: Em relação ao risco operacional, verifica-se que, além da ameaça Inundação devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar, a ameaça Chuva Forte também requer atenção do porto. Em ambas as ameaças, verifica-se um risco “médio” associado a algumas infraestruturas do porto, que pode ser verificado pela Tabela 48.

Para os riscos “médios” associados às Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar, os horizontes temporais que trazem esse valor ocorrem a partir do médio prazo (2041-2060), quando sua frequência passa de “quase nunca” para “raramente”. Por outro lado, o risco é sempre “médio”, desde o período de linha de base até 2100 para a interação entre Chuva Forte e Infraestrutura de Armazenamento, Equipamentos de Içamento e Transportador Contínuo.

A maior severidade observada para Chuva Forte é “marginal”. Para Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar, o valor é “médio”.

Por fim, para um maior detalhamento do porquê do resultado de risco “médio” nessas interações da matriz de risco estrutural, verifica-se o resumo da matriz de risco apresentado pela Tabela 49.

Tabela 47: Risco estrutural para Produtos Gasosos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 48: Risco operacional para Produtos Gasosos

| AVALIAÇÃO DE RISCO CLIMÁTICO DO PORTO DE ARATU | | |

Tabela 49 Resumo do risco operacional para Produtos Gasosos

RISCO OPERACIONAL – PRODUTOS GASOSOS									
Infraestrutura	Risco	Linha de Base	2021-2040		2041-2060		2081-2100		Comentários
			SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	SSP2	SSP5	
Berços	**Médio**	-	-	-	ANM	ANM	ANM	ANM	**Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** Quando avaliados os produtos gasosos, as Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar com severidade média geram um risco "médio" para a infraestrutura Berços. Essa severidade inibe o processamento de navios em volume e tempo maiores que os programados. Paralisações operacionais decorrentes do aumento do nível do mar podem causar insegurança no estaiamento das embarcações e na atracação no berço e incompatibilidade de altura dos braços elevatórios dos mangotes de conexão com o navio.
Infraestrutura de Armazenamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF	CF	CF	CF	**Chuvas Fortes:** A probabilidade da ocorrência de Chuva Forte no Porto de Aratu possui uma probabilidade que varia entre "ocasionalmente" e "frequentemente". Já a severidade "marginal" para a interação dessa ameaça com a Infraestrutura de Armazenamento pode ocasionar inibição do embarque/desembarque de cargas gasosas e o processamento de navios. Essa condição de precipitação, com o aumento da frequência, demanda maiores ações de limpeza, lavagem e repintura das esferas para os gases liquefeitos, vistoria e revisão da operacionalidade de válvulas, uso de materiais para evitar a oxidação e formação de limo. As áreas onde as esferas estão instaladas demandam vistoria e limpeza dos sistemas de drenagem pluvial, para prover a funcionalidade do equipamento drenante, evitando assim empoçamento e pequenos alagamentos.
Equipamentos de Içamento	**Médio**	CF	CF	CF	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	**Chuva Forte:** As chuvas fortes possuem probabilidades que variam entre "ocasionalmente" e "frequentemente" e nível de severidade "marginal". O risco "médio" decorrente" poderá demandar maior número de vistorias e limpeza, lubrificações, controle de oxidação e pintura dos braços mecânicos de manobra dos mangotes de transferência da carga. Os circuitos eletrônicos de comando também devem ser vistoriados para verificar possíveis problemas ocasionados por infiltrações e inundações de caixas de passagem e caixas de apoio de comando. **Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar:** As Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar devem gerar inundações e consequentemente afetar a segurança de operação das máquinas de içamento, o que pode levar à paralisação das operações de içamento dos produtos gasosos. Como a severidade dessa interação é "média", espera-se que eventos de ressacas entre o período de 2041 e 2100 levem a prejuízos financeiros associados à inibição do processamento de navios acima do tempo programado. Paralelamente, a mudança do nível do mar poderá gerar desníveis acentuados nos braços mecânicos dos acopladores de mangotes. Caso esse desnível torne-se uma barreira operacional, será necessário adaptar ou adquirir novo equipamento, gerando assim custos extras.
Transportador Contínuo	**Médio**	CF	CF	CF	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	CF / ANM	**Chuva Forte:** A probabilidade da ocorrência de Chuva Forte no Porto de Aratu varia entre "ocasionalmente" e "frequentemente". Essa ameaça, associada ao equipamento de Transportador Contí-nuo, pode inibir o embarque/desembarque de cargas gasosas e/ou o processamento de navios acima do tempo programado. O risco dessa interação é considerado "médio" para todos os horizontes temporais e cenários. Dessa forma, o monitoramento dos impactos é sugerido para implementação de medidas adaptativas adequadas. O aumento da ocorrência das chuvas demandará maiores vistorias do sistema, limpeza para retirada de acúmulo de limo, verificação de possíveis oxidações, pintura dos dutos e cuidados com a funciona-lidade de válvulas de alívio de pressão. Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar: Em fun-ção da probabilidade da ameaça ser "raramente" para os períodos de médio (2041-2060) a longo prazo (2081-2100) e a severidade ser "média" para interações com Transportador Contínuo, o risco observado aqui é "médio" a partir de 2041. Isso significa que as operações podem ser cessadas devido à inundação das áreas de operação de equipamentos de transporte de cargas gasosas e gerar prejuízos financeiros ao porto. A elevação do nível médio do mar acarretará verificação a borda livre de segurança das pontes de suporte das dutovias, principalmente da ponte sul do TPG, conside-rando a ação de ondas, podendo demandar soerguimento da cota da estrutura.

Legenda:
CF – Chuva Forte,
CP – Chuva Persistente,
VFO – Vento Forte,
VM – Vento Moderado,
VFR – Vento Fraco,
ANM – Inundações devido ao Aumento de 0,2m do Nível do Mar

4.5. Identificação das Medidas de Adaptação

A Tabela 50 representa as medidas desenvolvidas e recebidas pelos atores-chave do Porto de Aratu. As células com fonte na cor verde são elementos adicionados ou complementados pela equipe consultora. As medidas nas células de cor verde são aquelas destacadas por serem de não arrependimento.

Tabela 50: Ficha Medidas de Adaptação para o Porto de Aratu

RISCO	AMEAÇA	INFRAES-TRUTURA	MEDIDA DE ADAPTAÇÃO	TIPO DE MEDI-DA	CUSTO (Baixo, Médio ou Alto)	BENEFÍ-CIOS (Baixo, Médio ou Alto)	PRAZO DE EXECU-ÇÃO (Curto, Médio ou Longo)	COMPLEXIDADE (Baixa, Média ou Alta)	URGÊN-CIA (Baixa, Média ou Alta)	RESPON-SÁVEL	OUTROS ATORES-CHAVE	OBSER-VAÇÕES DO PORTO	ANÁLISE CRÍTICA DA EQUIPE CONSULTORA
Médio	Chuva Persis-tente	Transpor-tador contínuo	Inclusão das variáveis climáticas no modelo de negócio da logística das cargas	Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Alto	Baixa	Antaq/ MINFRA	Comunidade portuária TUPs Armadores		A inclusão dessas variáveis no modelo de negócios demandará primeiramente o registro sistemático dos impactos operacionais contendo o evento climático, tempo de ocorrência, tipo de impacto e o custo. Faz-se necessário realizar um estudo da elasticidade dos preços devido a inclusão das variáveis climáticas na formação de custos, frente a impactos na relação de Oferta e Demanda. A inclusão dos custos dos impactos relacionados aos eventos climáticos e a criação de taxas ao operador não resolvem a ocorrência em si do evento climático. Também se faz necessário estudar os impactos financeiros dos custos e taxas considerando o risco do fechamento da operação ou da migração do operador. Portanto, esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento".
			Desenvolvimento de uma base de dados oficiais sobre projeções climática	Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Alto	Média	Antaq/ Minfra/ MCTI	Comunidade portuária TUPs Armadores		As bases e projeções devem ser realizadas na escala geográfica do porto e da área de acesso e com obtenção de dados de microclima e de hidráulica marinha na mesma densidade das estações meteorológicas. Os dados coletados e utilizados na modelagem devem ser guardados em repositórios para facilitar o refino dos modelos e proporcionar melhores análises de séries temporais. A avaliação dos dados poderá ser centralizada. Essa sistematização deve ser encarada como um importante instrumento para a autoridade portuária. Importante destacar que quanto maior a aplicação de telemetria e sensoriamento remoto e transmissão de dados online/RFID/rede sem fio maior será a integridade dos dados. A implantação sistêmica de projeções serve para melhorar o planejamento operacional e proporcionar um sistema de tomada de decisão para mitigação de eventos críticos. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento".

Médio			Aumento na capacidade operacional dos equipamentos (substituição ou inclusão de mais transportadores)	Estrutu-ral	Alto	Alto	Médio	Baixa	Média	Autori-dade Portuária	Operadores	Os riscos jurídicos de curto, médio e longo prazo devem ser considerados na análise do risco do investimento. O aumento da capacidade operacional pode trazer menor tempo de permanência do navio no berço e melhor aproveitamento das janelas operacionais. Sugere-se a consideração da inclusão de linhas independentes de transportadores contínuos para píeres que contenham dois berços existentes, possibilitando embarques ou desembarques simultâneos de navios. Esta medida pode garantir maior eficiência da operação, aproveitando-se de momentos em que não haja condições climáticas adversas.
			Monitoramento de dados climáticos através de uma estação meteorológica no porto	Gerencial	Médio	Alto	Curto	Baixa	Alta	Autorida-de Portuária	Capitania dos Portos (Marinha do Brasil), Praticagem, Operadores	O monitoramento deve estar vinculado ao sistema de modelagem e projeção climática do porto. Demanda estações fluviométricas, anemométricas, medidores de vazão e correntometria ADCP, leitores de nível do mar, monitoramento batimétrico geoestatisticamente significativos na área do porto e ao longo do acesso pela Baia de Todos os Santos. Quanto maior a aplicação de telemetria e sensoriamento remoto e transmissão de dados online/RFID/rede sem fio maior será a integridade dos dados. A implantação sistêmica de projeções serve para melhorar o planejamento operacional e ter um Sistema de Tomada de Decisão para mitigação de possíveis impactos. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de “não arrependimento”.
			Melhoria na comunicação e conhecimento sobre a sazonalidade da carga (planejamento)	Geren-cial	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Alta	Autori-dade Portuária	Operadores, Praticagem, Antaq	Esta medida estaria contemplada com um sistema de monitoramento *just-in-time* da operação e do sistema de coletas sistematizado sobre os danos operacionais e na infraestrutura portuária. Novamente é uma medida de “não arrependimento”, pois pode auxiliar no desenvolvimento informações que garantirão eficiência ao porto, ainda mais se considerar as informações relativas ao clima.
			Desenvolvimento de uma base de dados sistematizada sobre paradas operacionais ou paradas por danos nas infraestruturas causadas por eventos climáticos	Geren-cial	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Alta	Antaq, Autori-dade Portuária	Capitania dos Portos (Marinha do Brasil), Praticagem, Operadores	É ação preliminar para permitir um real diagnóstico do impacto de eventos climáticos na operação e infraestrutura. Serve para gerar série temporal dos eventos e apoiar a tomada de decisão. A base de dados deve contemplar as características operacionais e de infraestrutura existentes com os distintos perfis de cargas operados no complexo portuário impactados pelos eventos climáticos. É uma medida com baixo custo de implantação, mas que demanda empenho entre outorgante e outorgado para gerar a cultura do preenchimento e declaração dos eventos: compreender parte do marco regulatório da outorga. Se possível, deve-se integrar sistemas existentes de telemetria, gestão e comunicação para alimentar automaticamente o sistema (coleta automatizada). Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do Porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de “não arrependimento”. As informações dessa base de dados poderão ser particularmente úteis quando a análise de risco for atualizada.

Médio	Chuva Persis-tente	Infraestrutu-ra de Armazena-mento	Revisão e implantação do Plano de Manutenção	Geren-cial	Baixo	Alto	Curto	Baixo	Média	Arrenda-tário	Empresas de consultoria, engenharia e construção		É uma medida interessante para a conservação dos ativos portuários e a sua execução garante a sobrevida da infraestrutura, dentro de limites de segurança de projeto. Esta medida pode, portanto, reduzir as paralisações de equipamentos, mesmo em condições climáticas adversas, aumentando a eficiência da operação.
Médio			Avaliação e redimensiona-mento da drenagem	Estru-tural	Baixo (Tanque) / Médio (Armazém) / Alto (Pátio)	Baixo (Tanque) / Alto (Armazém e Pátio)	Curto	Baixo (Tanque) / Médio (Armazém e Pátio)	Média	Arrenda-tário	Empresas de consultoria, engenharia e construção		Esta medida requer dimensionamento de equações de chuva e determinação de escoamento superficial e programas. Sugere-se a implantação de drenos profundos e readequação do sistema de drenagem superficial. Há também a possibilidade de instalação de coletores e cisternas para reaproveitamento da água para limpeza e manutenção de pátios, armazéns, tanques e esferas. Esta medida pode trazer benefícios relativos ao aumento da vida útil de pavimentos do viário do sistema de armazenagem e infraestrutura do armazém no entorno. Também inibe a proliferação de mosquitos, vetores de doenças. Trata-se de uma medida que pode garantir a regularidade da operação e a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre equipamentos e infraestruturas em condições adversas. Novas cotas de chuva podem garantir o correto escoamento da água, sem impedimentos ou atrasos operacionais.
			Revisão de procedimentos de segurança e atendimentos às emergências	Geren-cial	Baixo	Médio	Curto	Baixo	Média	Arrenda-tário / Institui-ções associadas / Órgãos regulado-res	Empresas de consultoria e Engenharia		Marinha do Brasil, Autoridade Portuária e ANTAQ devem buscar atualização normativa com a International Maritime Organization (IMO), World Association for Waterborne Transport (PIANC) e associações de referência quanto a segurança, gestão de riscos e mitigação de desastres. É, portanto, uma medida que pode garantir maior segurança à operação do porto. Todos os riscos avaliados podem ser incluídos nos procedimentos de segurança.
Médio	Chuva Forte e/ou Chuva Persisten-te	Transportador contínuo	Inclusão das variáveis climáticas no modelo de negócio da logística das cargas	Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Alto	Média	Antaq/ Minfra	Comunidade portuária TUPs Armadores		A inclusão dessas variáveis no modelo de negócios demandará primeiramente o registro sistemático dos impactos operacionais contendo o evento climático, tempo de ocorrência, tipo de impacto e o custo. Faz-se necessário realizar um estudo da elasticidade dos preços devido a inclusão das variáveis climáticas na formação dos custos, frente a impactos na relação de Oferta e Demanda. A inclusão dos custos dos impactos de eventos climáticos e a criação de taxas ao operador não resolvem a ocorrência em si do evento climático. Faz-se necessário, no entanto, estudar os impactos financeiros dos custos e taxas considerando o risco do fechamento da operação ou a migração do operador. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do Porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de “não arrependimento”.

Médio			Desenvolvimento de uma base de dados oficiais sobre projeções climáticas	Gerencial	Baixo	Baixo	Curto	Alto	Média	Antaq/ Minfra/ MCTI	Comunidade portuária TUPs Armadores		Essas bases e projeções devem ser realizadas na escala geográfica do porto e da área de acesso e com obtenção de dados de microclima e dados de hidráulica marinha na mesma densidade das estações meteorológicas. Assim seria criado um repositório dos dados para refino do modelo e melhores análises de séries temporais. A avaliação dos dados poderá ser centralizada, porém é mandatória a minimização da variabilidade espacial. Essa sistematização deve ser encarada como uma política de Estado para Gestão Portuária, e não uma Política de Governo. Quanto maior a aplicação de telemetria e sensoriamento remoto e transmissão de dados online/ RFID/rede sem fio maior será a integridade dos dados. A implantação sistêmica de projeções serve para melhorar o planejamento operacional e proporcionar um sistema de tomada de decisão para mitigação de eventos críticos. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do Porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento". Com esses dados, será possível atualizar a avaliação de riscos.
			Aumento na capacidade operacional dos equipamentos (substituição ou inclusão de mais transportadores)	Estru-tural e Geren-cial	Alto	Alto	Médio	Alta	Alta	Arrenda-tário	Autoridade Portuária, Antaq, Poder Concedente	Esta medida atende não apenas à prevenção dos riscos climáticos, mas a própria competitividade do porto	Riscos jurídicos de curto, médio e longo prazo devem ser considerados na análise do risco do investimento. O aumento da capacidade operacional pode trazer menor tempo de permanência do navio no berço e melhor aproveitamento das janelas operacionais sem chuvas. Sugere-se a inclusão de linhas independentes de transportadores contínuos para píeres que contenham dois berços existentes, possibilitando embarques ou desembarques simultâneos de navios. Esta medida pode garantir maior eficiência da operação, reduzindo tempo de estadia ou aproveitando-se de momentos em que não haja condições climáticas adversas.
			Monitoramento de dados climáticos através de uma estação meteorológica no porto	Estrutu-ral	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Alta	Autorida-de Portuária	Poder Concedente, Antaq e Arrendatários		O monitoramento deve estar vinculado ao sistema de modelagem e projeção climática do porto. Demanda estações fluviométricas, anemométricas, medidores de vazão e correntometria ADCP, leitores de nível do mar, monitoramento batimétrico geoestatisticamente significativos na área do porto e ao longo do acesso pela Baia de Todos os Santos. Quanto maior a aplicação de telemetria e sensoriamento remoto e transmissão de dados online/RFID/rede sem fio maior será a integridade dos dados. A implantação sistêmica de projeções serve para melhorar o planejamento operacional e proporcionar um sistema de tomada de decisão para mitigação de eventos críticos. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento". Com esses dados, será possível atualizar a avaliação de riscos.

			Melhoria na comunicação e conhecimento sobre a sazonalidade da carga (planejamento)	Gerencial	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Média	Arrendatários e Operadores Portuários	Autoridade Portuária	Esta medida atende não apenas à prevenção dos riscos climáticos, mas a própria competitividade do porto	Esta medida estaria contemplada com o sistema de monitoramento *just-in-time* da operação e do sistema de coletas sistematizado sobre os danos operacionais e na infraestrutura portuária É uma medida de "não arrependimento", pois pode auxiliar no desenvolvimento informações que garantirão eficiência ao porto, ainda mais se considerar as informações relativas ao clima.
			Desenvolvimento de uma base de dados sistematizadas sobre paradas operacionais ou paradas por danos nas infraestruturas causadas por eventos climáticos	Gerencial	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Média	Arrendatários e Operadores Portuários	Autoridade Portuária	Esta medida atende não apenas à prevenção dos riscos climáticos, mas a própria competitividade do porto	É ação preliminar para permitir um real diagnóstico do impacto de eventos climáticos na operação e infraestrutura. Serve para gerar série temporal dos eventos e apoiar a tomada de decisão. Deve contemplar as características operacionais e de infraestrutura existentes com os distintos perfis de cargas operados no complexo portuário impactados pelos eventos climáticos. Possui baixo custo de implantação, mas demanda empenho entre outorgante e outorgado para gerar a cultura do preenchimento e declaração dos eventos: compreender parte do marco regulatório da outorga. Se possível, deve-se integrar sistemas existentes de telemetria, gestão e comunicação para alimentar automaticamente o sistema (coleta automatizada). Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento", pois pode auxiliar no desenvolvimento informações úteis à avaliação de riscos climáticos.
Médio	Chuva Forte e/ou Chuva Persistente	Infraestrutura de Armazenamento	Revisão e implantação do Plano de Manutenção	Gerencial	Alto	Alto	Médio	Baixo	Baixa	Arrenda-tário	Empresas de consultoria, engenharia e construção, Autoridade Portuária, Antaq e Poder Concedente		É uma medida interessante para a conservação dos ativos portuários e a sua execução garante a sobrevida da infraestrutura, dentro de limites de segurança de projeto. Trata-se de uma medida que pode garantir a regularidade da operação e a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre equipamentos e infraestruturas em condições adversas.

Médio			Avaliação e redimensionamento da drenagem	Estrutural	Alto	Alto	Longo	Alto	Alta	Arrenda-tário, Autori-dade Portuária (área comum)	Empresas de consultoria, engenharia e construção		Requer dimensionamento de equações de chuva e determinação de escoamento superficial e programas. Sugere-se a implantação de drenos profundos e readequação do sistema de drenagem superficial. Também há a possibilidade de instalação de coletores e cisternas para reaproveitamento da água para limpeza e manutenção de pátios, armazéns, tanques e esferas. Esta medida traz benefícios relativos ao aumento da vida útil de pavimentos do viário do sistema de armazenagem e infraestrutura do armazém no entorno. Além disso, pode inibir a proliferação de mosquitos, vetores de doenças. Esta medida pode garantir a continuidade dos serviços prestados, uma vez que os projetos poderão incluir a variável climática, reduzindo potenciais paralisações, que podem gerar custos operacionais importantes.
			Revisão de procedimentos de segurança e de atendimentos às emergências	Gerencial	Baixo	Alto	Curto	Baixo	Média	Arrenda-tário / Institui-ções associadas / Órgãos reguladores	Empresas de consultoria e Engenharia		Marinha do Brasil, Autoridade Portuária e ANTAQ buscam atualização normativa com a International Maritime Organization (IMO), World Association for Waterborne Transport (PIANC) e associações de referência quanto a segurança, gestão de riscos e mitigação de desastres quanto a embarcações, infraestrutura portuária e operação marítima. Trata-se de uma medida que pode garantir a regularidade da operação e a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre equipamentos e infraestruturas em condições adversas.
Médio	Chuva Forte e/ou Persistente	Berço	Ampliação do sistema de drenagem	Estrutural e Gerencial	Alto	Alto	Longo	Alta	Baixa	Responsável pela infraestrutura	Autoridade Portuária, Antaq, Poder Concedente		Pontes e berços dos píeres devem receber melhorias no sistema de drenagem, com adequação da declividade transversal e longitudinal da superfície, sarjetas e bueiros sob a estrutura que permita escoamento superficial e boa drenagem, não gerando empoçamento de água ou riscos laborais aos colaboradores. Essas características provêm ganho de vida útil da estrutura de concreto do píer/ponte e salubridade laboral. Trata-se de uma medida que pode garantir a regularidade da operação e a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre infraestruturas em condições adversas
Médio	Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar	Berços	Garantia da adequada gestão dos ativos	Gerencial	Baixo	Médio	Curto	Alta	Média	Autori-dade Portuária	Empresas de consultoria e Engenharia		A aplicação dessa boa prática por parte da Autoridade Portuária e Operadores deverá inserir os projetos, processos e investimentos em protocolos que visem mitigar os impactos das mudanças do clima na operação e infraestrutura do complexo portuário.

Médio			Atualização das condições de projeto	Estrutural	Médio	Alto	Médio	Média	Média	Autori-dade Portuária			Deve-se realizar projeto de Engenharia Portuária para mitigar os impactos de eventos climáticos adversos ou realizar projetos de Engenharia Civil referente à estabilidade de taludes lindeiros ao terminal e à drenagem pluvial. Também é importante executar projetos de modificação, melhoria e ampliação das infraestruturas de armazéns, pátios, vias ferroviárias e rodoviárias e novas zonas de terminais do PDZ considerando as componentes de alteração climática e respectivas demandas de mitigação de impacto. Esta medida pode garantir a continuidade dos serviços prestados, uma vez que os projetos poderão incluir a variável climática, reduzindo potenciais paralisações nos berços, que podem gerar custos operacionais importantes. É importante que as mudanças sejam realizadas considerando os piores cenários climáticos.
			Elaboração de procedimento de emergência	Gerencial	Baixo	Baixo	Curto	Baixo	Média	Autori-dade Portuária	Arrenda-tários / Operador Portuário		Procedimentos convergentes com a Marinha do Brasil, Autoridade Portuária, International Maritime Organization (IMO), World Association for Waterborne Transport (PIANC), Defesa Civil (quando o caso) e Normas de Segurança do Trabalho (novas ou criadas para mitigação de condições climáticas adversas). É uma medida que busca preservar a segurança da operação e dos colaboradores responsáveis pelo embarque e desembarque de produtos nos navios.
			Desenvolvimento de sistema de monitoramento (estação e gestão)	Estrutu-ral e Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Baixo	Alta	Autori-dade Portuária	Empresa especiali-zada		Um sistema de registro e previsão pode apoiar um sistema de apoio à tomada de decisão, uma vez que ele deverá estar fundamentado em dados históricos do complexo portuário, tendo: registros de paralisações operacionais e danos a infraestrutura por motivos climáticos; previsão operacional de embarque e desembarque de cargas nos terminais; dados de estações meteorológicas e de hidráulica marítima; modelagem e acesso aos resultados de previsão climática (microclima e macroclima) em diversos horizontes temporais; sensores, balanças e medidores de vazão dinâmicos para mensurar taxas de cadência de transferência nos navios. O sistema deve permitir o acesso a diferentes usuários: Marinha do Brasil, Operador Portuário, ANTAQ ou outros órgãos, Autoridade Portuária e Praticagem. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento".

Médio	Inundaçõ-es devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar	Berços e Equipamen-tos de Içamento	Desenvolvimento de sistema de monitoramento (estação e gestão)	Estrutu-ral e Geren-cial	Médio	Baixo	Médio	Médio	Média	Autori-dade Portuária	Empresa especiali-zada		Um sistema de registro e previsão pode apoiar um sistema de apoio à tomada de decisão, uma vez que ele deverá estar fundamentado em dados históricos do complexo portuário, tendo: registros de paralisações operacionais e danos a infraestrutura por motivos climáticos; previsão operacional de embarque e desembarque de cargas nos terminais; dados de estações meteorológicas e de hidráulica marítima; modelagem e acesso aos resultados de previsão climática (microclima e macroclima) em diversos horizontes temporais; sensores, balanças e medidores de vazão dinâmicos para mensurar taxas de cadência de transferência nos navios. O sistema deve permitir o acesso a diferentes usuários: Marinha do Brasil, Operador Portuário, ANTAQ ou outros órgãos, Autoridade Portuária e Praticagem. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento".
Médio			Revisão dos procedimentos de atracação, operacionais e de emergência considerando parada do equipamento de içamento em cenários de inundação do berço	Estrutu-ral e Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Baixo	Baixa	Autorida-de os Portuária	Arrendatá-rios / Operador Portuário		Protocolo a ser elaborado pela Autoridade Portuária, com anuência da Praticagem e Marinha do Brasil. Sugere-se a elaboração em duas distintas etapas. A primeira considerando um protocolo emergencial para o status do terminal sem execução de obras de Engenharia Portuária e Engenharia Civil, podendo atender demandas imediatas. A segunda fase desse protocolo, consideraria ações a serem realizadas, considerando mitigações dos eventos em consonância com o cronograma de implantação das obras e melhorias de Engenharia Portuária e Engenharia Civil. Esses procedimentos visam adequar a operação para os cenários críticos climáticos, evitando ou minimizando os impactos e custos com infraestrutura, equipamentos e navios.
			Realização de estudo de engenharia para definição de sistema de contenção física e drenagem nos berços	Estru-tural	Baixo	Médio	Médio	Baixo	Baixa	Autori-dade Portuária	Arrenda-tários		Pontes e berços dos píeres devem receber melhorias no sistema de drenagem, com adequação da declividade transversal e longitudinal da superfície, sarjetas e bueiros sob a estrutura que promova escoamento superficial e boa drenagem, não gerando empoçamento de água ou riscos laborais aos colaboradores. Essas características provêm ganho de vida útil da estrutura de concreto do píer/ponte e salubridade laboral. É, portanto, uma medida que busca garantir informações úteis para o planejamento visando a prestação de um serviço adequado. Com esses estudos, os sistemas poderão ser dimensionados para condições climáticas futuras, reduzindo-se impactos e custos associados.
Médio	Inunda-ções devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar	Berços	Garantia adequada gestão dos ativos	Gerencial	Baixo	Alto	Curto	Baixa	Pouca urgência	Autorida-de Portuária	Arrendatá-rios		A aplicação dessa boa prática por parte da Autoridade Portuária e Operadores deverá inserir os projetos, processos, e investimentos em protocolos que visem mitigar os impactos das mudanças do clima na operação e infraestrutura do complexo portuário.

Médio			Atualização das condições de projeto	Estrutural	Alto	Alto	Longo	Alta	Média	Autori- dade Portuária	Arrendatá-rios, Poder Concedente		Deve-se realizar projeto de Engenharia Portuária para mitigar os impactos de eventos climáticos adversos ou realizar projetos de Engenharia Civil referente à estabilidade de taludes lindeiros ao terminal e à drenagem pluvial. Também é importante executar projetos de modificação, melhoria e ampliação das infraestruturas de armazéns, pátios, vias ferroviárias e rodoviárias e novas zonas de terminais do PDZ considerando as componentes de alteração climática e respectivas demandas de mitigação de impacto. Esta medida pode garantir a continuidade dos serviços prestados, uma vez que os projetos poderão incluir a variável climática, reduzindo potenciais paralisações nos berços, que podem gerar custos operacionais importantes. É importante que as mudanças sejam realizadas considerando os piores cenários climáticos.
			Elaboração de procedimento de emergência	Geren-cial	Baixo	Baixo	Curto	Baixo	Pouca urgência	Autori-dade Portuária	Arrendatá-rios / Operador Portuário		Procedimentos convergentes com a Marinha do Brasil, Autoridade Portuária, International Maritime Organization (IMO), World Association for Waterborne Transport (PIANC), Defesa Civil (quando o caso) e Normas de Segurança do Trabalho (novas ou criadas para mitigação de condições climáticas adversas). É uma medida voltada à segurança da operação e que pode definir processos e padrões caso alguma emergência (inclusive climática) aconteça.
			Desenvolvimento de sistema de monitoramento (estação e gestão)	Estrutural e Gerencial	Baixo	Baixo	Curto	Baixo	Média	Autori-dade Portuária	Poder Concedente		Um sistema de registro e previsão pode apoiar um sistema de apoio à tomada de decisão, uma vez que ele deverá estar fundamentado em dados históricos do complexo portuário, tendo: registros de paralisações operacionais e danos a infraestrutura por motivos climáticos; previsão operacional de embarque e desembarque de cargas nos terminais; dados de estações meteorológicas e de hidráulica marítima; modelagem e acesso aos resultados de previsão climática (microclima e macroclima) em diversos horizontes temporais; sensores, balanças e medidores de vazão dinâmicos para mensurar taxas de cadência de transferência nos navios. O sistema deve permitir o acesso a diferentes usuários: Marinha do Brasil, Operador Portuário, ANTAQ ou outros órgãos, Autoridade Portuária e Praticagem. Esta medida deverá garantir o correto planejamento das atividades futuras do porto, que pode se traduzir na continuidade dos serviços prestados com atenção à segurança da operação. É uma medida de "não arrependimento".
Baixo	Vento Forte	Berços	Reforço nas bases dos equipamentos instalados sobre trilhos no berço	Estrutu-ral	Alto	Alto	Longo	Alta	Baixa	Responsá-vel pela infraestrutura	Autoridade Portuária, Antaq, Poder Concedente		O reforço deve considerar o conjunto estrutural da ponte e píer quanto a gabarito do nível d'água. Deve considerar também a necessidade do levantamento da cota operacional dos cabeços e *dolfins,* considerando margens de segurança da nova cota de inundação e a ocorrência de ondas, devido a vento. Sistemas de trilhos de locomoção e pontos de ancoragem para equipamentos de transbordo de carga (*shiploaders* / guindastes com *grabs*) devem ter infraestrutura com elevação de cota operacional. Trata-se de uma medida que pode reduzir riscos estruturais e aumentar a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre equipamentos em condições adversas. Com o reforço, a estrutura fica menos susceptível ao efeito de eventos climáticos extremos.

Baixo	Chuva Forte	Acesso Viário	Ampliação da rede de infraestrutura de drenagem interna (porto) e dos arrendamentos	Estrutu-ral e Geren-cial	Alto	Alto	Curto	Alta	Alta	Arrendatários (áreas arrenda-das) e Autorida-de Portuária (área comum)	Autoridade Portuária, Antaq, Poder Concedente		Requer dimensionamento de equações de chuva e determinação de escoamento superficial e programas. Sugere-se a implantação de drenos profundos e readequação do sistema de drenagem superficial. Outras opções de intervenção são o redimensionamento das sarjetas e valetas do sistema viário rodoferroviário e dos taludes adjacentes, a verificação de dissipadores de energia no final de rede e a inserção de sistemas de retenção e filtragem na rede de drenagem para contenção de derrames de produtos químicos e inflamáveis de veículos terrestres. O dimensionamento do sistema de drenagem nas áreas de expansão para novos operadores deve considerar as precipitações e tempos de recorrência críticos. Assim, poderão ser verificados benefícios relativos ao aumento da vida útil de pavimentos e a inibição da proliferação de mosquitos, vetores de doenças. Trata-se de uma medida que pode garantir a regularidade da operação e a segurança dos colaboradores, uma vez que reduz a pressão sobre equipamentos e infraestruturas em condições adversas. Permitir o bom escoamento é essencial às atividades do porto, uma vez que o transporte de carga é, muitas vezes, feito através do sistema viário.

5 :: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Levantamento do Histórico de Impactos associados ao Clima

As análises realizadas no levantamento do histórico de impactos associados ao clima identificaram que os eventos climáticos extremos já vêm causando uma série de paralisações à operação do Porto de Aratu. Verifica-se um aumento de paralisações por nebulosidade, ventos de maior intensidade e chuvas extremas.

Além da análise dos dados, considerando as trocas com os técnicos da Autoridade Portuária, foram identificadas ameaças climáticas prioritárias para o porto. Logo abaixo apresenta-se sua relação com o estudo ANTAQ (2021a):

- Vendavais: índice de risco médio para o período observado e para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 em 2030, e alto para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 em 2050;
- Enchentes e inundação fluvial: o índice de risco de tempestades para Aratu é muito alto, tanto para o período observado quanto para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 em 2030 e 2050;
- Ressaca: não foi avaliado no ranqueamento, mas foi incluído na avaliação por se tratar de um problema com ligação com vendavais e tempestades;
- Aumento do nível do mar: índice de risco muito alto para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 em 2030 e 2050;
- Neblina: não foi avaliado no ranqueamento, mas a análise dos dados identificou como potencialmente relevante;
- Ondas de Calor: não foi avaliado no ranqueamento, mas foi incluído na análise uma vez que pode se tornar relevante ao longo dos anos.

Como forma de sistematizar as informações, a Tabela 51 apresenta as respostas às perguntas que nortearam o documento, trazendo ainda a referência às páginas que trazem o respectivo detalhamento no documento.

Tabela 51: Respostas às perguntas norteadoras

Perguntas norteadoras	Resposta e referências no Levantamento do histórico de impactos associados ao clima
Quais são os impactos (danos e prejuízos) que cada porto tem sofrido devido aos eventos climáticos?	O Porto de Aratu vem sofrendo algumas paralisações devido a eventos climáticos conforme foi relatado por técnicos da autoridade portuária e terminais durante visita técnica e reuniões online. Foi relatado que as paralisações não são longas e que o porto possui uma posição privilegiada que o protege de intempéries violentas. De todo modo, alguns dos motivos das paralisações são: • Interrupção da navegação no canal de acesso devido a condições extremas de vento; • carregamento de granéis sólidos interrompido por chuvas; Os danos operacionais por paralisações são apresentados por meio de análise de paralisações para um curto período de dados compreendido entre 2019 e 2020 e 2021 nas Seções 4.1.2 e 4.1.5). Apesar de relatos sobre danos, não foi possível compilar uma relação dos prejuízos, uma vez que o registro histórico não foi apresentado. Há indícios de um evento importante: • incêndio próximo aos terminais, originado em função de folhagem seca em período de estiagem, e que exigiu a mobilização dos brigadistas de todos os terminais – sem menção à data.
Quando ocorreram estes impactos?	O Porto de Aratu não dispõe de série histórica de danos estruturais sistematizada e organizada, não havendo, portanto, registros de impactos às infraestruturas e superestruturas. Por outro lado, o porto possui dados organizados de paralisações para o período de 2019 a 2021, possibilitando a análise dos impactos operacionais para o período disponibilizado. As datas das paralisações podem ser consultadas na Seção 4.1.2 Histórico de impactos associados ao clima.
Quais foram as variáveis hidro-meteorológicas e/ou oceanográficas que causaram o impacto?	As variáveis que explicam as paralisações são nebulosidade (que pode ser correlacionada com eventos de neblina), velocidade do vento e precipitação. Os detalhes podem ser visualizados na Seção 4.1.2. Outras ameaças identificadas como prioritárias para os estudos pelos técnicos da Autoridade Portuária foram ressaca, aumento do nível do mar, enchentes e ondas de calor.
Quais são as infraestruturas e superestruturas de interesse?	As principais infraestruturas ou superestruturas de interesse são o canal de acesso, a bacia de evolução, a acostagem, os equipamentos, os galpões de armazenamento e o sistema viário. Essas infraestruturas e superestruturas são apontadas nos -itens de Caracterização do porto (Seção 4.3.1) de Principais infraestruturas e superestruturas e no de Identificação da relação entre infraestruturas e ameaças climáticas (Seção 4.3.2).
Quais são as variáveis climáticas que afetam cada elemento da infraestrutura e da superestrutura?	Como o Porto de Aratu não dispõe de dados que apontem a relação de causalidade entre ameaças climáticas e impactos às infraestruturas ou superestruturas, foi feita avaliação do potencial de paralisação e dano com base na expertise de especialistas e as informações foram validadas com atores do porto. O detalhamento desse ponto pode ser encontrado no Seção 4.3.2.
Qual é a relação de causa-efeito entre as ameaças climáticas e seus possíveis impactos?	As relações de causa-efeito podem ser visualizadas através das cadeias de impacto, na Seção 4.1.4.

Fonte: elaboração própria.

Dentre as limitações do estudo, pode-se citar principalmente as limitações dos dados de danos/paralisações. Em geral, uma série histórica longa poderia dar suporte a análises mais robustas, mas o Porto de Aratu só possuía dados sistematizados a partir de meados de 2019. Os dados também indicavam paralisações por motivo de "fortuito", que, conforme destacado por atores da CODEBA, poderiam ser por eventos de falta de energia, chuva ou outro evento climático. Ademais, o porto não identificou registro histórico de danos.

A principal recomendação para o Porto de Aratu se relaciona com a sistematização de dados. Uma simples tabela no Excel pode apoiar a organização de informações de paralisações e danos, registrando-se data, horário, motivo e efeito. Isso ajudaria o porto em estudos posteriores, que podem trazer mensagens importantes sobre os efeitos das mudanças climáticas. Recomenda-se ainda que essa sistematização seja centralizada na autoridade portuária, mas preenchida por todos os terminais.

O próximo passo do estudo é o levantamento do nível de probabilidade de ocorrência das ameaças climáticas para o clima atual e futuro. Nele serão respondidas as seguintes perguntas:

- Com base nos dados observacionais, a frequência das ameaças climáticas está aumentando/diminuindo?
- Com base nos modelos de clima e índices genéricos, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?
- Qual é o nível de concordância (%) entre as projeções dos modelos de clima quanto ao sinal de mudança?
- Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?

A partir do levantamento da probabilidade das ameaças climáticas é possível, portanto, conhecer os limiares das variáveis climáticas com potencial de causar impactos ao porto (por exemplo, a qual velocidade do vento há risco de queda de um guindaste), se as condições climáticas de temperatura, precipitação e velocidade do vento vem aumentando ou diminuindo ao longo dos anos e causando uma frequência maior de impacto e quais as perspectivas futuras para o Porto de Aratu nos anos de 2040, 2070 e 2100, utilizando-se como baseline o período de 1995 – 2014.

5.2. Levantamento da Probabilidade das Ameaças Climáticas

As análises realizadas nesta etapa identificaram a classificação da probabilidade para diferentes indicadores de extremos climáticos, tanto para o clima passado, considerando a climatologia observada, quanto para o potencial clima futuro, a partir dos dados de projeções de mudança do clima.

Essa classificação só foi possível a partir desses dados e também da definição de uma escala de probabilidade que levou em consideração elementos da literatura, das normas e legislações aplicáveis ao porto, além das informações da etapa anterior.

Esses resultados são de fundamental importância para a análise de risco, uma vez que combinados aos resultados de severidade (terceira etapa), trarão o nível de risco para cada infraestrutura

e para cada ameaça climática no cálculo do risco climático. Segundo ENGINEERS CANADA (2016), as pontuações de probabilidade climática combinadas às pontuações de severidade fornecem informações sobre o risco, apoiando assim na priorização de medidas de adaptação.

Diante das limitações verificadas no desenvolvimento desta etapa, sugerem-se os seguintes aprimoramentos aos portos que futuramente desejarem desenvolver estudos com escopo similar:

- Aprimorar o registro de impactos e causas para definir melhor os limiares das ameaças climáticas;
- Aprimorar o monitoramento de variáveis climáticas;
- Usar dados de estações meteorológicas locais e outros produtos de clima (p.ex., MSWEP2) para identificar de maneira mais acurada os limiares climáticos que causam danos significativos;
- Incluir outras ameaças climáticas (p.ex., Neblina).

Ressaltamos ainda os seguintes ajustes que alternativamente podem ser feitos nos estudos futuros a fim de melhorar a visualização dos resultados em função do conjunto de dados disponíveis:

- Utilizar uma escala de probabilidade com um número maior de classes. Por conveniência e simetria com a escala de severidade, adotou-se 5 classes de probabilidade. No entanto, para aumentar a sensibilidade da escala e assim representar melhor as mudanças futuras mais sutis, recomenda-se aumentar o número de classes (p.ex., 7);

- Incluir projeções de modelos regionais de clima no desenvolvimento de cenários de mudança do clima. Embora o número de projeções regionais e variáveis (p.ex., vento) seja limitado em comparação com as projeções globais e a versão dos modelos forçantes seja mais antiga (CMIP5), a iniciativa CORDEX-South America3 disponibiliza um número razoável de projeções regionais de clima que podem contribuir para a construção de cenários de mudança do clima mais robustos.

Como forma de sistematizar as informações desta etapa, a Tabela 52 apresenta as respostas às perguntas que nortearam o documento, trazendo ainda a referência às páginas que trazem o respectivo detalhamento no documento.

Tabela 52: Respostas às perguntas norteadoras

Perguntas norteadoras	Resposta e referências no levantamento da probabilidade das ameaças climáticas
Com base nos dados observacionais, a frequência das ameaças climáticas está aumentando/ diminuindo?	Em geral, observa-se uma redução da precipitação total para a região do Porto de Aratu e um aumento na temperatura máxima. A velocidade do vento não possui tendência estatística significativa, a não ser para ventos moderados, que poderá aumentar no cenário de baixa emissão. Há, no entanto, uma tendência de aumento no número máximo de dias com chuva acima de 20 milímetros, principalmente no longo prazo, mostrando que há maior potencial de eventos extremos com potencial de causar impactos. Por fim, não há tendência significativa para o número de dias com chuva persistente.
Com base nos modelos de clima e indicadores genéricos, a frequência das ameaças climáticas irá aumentar/diminuir no futuro?	As ameaças apresentam os seguintes comportamentos: **Vento Fraco (3 m/s):** Probabilidade de acontecer 'Frequentemente'. Esse índice não teve o nível de probabilidade modificado para os cenários dos horizontes futuros. **Vento Moderado (7 m/s**): Probabilidade de acontecer 'Quase nunca' no período de base. Os cenários SSP5 dos horizontes futuros aumentaram seu nível de probabilidade em dois pontos, tornando-se 'Ocasionais'. O cenário SSP2, por sua vez, manteve-se no mesmo nível de probabilidade da linha de base. **Vento Forte (10 m/s)**: A probabilidade de acontecer 'Ocasionalmente' na linha de base e nos horizontes futuros. No cenário SSP2 no horizonte 2041-2060 o valor passa a uma probabilidade de acontecer 'Frequentemente'. **Chuva Persistente (1 mm)**: Probabilidade de acontecer 'Muito frequentemente' na climatologia de base. Nos cenários futuros, esse nível de probabilidade permanece o mesmo para os cenários SSP2. Para o cenário SSP5, a probabilidade também se mantém a mesma da linha de base, com exceção do período entre 2081-2100. Nesse período, há uma redução de um nível, tornando-se um evento que pode ocorrer 'Frequentemente'. **Chuva Forte (20 mm**): Apresenta probabilidade de acontecer 'Ocasionalmente' na linha de base e nos horizontes futuros. No cenário SSP2 no horizonte 2041-2060 o valor passa a uma probabilidade de acontecer 'Frequentemente'. **Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar**: A probabilidade de acontecer é de 'Quase nunca' para o indicador durante os anos da linha de base (1981 a 2000). Avaliando os cenários, é possível dizer que o nível de probabilidade aumenta ao longo do tempo, com a classificação ocorrendo 'Raramente' a partir do período de 2041-2060. Mais detalhes na Seção 4.2.2.1.
Qual é o nível de concordância (%) entre as projeções dos modelos de clima quanto ao sinal de mudança?	Os maiores valores de concordância foram avaliados para as ameaças de Ventos Moderados, Chuvas Persistentes e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar. Mais detalhes na Seção 4.2.2.2.
Os cenários de mudança do clima futuro corroboram com a tendência observada no clima atual?	As tendências do clima atual dos indicadores de Vento Fraco (3 m/s), Vento Forte (10 m/s), Chuva Persistente (1 mm), Chuva forte (20 mm) e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m de Nível do Mar (ANM) corroboram com os cenários de mudança do clima futuro. Mais detalhes na Seção 4.2.2.2.

5.3. Levantamento das Infraestruturas Portuárias e Severidade

As análises realizadas nesta etapa identificaram, em primeiro lugar, uma lista de infraestruturas e estruturas de interesse utilizando como base as informações do PDZ do Porto de Aratu. Observa-se a existência de uma série de equipamentos que apresentam interações adversas com eventos climáticos, principalmente com Chuva Forte, como as Infraestruturas de Armazenamento. Esse fato não descarta que os terminais também não possam sofrer impactos em função de outros eventos climáticos. Por exemplo, há uma alta sensibilidade operacional quanto à possibilidade de ocorrência de chuva, principalmente para o embarque e desembarque de granéis sólidos: fertilizantes, açúcar, soja, milho e farelos.

Em geral, pode-se concluir que as características construtivas e de operação das infraestruturas e equipamentos são dimensionados para suportar as cargas operacionais dentro de limites de condições climáticas adversas, além de condições de segurança estabelecidas pelo projetista. Por exemplo, aplicando-se as informações contidas na NBR 9782 e na etapa anterior quanto aos limites operacionais, verifica-se que a atual regra de impraticabilidade da barra quando há condições de vento desfavoráveis é fator positivo para a preservação da vida útil da infraestrutura portuária.

No entanto, como observado nas demais etapas, com a mudança climática, pode haver intensificação de eventos climáticos, com efeitos adversos importantes na operação e na infraestrutura, uma vez que alguns desses eventos podem ultrapassar a carga operacional na qual os equipamentos e infraestrutura foram dimensionados.

Como um todo, para os perfis de carga de Granéis Líquidos, as severidades que alcançaram maior nota dentro da escala de severidade (Nível 3 – Médio) ocorreram principalmente para os equipamentos de Berços, Equipamentos de Içamento e o Transportador Contínuo. As ameaças que mais contribuíram para esse nível de severidade se referem a Vento Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar. Essas estruturas e equipamentos estão diretamente ligados aos procedimentos de embarque e desembarque de carga, que podem ser impactados diante de condições adversas que extrapolam as condições adequadas de segurança de operação.

Para Granéis Sólidos, as estruturas de maior valor de severidade (Nível 3 – Médio) são Berços, Infraestruturas de Armazenamento, Equipamentos de Içamento e Transportador Contínuo, em sua maioria associadas às ameaças de Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar. Novamente, as condições de segurança no embarque e desembarque podem ser afetadas por eventos extremos. Para esse perfil de carga, há evidente preocupação também com a aglutinação de certos produtos, como fertilizantes e açúcar. Em geral, apesar de terem uma severidade média, verifica-se a prática de fechamento de porões nos navios quando as condições se tornam potencialmente adversas.

Por fim, para Produtos Gasosos, as infraestruturas que possuem maior grau de severidade foram Berços, Equipamentos de Içamento e Transporte Contínuo, estando relacionadas em sua maioria à ameaça de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar.

Como forma de sistematizar as informações do levantamento das infraestruturas portuárias e severidade, a Tabela 53 apresenta as respostas às perguntas que nortearam o documento, trazendo ainda a referência às páginas que trazem o respectivo detalhamento no documento.

Tabela 53: Respostas às perguntas norteadoras

Perguntas norteadoras	Resposta e referências no levantamento das infraestruturas portuárias e severidade
Quais são os possíveis níveis de severidade (estrutural e operacional) que as infraestruturas podem sofrer?	Em geral, pode-se dizer que, em relação à severidade estrutural e operacional, as interações de maior preocupação envolvem as infraestruturas de Berços, Transporte Contínuo, Infraestruturas de Armazenamento e Equipamentos de Içamento. As principais ameaças climáticas estão associadas às interações de Nível 3 (Média). As ameaças que mais apresentaram esses níveis foram as ameaças de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Chuva Forte. Mais detalhes na Seção 4.3.3.
Existe interação entre a infraestrutura X e a ameaça climática Y?	Considerando, por exemplo, a classificação de severidade estrutural para Granéis Líquidos, verifica-se que os Canais Interno e Externo não possuem interação com episódios de chuva. No entanto, Vento Muito Forte pode paralisar as operações com navios, dadas as restrições de segurança. Outros elementos do lado “água” como Bacia de Evolução e Sinalização Náutica também apresentam a mesma interação. As demais infraestruturas, como Berços, Edificações, Infraestruturas de Armazenamento, possuem interação com eventos de Chuva Forte, mas não de Chuva Persistente. Também não são observadas interações com Vento Fraco. Equipamentos de Içamento e Empilhadeiras também não apresentam interação com Chuva Persistente. Por fim, Transportadores Contínuos e Acesso Viário não apresentam interação com Chuva Persistente ou Vento Moderado. Importante ressaltar que Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar não tem interação apenas com Canal Externo e Empilhadeiras, sendo que estas não interagem por possuírem mobilidade. De modo geral, essas interações variam quando se avalia a severidade operacional e a severidade estrutural. Também variam em função da carga. Por exemplo, Graneis Sólidos tendem a ter interação até mesmo com Chuva Persistente, que pode causar problemas operacionais. O mesmo não acontece com produtos gasosos, por exemplo, por serem transportados e operados de formas distintas. Mais detalhes na Seção 4.3.2.

Caso positivo, qual é o nível de severidade?	Os graus de severidade encontrados na análise por perfil de carga variaram de 1 (Desprezível) até 3 (Médio). Nessa análise não houve interações com nível de severidade igual a 4 (Crítico) e 5 (Catastrófico). Um exemplo de nível de severidade estrutural média ocorre para a interação entre Berços e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar, considerando a carga de Granéis Sólidos. Também é vista uma severidade operacional média para esse tipo de carga, para a interação entre Chuva Forte e Infraestrutura de Armazenamento e Transportadores Contínuos, além da interação de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Berços. Também é observado uma severidade operacional média para a interação de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Berços, Equipamentos de Içamento e Transportadores Contínuos ao se considerar Produtos Gasosos. Mais detalhes na Seção 4.3.4.

Fonte: elaboração própria.

5.4. Cálculo do Risco Climático

Conhecer os riscos climáticos é fundamental para a orientação de potenciais medidas de adaptação visando aumento da resiliência das infraestruturas e redução dos efeitos climáticos adversos sobre a operação. Embora as análises de risco possuam incertezas sobre a dimensão dos impactos, isso não deve impedir que o porto faça a gestão dos seus riscos relacionados à eventos climáticos futuros. Na realidade, os custos e riscos da inação ou ação atrasada serão certamente muito maiores. As informações desta etapa são um primeiro passo em direção a uma gestão mais assertiva dos riscos climáticos, devendo-se considerar que a ISO 14.091 indica a necessidade de monitoramento e revisão dos riscos de forma contínua, mesmo daqueles que nesta avaliação são considerados “baixos” ou “médios”.

Ao longo do desenvolvimento do levantamento da probabilidade das ameaças climáticas, verificou-se que as ameaças de maior probabilidade de ocorrência no Porto de Aratu são Chuvas Persistentes e Ventos Fracos. Já nesta etapa, observou-se relações de destaque para interações que envolviam as infraestruturas de Berços, Equipamentos de Içamento e Transporte Contínuo e as ameaças Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar.

Como resultado da interação entre severidade e probabilidade associada, o cálculo do risco climático revela os riscos de maior atenção para o porto. Para os perfis de carga de Granéis Líquidos e Produtos Gasosos, o risco estrutural é baixo para qualquer interação entre ameaça e estrutura portuária. Por outro lado, as interações entre as ameaças Inundações devido ao

Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Chuva Forte e as estruturas de Berços, Transportadores Contínuos, Equipamentos de Içamento e Infraestruturas de Armazenamento apresentaram um risco operacional “médio”.

Em relação aos Granéis Sólidos, o risco estrutural de maior valor avaliado é “médio” para a interação entre os Berços e a ameaça Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e para as interações entre Chuva Forte e Transportadores Contínuos e Infraestruturas de Armazenamento. O maior risco operacional – risco “médio” – está associado às infraestruturas anteriores em adição dos Equipamentos de Içamento envolvendo ameaças de Chuva Persistente, Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar.

Para compreendimento dos riscos, o porto deve entender que os valores apresentados pelas interações das matrizes de riscos podem apresentar duas situações:

- Probabilidade muito baixa e severidade muito alta; ou
- Severidade muito baixa e probabilidade muito alta.

No primeiro caso, recomenda-se que o porto, ao saber que uma severidade é relevante e que o evento é possível, mesmo que improvável, mantenha atenção à interação. Ainda, é possível que o porto inclua tal interação em análise adicional, para investigar melhor a potencialidade de danos.

No segundo caso, as interações podem indicar uma situação na qual a infraestrutura poderia estar sujeita a maiores exposições às intempéries, resultando em altas demandas de manutenção, crescimento de custos e capacidade geral reduzida (ENGINEERS CANADA, 2016). Assim, recomenda-se que o porto os verifique na análise geral da matriz de risco.

De forma geral, o Porto de Aratu deve atentar para as Inundações devido ao Aumento do Nível do Mar a partir do médio prazo e se preparar para eventos de Chuva Forte e Persistente, adaptando seus equipamentos, máquinas e infraestruturas às tecnologias modernas que resistam melhor às condições de umidade. Procedendo assim, o porto previne paralisações e prejuízos financeiros significativos.

A Tabela 54 a seguir visa responder as perguntas norteadora estabelecidas para esta etapa.

Tabela 54: Respostas às perguntas norteadoras

Perguntas norteadoras	Resposta e referências no cálculo do risco climático
Qual é o nível de risco climático de cada infraestrutura portuária?	Em geral, o risco de cada infraestrutura portuária varia conforme a ameaça climática a qual está associado. Porém, em sua maioria, os riscos "médios" foram encontrados para as infraestruturas de Equipamentos de Içamento, Berços, Infraestruturas de Armazenamento e Transportadores Contínuos, principalmente quando avaliados frente as ameaças de Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do mar. As demais infraestruturas apresentaram interações com ameaças climáticas de risco "baixo". Mais detalhes na Seção 4.4.1
A quantidade de infraestruturas sob risco alto irá aumentar ou diminuir no futuro?	Não existem infraestruturas sob risco "alto" no Porto de Aratu. As interações que apresentam risco "médio" também não alteram seu grau de risco conforme se avança no tempo, apesar do aumento da probabilidade de ocorrência de algumas ameaças. Mais detalhes na Seção 4.4.1
Quais são as infraestruturas sob maior risco e por quê?	As infraestruturas de Equipamentos de Içamento, Berços, Infraestruturas de Armazenamento e Transportadores Contínuos estão sob o maior risco avaliado, "médio". Em geral, o risco está associado às ameaças de Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar e Chuva Forte. Considerando-se granéis sólidos, Chuva Forte tem "médio" risco, pois os produtos são vulneráveis à umidade e em caso de chuva, a operação deve cessar. Mais detalhes na Seção 4.4.1

5.5 Identificação e Proposição de Medidas de Adaptação

A gestão de riscos e a adaptação à mudança do clima são fundamentais para o planejamento para um futuro incerto, mas cujas previsões indicam aumento de intensidade e frequência de eventos extremos (IPCC, 2022). Os desafios são altos e as decisões, muitas vezes, urgentes, o que pode criar tensões entre diferentes visões de desenvolvimento. Os tomadores de decisão dos portos são, portanto, confrontados com escolhas difíceis, que se tornam cada vez mais necessárias para garantir eficiência e regularidade nas operações, além de condições de segurança.

Para auxiliar a tomada de decisão sobre as medidas de adaptação que devem ser adotadas, recomenda-se a criação de um núcleo de trabalho vinculado à Autoridade Portuária, envolvendo Capitania dos Portos/Marinha do Brasil, Praticagem, Arrendatários, Operadores Portuários e a ANTAQ. Esse núcleo deve compartilhar dados e gerar um repositório de informações e dados de infraestrutura, operação e clima que possam ser utilizados para novos estudos, análises e projetos.

Recomenda-se que esse núcleo de trabalho tenha controle de ferramentas de software, hardwares, equipamentos de monitoramento climático, pluviométrico, fluviométrico, medidores de vazão, cunha salina, anemômetros, mensuradores de altura de ondas e demais sensores necessários para auxiliar na mensuração das características de hidráulica marinha e previsões climáticas.

Essas informações agrupadas em um único banco de dados poderão proporcionar uma visão mais ampla sobre os impactos e prejuízos relacionados a eventos climáticos, permitindo a definição de medidas de adaptação mais efetivas e adequadas às características dos diferentes perfis de carga movimentados.

Essas medidas também devem considerar boas práticas aplicáveis às condições portuárias locais e aspectos das normas ISO 14.091 e das experiências com órgãos internacionais como a Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), associação internacional que fornece orientação e aconselhamento técnico para infraestruturas de transporte para portos.

Chama-se ainda atenção para a potencial utilização de medidas de adaptação baseadas em ecossistemas (AbE), que utiliza a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos para reduzir impactos. Por exemplo, no Porto de Aratu poderia haver intervenções ambientais na hinterlândia, principalmente no sentido de se preservar encostas e áreas costeiras.

Neste trabalho, a definição das medidas de adaptação em um processo colaborativo, por meio de oficina com diferentes atores-chaves do complexo portuários, permitiu uma visão comum aplicada à gestão dos riscos nos portos, embora as ações possam ter características diferentes em função do tipo de produto operado, posição geográfica, aspectos técnicos dos equipamentos, ameaça avaliada, entre outros. Percebeu-se, no entanto, uma evidente dificuldade dos atores do porto em caracterizar as ações sob um ponto de vista financeiro, o que dificulta estimar a sua viabilidade.

Em geral, os elementos descritos na identificação e proposição de medidas de adaptação representam um ponto de partida importante para maiores detalhamentos futuros, sobretudo para as medidas de "não arrependimento", que, na prática, podem ser implementadas com rapidez e baixo custo e gerar informações úteis para a definição de outras medidas de maior complexidade e custo. Recomenda-se, portanto, que as ações eleitas neste documento sejam rediscutidas e detalhadas através de outros processos participativos ou de estudos técnicos específicos.

A Tabela 55 a seguir visa responder as perguntas norteadora desta etapa.

Tabela 55: Respostas às perguntas norteadoras

Perguntas norteadoras	Resposta e referências na identificação e proposição de medidas de adaptação
Quais são as medidas de adaptação já adotadas e outras possíveis a serem implementadas?	Foram levantadas medidas operacionais e estruturais, mas o porto não indicou aquelas que já vêm sendo adotadas ou que estão planejadas. Mais detalhes na Seção 4.5.
Qual é a viabilidade técnica e financeira da implementação de cada uma das medidas de adaptação"	A maior parte das medidas de adaptação foi apresentada de forma qualitativa pelos atores-chave do Porto de Aratu. Em seguida, a equipe consultora realizou uma análise crítica dessas medidas com base nas perguntas norteadoras. No entanto, a análise crítica foi limitada e, por exemplo, não foi possível identificar o custo real das medidas de adaptação, o que impediu a avaliação da viabilidade financeira das medidas. Mais detalhes na Seção 4.5.

Quais são as medidas de adaptação de garantem a eficiência e regularidade das operações, segurança, pontualidade e prestação do serviço adequado?	Dentre as medidas listadas, destaca-se principalmente a inclusão de um sistema gerencial de apoio à tomada de decisão, interligado entre os diferentes operadores – TGS, TGL, TPG –, a Autoridade Portuária, a Praticagem, a Capitania dos Portos, a ANTAQ e Analista de Risco Climático. Esse sistema deve conter: dados operacionais convencionais, dados meteorológicos e hidráulicos, registro sistemático de danos à infraestrutura, paralisações operacionais devido a eventos climáticos e modelagem preditiva de eventos climáticos adversos. O sistema garantiria que a gestão de risco climático fosse incorporada no processo de decisão de investimentos e proporcionaria a adoção de medidas de adaptação efetivas. Mais detalhes na Seção 4.5.
Quais são as medidas de não arrependimento?	• Inclusão das variáveis climáticas no modelo de negócio da logística das cargas • Desenvolvimento de uma base de dados oficiais sobre projeções climática • Melhoria na comunicação e conhecimento sobre a sazonalidade da carga (planejamento) • Desenvolvimento de uma base de dados sistematizada sobre paradas operacionais ou paradas por danos nas infraestruturas causadas por eventos climáticos • Aumento na capacidade operacional dos equipamentos (substituição ou inclusão de mais transportadores • Estação meteorológica • Parcerias para ampliar o monitoramento meteorológico. Mais detalhes na Seção 4.5.
Quais medidas podem ser implementadas para a infraestrutura X diante da ameaça climática Y?	Todas as medidas de adaptação levantadas pelo porto foram listadas na Seção 4.5.
Quais são as vantagens e desvantagens de cada medida?	A equipe consultora realizou uma análise crítica das medidas levantadas, indicando vantagens e desvantagens, além de pontos de atenção. Mais detalhes na Seção 4.5.
Qual é a tipologia de cada medida (gestão ou engenharia)?	Todas as medidas de adaptação levantadas pelo porto foram listadas na Seção 4.5 e foram divididas em medidas estruturais (ou de engenharia) e não estruturais (ou operacionais ou de gestão).

6 :: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia PIEVC permitiu ao porto de Aratu conhecer os riscos climáticos, o que se faz fundamental para elencar potenciais medidas de adaptação, visando o aumento da resiliência das infraestruturas e redução dos impactos climáticos adversos sobre a operação e infraestrutura do porto. Dentre as principais mensagens-chaves do estudo, estão:

- Uma série de paralisações da operação do porto de Aratu já são observadas devido a eventos climáticos como chuvas, que interrompem o carregamento de Granéis Sólidos. Como a probabilidade de Chuva Persistente se mantém alta (muito frequentemente), é possível que essas paralizações sejam cada vez mais frequentes no futuro;
- As ameaças de maior probabilidade de ocorrência, tanto no período atual quanto no futuro, no porto de Aratu, são Chuvas Persistentes e Ventos Fracos;
- Em geral, pode-se dizer que, em relação à severidade estrutural e operacional, as interações de maior preocupação envolvem as infraestruturas de Berços, Transportador Contínuo, Infraestruturas de Armazenamento e Equipamentos de Içamento, que apresentaram os maiores níveis de severidade (‘marginal’ e ‘moderado’). Os potenciais impactos para essas estruturas são:
    - **Berços:** podem ficar inacessíveis, gerando restrições na operação de atracação e desatracação de navios de até 72 horas, além de eventualmente verificar avarias que necessitam manutenção;
    - **Transportador Contínuo:** podem ficar paralisados por períodos de até 72h e demandar manutenção nos roletes, esteiras e no sistema de cobertura da linha;
    - **Infraestruturas de Armazenamento:** podem sofrer avarias, exigindo vistorias e manutenções, sendo que no padrão pátio, podem estar particularmente vulneráveis;
    - **Equipamentos de Içamento:** podem ficar paralisados por períodos de até 72h, impedindo o processamento de carga dos navios e, em casos extremos, mas improváveis, podem tombar sobre outros equipamentos, infraestruturas e pessoas.
- As ameaças climáticas que resultaram em risco ‘médio’ ao porto foram Chuva Persistente, Chuva Forte e Inundações devido ao Aumento de 0,2 m do Nível do Mar. Riscos dessa intensidade podem indicar uma situação na qual a infraestrutura poderia estar sujeita a maiores exposições às intempéries, resultando em altas demandas de manutenção, crescimento de custos e capacidade geral reduzida;
- Não existem infraestruturas sob risco estrutural ou operacional ‘alto’ no Porto de Aratu. As interações que apresentam risco ‘médio’ também não alteram seu grau de risco conforme se avança no tempo, apesar do aumento da probabilidade de ocorrência de algumas ameaças. Entretanto, recomenda-se o monitoramento e revisão dos riscos de forma contínua, mesmo daqueles considerados ‘baixos’ ou ‘médios’;
- De modo geral, o risco estrutural é baixo para a maioria das interações entre as ameaças e estruturas portuárias, sobretudo para Granéis Líquidos e Produtos Gasosos. Somente o perfil de carga Granéis Sólidos, apresentou risco maior que

'desprezível' para as estruturas. Esse resultado está relacionado às características construtivas e de operação das infraestruturas e equipamentos que já foram dimensionados para suportar as cargas operacionais dentro de limites de condições climáticas adversas, além de condições de segurança estabelecidas pelo projetista;

- Outro fato que contribui para os baixos riscos estruturais reside na localização do porto, que se encontra em região abrigada e calma. No entanto, essa realidade pode estar mudando pouco a pouco, sendo previstos impactos importantes no futuro, principalmente em relação ao Aumento do Nível do Mar. Além disso, eventos climáticos extremos podem ultrapassar a carga operacional na qual os equipamentos e infraestrutura foram dimensionados. A adaptação dos equipamentos, máquinas e infraestruturas que considerem tecnologias mais modernas e que resistam melhor às condições de umidade, poderá prevenir paralisações e prejuízos financeiros significativos ao porto;
- Quanto às medidas de adaptação, uma série de ações foram listadas a partir da perspectiva do porto e de seus arrendatários, com o intuito de reduzir os impactos da mudança do clima na operação e nas infraestruturas portuárias. A partir da identificação de medidas de adaptação, é possível gerir os riscos e priorizar ações que podem ser incorporadas pela gestão, minimizando-se danos e prejuízos futuros ou aproveitando potenciais oportunidades, o que constitui um importante passo para aumento da resiliência climática.

O levantamento das informações necessárias para a condução das análises revelou que o porto de Aratu não dispõe de série histórica de danos estruturais sistematizada e organizada, não havendo, portanto, registros de impactos às infraestruturas e superestruturas. Os dados de paralisações da operação do Porto também eram limitados, correspondendo a um curto período de tempo, o que representou uma grande limitação ao estudo. Assim sendo, para estudos futuros, recomenda-se:

- Incluir a causa (climática ou não-climática) no registro de paralizações e danos. Este registro irá aprimorar a identificação e determinação das ameaças climáticas. Recomenda- se ainda que a sistematização do registro seja centralizada na autoridade portuária, mas preenchido por todos os terminais;
- Aprimorar o monitoramento das variáveis meteorológicas e oceanográficas. Dados de estações meteorológicas locais e outras informações climáticas customizadas para a realidade do porto podem auxiliar na identificação, de maneira mais acurada, dos limiares climáticos que causam danos significativos. Este aprimoramento pode ser feito através de parcerias com centros de monitoramento meteorológico (p.ex., Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA) e universidades;
- A inclusão de outras ameaças climáticas em estudos futuros (p.ex., ondas de calor);
- A criação de um Grupo de Trabalho para monitoramento dos riscos elencados e para planejamento da implementação das medidas.

Embora os levantamentos de risco possuam incertezas sobre a dimensão dos impactos, isso não deve impedir que o porto faça a gestão dos seus riscos relacionados a eventos climáticos futuros. Importante ressaltar que as medidas elencadas não se esgotam nesse relatório. A equipe do porto deve sempre avaliar novas ideias para minimizar os riscos apresentados e novos riscos que, porventura, possam surgir. Os custos e riscos da inação ou ação atrasada podem ser mais

onerosos do que a adoção de medidas imediatas. Deve-se considerar a necessidade de monitoramento e revisão dos riscos de forma contínua, mesmo daqueles que nessa avaliação são considerados 'baixos' ou 'médios'.

Os riscos levantados auxiliaram no entendimento dos potenciais impactos e consequências decorrentes dos eventos climáticos, permitindo ao Porto de Aratu aumentar sua resiliência. A avaliação de risco e a eleição de potenciais medidas de adaptação podem contribuir para a priorização das ações com base em aspectos técnicos.

7 :: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANDHI, A., FREI, A., PIERSON, D. C., SCHNEIDERMAN, E. M., ZION, M. S., LOUNSBURY, D., & MATONSE, A. H. Examination of change factor methodologies for climate change impact assessment. Water Resources Research, v.47, n.3, W03501. 2011. doi:10.1029/2010WR009104

ANTAQ. Impactos e Riscos da Variabilidade Climática no Setor Portuário - Entregável P8 – Consolidação dos relatórios da análise de risco do setor portuário costeiro brasileiro às ameaças climáticas, 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/Antaq_relatoriofinal04.04.22compactado.pdf>.

ANTAQ. Estatístico Aquaviário - Desempenho Portuário 2021. 2021b. Disponível em: <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html#pt>. Acesso em: 10.mar.2022.

AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ITAJAÍ. Levantamento de risco climático para o porto de Itajaí/SC. Sumário Executivo. MMA, INPE e GIZ, 2020.

BECKER, A.; AKY, N.G.; MCEVOY, D.; MULLETT, J. Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. WIREs Clim Change. Vol. 9(2), 2010. https://doi.org/10.1002/wcc.508

BELLEDUNE PORT AUTHORITY. Belledune Port Authority Climate Change Risk Assessment. CBCL: 2020. Disponível em: <https://pievc.ca/wp-content/uploads/2020/04/CBCL-Belledune-Port-Authority-April-2020.pdf>. Acesso em: 27.abr.2023.

CALLAWAY, J.; HELLMUTH. E.M. Assessing the incremental benefits and costs of coping with development pressure and climate change: A South African case study. Submissions from admitted non-governmental organizations on socioeconomic information under the Nairobi work programme. United Nations, Geneva, Suíça, 2007.

CHARRON, I. A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions. Edition Ouranos, 2016. 94p.

CLIMATE CENTRAL. (2022). Coastal Risk Screening Tool. Disponível em: <https://coastal.climatecentral.org/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

CODEBA. Plano de Desenvolvimento e Zoneamento: PDZ dos Portos de Salvador e Aratu-Can-

deias, 2018. Autoridade Portuária de Aratu-Candeias, Companhia das Docas do Estado da Bahia. 2018. Disponível em: https://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/porto_aratu.php?secao=porto_aratu_pdz.

ENGINEERS CANADA. PIEVC Engineering Protocol for Infrastructure Vulnerability Assessment and Adaptation to a Changing Climate. PRINCIPLES and GUIDELINES, 2016.

FIGUEIREDO, L.G.G.G; MOURÃO, R.D.R.; SANTOS, T.; BERZIN, G. O Porto de Santos e o aumento do nível do mar: um desafio a ser enfrentado. LEOPOLDIANUM, [S. l.], ano 42. 2016. p. 177-201.

GARTLAND, L. Ilhas de Calor. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GIZ, EURAC & UNU-EHS. Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation – A guidebook for planners and practitioners. Bonn: GIZ. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326478580>.

GRANGER, C. W. J. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. Econometrica: Journal of the Econometric Society, p. 424-438, 1969.

HELTBERG, R.; SIEGEL, P.B; JORGENSEN, S.L, Addressing human vulnerability to climate change: Toward a “no-regrets” approach. Global Environmental Change, 19(1), 2009. 89-99.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. Climate Risk Case Study | Ports | Colombia: Terminal Marítimo Muelles el Bosque (MEB), in Cartagena, Colombia. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/climate+business/resources/climate+risk+case+study+-+ports+-+colombia>. Acesso em: 11 mar. 2022.

IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. CONNORS, L.; PEAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J.B.R.; MAYCOCK, T. K., T.; WATERFIELD, YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (eds.)]. Cambridge University Press. 2021. In Press.

ISO. Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment, 14091:2021, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2021.

KENDALL, M.; GIBBONS, J.D. Rank Correlation Methods. 5th Edition. London: Edward Arnold, 1990.

KIRTMAN, B., S.B. POWER, J.A. ADEDOYIN, G.J. BOER, R. BOJARIU, I. CAMILLONI, F.J. DOBLAS-REYES, A.M. FIORE, M. KIMOTO, G.A. MEEHL, M. PRATHER, A. SARR, C. SCHÄR, R. SUTTON, G.J. VAN OLDENBORGH, G. VECCHI AND H.J. WANG: Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley

(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

KLEMM, Otto; LIN, Neng-Huei. What Causes Observed Fog Trends: Air Quality or Climate Change? Aerosol and Air Quality Research, vol. 16, p. 1131-1142, 2016. Disponível em: <https://aaqr.org/articles/aaqr-15-05-oa-0353.pdf>. Acesso em: 10.abr.2023.

MAIDMENT, David R. GIS and hydrologic modeling. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. Environment modeling with GIS. New York: Oxford University Press, 1993. p. 147-167.

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the econometric society, vol. 13, nº3 p. 245-259, jul. 1945.

MARENGO J.A,; CAMARINHA, P.I.; ALVES, L.M.; DINIZ, F.; BETTS, R.A. Extreme Rainfall and Hydro--Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. Frontiers in Climate. 2021. Doi 10.3389/fclim.2021.610433

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. Plano Mestre: Complexo Portuário de Santos. Sumário Executivo. Brasília, 2019. Disponível em: < https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/ssz-sumexec-p-simples-270219-pdf>. Acesso em: 5.nov.2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: volume 1: estratégia geral: portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2 v. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/arquivos-biomas/plano-nacional-de-adaptacao-a-mudanca-do-clima-pna-vol-i.pdf>.

MOSER, H.; HAWKES, P.; ARNTSEN, Ø.; GAUFRES, P.; MAI, S.; WHITE, K.; BLACKWELL, S.; CORBETT, J.J.; SCHEPPER, K.; DUMON, G.; GREYLING, L.M.; KÖTHE, H.; SOTILLO, M.G.; SUZUKI, T. Waterborne Transport, Ports and Waterways: A Review of Climate Change. 2008.

NASA. (2022a). Nasa Sea Level Portal: Data Analysis Tool 2.0. Disponível em: https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?lat=-24&lon=-45. Acesso em: 5 abr. 2022.

NASA. (2022b). Sea Level Projection Tool. Disponível em: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?lat=-24&lon=-45>. Acesso em: 5 abr. 2022.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Defining Storm Surge, Storm Tide, and Inundation. Disponível em: <https://ocean.weather.gov/defining_storm_surge.pdf>. Acesso em: 10.abr.2023.

NOAA. Severe Weather 101: Thunderstorm Basics. Estados Unidos, 2022. Disponível em: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/>. Acesso em: 11.mar.2022.

NOAA. What is storm surge? Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/stormsurge-stormtide.html>. Acesso em: 10.abr.2023.

OPPENHEIMER, M., B.C.; GLAVOVIC, J.; HINKEL, R.; VAN DE WAL, A.K.; MAGNAN, A.; ABD-EL-

GAWAD, R. CAI, M. CIFUENTES-JARA, R.M. DECONTO, T. GHOSH, J. HAY, F. ISLA, B. MARZEION, B. MEYSSIGNAC, AND Z. SEBESVARI (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

PES, Marcelo P.; PEREIRA, Enio B. ; MARENGO, José A.; MARTINS, Fernando; HEINEMANN, Detlev; SCHIMIDT, Michael. Climate trends on the extreme winds in Brazil. Renewable Energy, vol. 109, p.110–120. Aug, 2017. doi: 10.1016/j.renene.2016.12.101.

PILKEY, O.H.; NEAL, W.J.; BUSH, D.M. Coastal Erosion. In: Isla, F.I. & Iribarne, O. (Eds), Coastal Zone and Estuaries. p. 32-42. Oxford: EOLSS-UNESCO, 2009.

SIEGEL, Sidney. Estatística Não-Paramétrica: Para as Ciências do Comportamento. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

UNEP. The Adaptation Gap Report 2018. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya. 2018. Disponível em: <https://unepdtu.org/wp-content/uploads/2019/04/agr-final-version-2018.pdf>.

VAN RIJN, L.C. Coastal Erosion and control. Ocean & Coastal Management, v. 54, nº 12, p. 867-887, 2011.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2011.

WMO. Guide to Climatological Practices, WMO-No. 100. 3rd Edition, World Meteorological Organization, Geneva. 2011.

YOUNG, Ian R.; BABANIN, Alexander V.; ZIEGER, Stefan. Global trends in wind speed and wave height. Science : New York, N.Y., nº 332 (6028), p. 451-455, 2011.

ZHANG, Wei; YAN, Yixin; ZHENG, Jinhai; LI, Ling; DONG, Xue; CAI, Huijuian. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. Global and Planetary Change, nº 69, p. 35-47, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Potenciais impactos climáticos nos terminais

Terminal de Granéis Sólidos I – TGS I

A seguir são apresentados na Tabela A1, A2, A3 e A4 os possíveis impactos de eventos climáticos sobre a acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário, respectivamente.

Tabela A1: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Acostagem

		Acostagem						
		Dano Operacional		Dano Infraestrutura				
		Interrup-ção Operação de Estaia-mento e Soltura de Cabos	Demanda de cabos de maior resistência	Colapso do cais corrido	Perda funcional (sem colapso das estruturas) com a incapacidade operacional	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional	Danificação e perda funcional de dolfins, cabeços e defensas	Incompati-bilização geométrica na interface terminal-embarca-ção
Evento Climático Crítico	Chuva	X						
	Chuva Torrencial	X						
	Tempestade	X		X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X	X
	Ressaca							
	Inundação Pluvial							
	Inundação Fluvial							
	Aumento do Nível do Mar			X	X	X	X	X
	Neblina							
	Altas Temperaturas							

Fonte: elaboração própria.

Tabela A2: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Equipamentos

		Equipamentos					
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura				
		Interrupção do Embarque / Desembarque	Colapso dos equipamentos Guindastes e Grabs	Perda funcional (sem colapso) sem operação	Redução da vida útil dos equipamen-tos	Manutenção excessiva e Quebras Constantes	Colisão das embarcações com equipamento
Evento Climático Crítico	Chuva	X					
	Chuva Torrencial	X					
	Tempestade	X					
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial		X	X	X	X	
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas					X	

Fonte: elaboração própria.

Tabela A3: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Armazenamento

		Armazenamento							
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura						
		Interrupção da Movimenta-ção de Carga (recebimento e expedição)	Colapso estrutural do Concreto Armado ou Metálico dos Armazéns e Silos	Colapso geotécnico de pátios, armazéns e adjacências	Inundação de pátios, e armazéns	Incêndios de origem externa ao porto com risco aos sistemas de armazena-gem	Destelha-mento e quebra de coberturas	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva			X					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X			X	X
	Tempestade	X	X	X	X		X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X			X	X	X	X
	Ressaca								
	Inundação Pluvial				X			X	X
	Inundação Fluvial								
	Aumento do Nível do Mar								
	Neblina								
	Altas Temperaturas					X			

Fonte: elaboração própria.

Tabela A4: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Sistema Viário

		Sistema Viário				
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura			
		Interrupção da Tráfego Terrestre (Poligonal Portuária)	Colapso estrutural e/ou geotécnico da superestrutura e/ou pavimento	Inundação de pátios ou docas de recepção / expedição	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)					
	Ressaca					
	Inundação Pluvial	X	X	X	X	X
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

Fonte: elaboração própria.

Terminal de Granéis Sólidos I – TGS I

A seguir são apresentados na Tabela A5, A6, A7 e A8 os possíveis impactos de eventos climáticos sobre a acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário, respectivamente.

Tabela A5: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Acostagem

		Acostagem						
		Dano Operacional		Dano Infraestrutura				
		Interrup-ção Operação de Estaia-mento e Soltura de Cabos (chegada ou partida)	Demanda de cabos de maior resistência	Colapso do cais corrido	Perda funcional (sem colapso das estruturas) com a incapacidade operacional	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional	Danificação e perda funcional de dolfins, cabeços e defensas	Incompati-bilização geométrica na interface terminal-embarca-ção
Evento Climático Crítico	Chuva	X						
	Chuva Torrencial	X						
	Tempestade	X		X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X	X
	Ressaca							
	Inundação Pluvial							
	Inundação Fluvial							
	Aumento do Nível do Mar			X	X	X	X	X
	Neblina							
	Altas Temperaturas							

Fonte: elaboração própria.

Tabela A6: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Equipamentos

		Equipamentos					
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura				
		Interrupção do Embarque/ Desembarque	Colapso dos equipamentos Guindastes e Grabs	Perda funcional (sem colapso) sem operação	Redução da vida útil dos equipamen-tos	Manutenção excessiva e Quebras Constantes	Colisão das embarcações com equipamento
Evento Climático Crítico	Chuva	X					
	Chuva Torrencial	X					
	Tempestade	X					
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial		X	X	X	X	
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas					X	

Fonte: elaboração própria.

Tabela A7: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Armazenamento

		Armazenamento							
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura						
		Interrupção da Movimenta-ção de Carga (recebimento e expedição)	Colapso estrutural do Concreto Armado ou Metálico dos Armazéns e Silos	Colapso geotécnico de pátios, armazéns e adjacências	Inundação de pátios, e armazéns	Incêndios de origem externa ao porto com risco aos sistemas de armazena-gem	Destelha-mento e quebra de coberturas	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estrutu-ras sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva			X					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X			X	X
	Tempestade	X	X	X	X		X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X			X	X	X	X
	Ressaca								
	Inundação Pluvial				X			X	X
	Inundação Fluvial								
	Aumento do Nível do Mar								
	Neblina								
	Altas Temperaturas					X			

Fonte: elaboração própria

Tabela A8: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos I – Sistema Viário

		Sistema Viário				
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura			
		Interrupção da Tráfego Terrestre (Poligonal Portuária)	Colapso estrutural e/ou geotécnico da superestrutura e/ou pavimento	Inundação de pátios ou docas de recepção / expedição	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)					
	Ressaca					
	Inundação Pluvial	X	X	X	X	X
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

Fonte: elaboração própria

Terminal de Granéis Sólidos II – TGS II

A seguir são apresentados na Tabela A9, A10, A11 e A12 os possíveis impactos climáticos sobre a acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário, respectivamente.

Tabela A9: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos II – Acostagem

		Acostagem						
		Dano Operacional		Dano Infraestrutura				
		Interrupção Operação de Estaia-mento e Soltura de Cabos (chegada ou partida)	Demanda de cabos de maior resistência	Colapso do cais corrido	Perda funcional (sem colapso das estruturas) com a incapacidade operacional	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional	Danificação e perda funcional de dolfins, cabeços e defensas	Incompati-bilização geométrica na interface terminal-embarcação
Evento Climático Crítico	Chuva	X						
	Chuva Torrencial	X						
	Tempestade	X		X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X	X
	Ressaca							
	Inundação Pluvial							
	Inundação Fluvial							
	Aumento do Nível do Mar			X	X	X	X	X
	Neblina							
	Altas Temperaturas							

Fonte: elaboração própria.

Tabela A10: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos II – Equipamentos

		Equipamentos					
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura				
		Interrupção do Embarque Desembarque	Colapso dos equipamentos Guindastes	Perda funcional (sem colapso) sem operação	Redução da vida útil dos equipamen-tos	Manutenção excessiva e Quebras Constantes	Colisão das embarcações com equipamento
Evento Climático Crítico	Chuva	X					
	Chuva Torrencial	X					
	Tempestade	X					
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial		X	X	X	X	
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas					X	

Fonte: elaboração própria.

Tabela A11: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos II – Armazenamento

		Armazenamento							
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura						
		Interrupção da Movimenta-ção de Carga (recebime-nto e expedição)	Colapso estrutural do Concreto Armado ou Metálico dos Armazéns e Silos	Colapso geotécnico de pátios, armazéns e adjacências	Inundação de pátios, e armazéns	Incêndios de origem externa ao porto com risco aos sistemas de armazena-gem	Destelha-mento e quebra de coberturas de edificações operacionais e administra-tivos	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estrutu-ras sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva			X					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X			X	X
	Tempestade	X	X	X	X		X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X			X	X	X	X
	Ressaca								
	Inundação Pluvial				X			X	X
	Inundação Fluvial								
	Aumento do Nível do Mar								
	Neblina								
	Altas Temperaturas					X			

Fonte: elaboração própria.

Tabela A12: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Sólidos II – Sistema Viário

		Sistema Viário				
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura			
		Interrupção da Tráfego Terrestre (Poligonal Portuária)	Colapso estrutural e/ou geotécnico da superestrutura e/ou pavimento	Inundação de pátios ou docas de recepção / expedição	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)					
	Ressaca					
	Inundação Pluvial	X	X	X	X	X
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

Fonte: elaboração própria

Terminal de Granéis Líquidos – TGL

A seguir são apresentados na Tabela A13, A14, A15 e A16 os possíveis impactos climáticos sobre a acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário, respectivamente.

Tabela A13: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Líquidos – Acostagem

		Acostagem						
		Dano Operacional		Dano Infraestrutura				
		Interrupção Operação de Estaiamento e Soltura de Cabos (chegada ou partida)	Demanda de cabos de maior resistên-cia	Colapso do cais corrido	Perda funcional (sem colapso das estruturas) com a incapacidade operacional	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional	Danificação e perda funcional de dolfins, cabeços e defensas	Incompati-bilização geométrica na interface terminal-embarcação
Evento Climático Crítico	Chuva							
	Chuva Torrencial							
	Tempestade	X		X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X	X
	Ressaca							
	Inundação Pluvial							
	Inundação Fluvial							
	Aumento do Nível do Mar			X	X	X	X	X
	Neblina							
	Altas Temperaturas							

Fonte: elaboração própria.

Tabela A14: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Líquidos – Equipamentos

		Equipamentos					
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura				
		Interrupção do Embarque/ Desembarque	Colapso dos equipamentos Guindastes	Perda funcional (sem colapso) sem operação	Redução da vida útil dos equipamen-tos	Manutenção excessiva e Quebras Constantes	Colisão das embarcações com equipamento
Evento Climático Crítico	Chuva						
	Chuva Torrencial						
	Tempestade						
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial		X	X	X	X	
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas					X	

Fonte: elaboração própria.

Tabela A15: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Líquidos – Armazenamento

		Armazenamento							
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura						
		Interrupção da Movimenta-ção de Carga (recebimento e expedição)	Colapso estrutural do Concreto Armado ou Metálico dos Armazéns e Silos	Colapso geotécnico de pátios, armazéns e adjacências	Inundação de armazéns	Incêndios de origem externa ao porto com risco aos sistemas de armazena-gem	Destelha-mento e quebra de coberturas	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva			X					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X			X	X
	Tempestade	X	X	X	X		X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X			X	X	X	X
	Ressaca								
	Inundação Pluvial				X			X	X
	Inundação Fluvial								
	Aumento do Nível do Mar								
	Neblina								
	Altas Temperaturas					X			

Fonte: elaboração própria.

Tabela A16: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Granéis Líquidos – Sistema Viário

		Sistema Viário				
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura			
		Interrupção da Tráfego Terrestre (Poligonal Portuária)	Colapso estrutural e/ou geotécnico da superestrutura e/ ou pavimento	Inundação de pátios ou docas de recepção / expedição	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)					
	Ressaca					
	Inundação Pluvial	X	X	X	X	X
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

Fonte: elaboração própria.

Terminal de Produtos Gasosos – TPG

A seguir são apresentados na Tabela A17, A18, A19 e A20 os possíveis impactos climáticos sobre a acostagem, equipamentos, armazenamento e sistema viário, respectivamente.

Tabela A17: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Produtos Gasosos – Acostagem

		Acostagem						
		Dano Operacional		Dano Infraestrutura				
		Interrupção Operação de Estaiamento e Soltura de Cabos (chegada ou partida)	Demanda de cabos de maior resistência	Colapso do píer	Perda funcional (sem colapso das estruturas) com a incapacidade operacional	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional	Danificação e perda funcional de dolfins, cabeços e defensas	Incompati-bilização geométrica na interface terminal-embarca-ção
Evento Climático Crítico	Chuva							
	Chuva Torrencial							
	Tempestade	X		X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X	X
	Ressaca							
	Inundação Pluvial							
	Inundação Fluvial							
	Aumento do Nível do Mar			X	X	X	X	X
	Neblina							
	Altas Temperaturas							

Fonte: elaboração própria.

Tabela A18: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Produtos Gasosos – Equipamentos

		Equipamentos					
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura				
		Interrupção do Embarque/ Desembarque	Colapso dos Guindastes, grabs, shiploaders, dutovias e mangotes	Perda funcional (sem colapso) sem operação	Redução da vida útil dos equipamen-tos	Manutenção excessiva e Quebras Constantes	Colisão das embarcações com equipamento
Evento Climático Crítico	Chuva						
	Chuva Torrencial						
	Tempestade						
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X	X	X	X	X
	Ressaca						
	Inundação Pluvial		X	X	X	X	
	Inundação Fluvial						
	Aumento do Nível do Mar						
	Neblina						
	Altas Temperaturas					X	

Fonte: elaboração própria.

Tabela A19: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Produtos Gasosos – Armazenamento

		Armazenamento							
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura						
		Interrupção da Movimenta-ção de Carga (recebimento e expedição)	Colapso estrutural do Concreto Armado ou Metálico dos Armazéns, Silos e Tanques	Colapso geotécnico de pátios, tanques, esferas e adjacências	Inundação de pátios, e armazéns	Incêndios de origem externa ao porto com risco aos sistemas de armazena-gem	Destelha-mento e quebra de coberturas	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estrutu-ras sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva			X					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X			X	X
	Tempestade	X	X	X	X		X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)	X	X			X	X	X	X
	Ressaca								
	Inundação Pluvial				X			X	X
	Inundação Fluvial								
	Aumento do Nível do Mar								
	Neblina								
	Altas Temperaturas					X			

Fonte: elaboração própria.

Tabela A20: Potenciais impactos climáticos no Terminal de Produtos Gasosos – Sistema Viário

		Sistema Viário				
		Dano Operacional	Dano Infraestrutura			
		Interrupção da Tráfego Terrestre (Poligonal Portuária)	Colapso estrutural e/ou geotécnico da superestrutura e/ou pavimento	Inundação de pátios ou docas de recepção / expedição	Perda funcional (sem colapso das estruturas)	Redução da vida útil das estruturas sem perda funcional
Evento Climático Crítico	Chuva					
	Chuva Torrencial	X	X	X	X	X
	Tempestade	X	X	X	X	X
	Ventos Críticos (rajadas)					
	Ressaca					
	Inundação Pluvial	X	X	X	X	X
	Inundação Fluvial					
	Aumento do Nível do Mar					
	Neblina					
	Altas Temperaturas					

Fonte: elaboração própria.

APÊNDICE B – Relação causal entre paralisações e limiares climáticos

Na maioria dos casos, uma correlação forte entre duas variáveis não implica que há uma relação de causa-efeito entre elas. Por isso, aplica-se aqui o teste de causalidade de Granger, que verifica se uma série temporal climática ajuda a prever a série de paralisações. Esse teste visa superar as limitações do uso de simples correlações entre variáveis usadas no levantamento do histórico de impactos associados ao clima. Além disso, pretende confirmar a causalidade do clima com as paralisações abaixo e acima dos limiares apontados anteriormente. O alfa (α) para o teste de causalidade de Granger é definido em 0,95 (P > 0.05), com lag, tempo que uma variável afeta a outra, igual a 1, ou seja, considera que uma variável afetará a outra no presente.

Nesta etapa, foram adotados os menores limiares dentre os valores de apresentados. Esta análise foi feita baseada na hipótese de que, havendo causalidade entre o clima e as paralisações, os valores que estiverem acima dos limites estabelecidos possuem possibilidade de ocorrência de paralisações, independente da duração desta. Os dados utilizados nessa seção são referentes aos dados internos de paralisação fornecidos pelo porto no levantamento do histórico de impactos associados ao clima e dados de estações hidrometereológicas do INMET, ambos para os períodos de 2019 a 2021.

Analisando-se as Tabelas B1 e B2, pode-se dizer que o Porto de Aratu apresenta efeitos de causalidade quando o limiar de velocidade do vento é maior que 4,0 m/s e/ou o limiar da precipitação acumulada é maior que 20 mm. Assim, valores que excedam esses limiares irão causar paralisações no Porto de Aratu.

Tabela B1: Relação de causalidade pelo método de Granger no Porto de Aratu para VV < 4,0 m/s e/ou R < 20mm)

Velocidade do vento < 4,0 m/s; Precipitação acumulada < 20 mm			
Hipótese nula	**F-Statistic**	**Probabilidade**	**Interpretação**
R Does not Granger cause P	5.7398	0.01543	Sem relação causal
VV Does not Granger cause P	4.8739	0.03451	Sem relação causal

R – Precipitação; VV – Velocidade do Vento; P – Paralisações

Fonte: elaboração própria.

Tabela B2: Relação de causalidade pelo método de Granger no Porto de Aratu para **VV > 4,0 m/s e/ou** R > 20mm

Velocidade do vento > 4,0 m/s; Precipitação acumulada > 20 mm			
Hipótese nula	**F-Statistic**	**Probabilidade**	**Interpretação**
R Does not Granger cause P	1.3906	0.3026	Relação de causalidade
VV Does not Granger cause P	0. 7781	0.4986	Relação de causalidade

R – Precipitação; VV – Velocidade do Vento; P – Paralisações

Fonte: elaboração própria.

APÊNDICE C – Análise de Normas e Legislações Pertinentes

As análises de normas e legislações pertinentes aos portos servem para ajudar a identificar os limiares climáticos que servirão para a análise de probabilidade das ameaças climáticas. As normas e legislações foram utilizadas uma vez que o porto não dispunha de dados relacionados aos danos à infraestrutura.

Para averiguar possíveis ameaças climáticas e valores de limiares associados que geraram impactos ao complexo portuário de Aratu, foi feito um levantamento de documentos relativos às normas internas do porto. Nesta etapa, realizou-se consultas às Normas CODEBA: (a) P.02.05 Atracação no Porto de Aratu-Candeias4; (b) P.02.03 Movimentação, Armazenagem e Transporte de Produtos Perigosos5; e (c) Acompanhamento do Abastecimento de Navios6. Além disso, também foi consultado o documento de "NORMAS E PROCEDIMENTOS DA CAPITANIA DOS PORTOS DA BAHIA – MARINHA DO BRASIL (NPCP-BA) – 2015", que contempla e norteia a definição de impraticabilidade de operações nesta parte da análise.

Outras normas também foram levadas em consideração ao se definir os limiares críticos nesta etapa do estudo, dentro das quais se destacam as Normas da Autoridade Marítima – NORMAM, as Normas Regulamentadoras – NR e as Normas Brasileiras – NBR, cada qual com sua especificidade e objetivo. A seguir, constam as principais informações a respeito das normas apontadas:

NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA – NORMAM – DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS

A Marinha do Brasil detém um conjunto de normas que organizam atividades marítimas, costeiras, lacustres e de navegação do interior. Essas normas abrangem desde a homologação de materiais (para embarcações e equipamentos), construção e manutenção de infraestrutura costeira, operação de embarcações, serviços de praticagem, mão de obra de aquaviários, salvaguarda e competência de polícia quanto à fiscalização, segurança e investigação de acidentes náuticos7.

Para compreensão complementar dos fatores climáticos limitantes foram consultadas algumas das normas para verificação da existência de parâmetros. A primeira norma consultada foi a NORMAN 12/DPC8 que aborda os serviços de praticagem nos portos de jurisdição brasileira, sendo compreendidos os seguintes itens:

a. A norma indica a Declaração de Impraticabilidade de uma Zona Portuária com a responsabilidade de realização pela Capitania dos Portos, tendo o caráter total e imparcial9. Essa característica, por exemplo, é observada nas Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos de São Paulo (NPCP-SP), onde constam os parâmetros de visibilidade, altura de ondas e correntes que declara a impraticabilidade da barra do porto de Santos.

b. A norma descreve as definições e responsabilidades do porto, declarando os fatores relacionados ao meio ambiente que afetam o controle dos navios sendo: (a) ventos; (b) correntes; (c) ondas; (d) estabilidade de governo com os efeitos do meio ambiente (ex. cunha salina); (e) Interação do navio com águas rasas, bancos, canais estreitos e outros navios10.

> Contudo, a norma indica que os parâmetros de intensidade e magnitude dos fatores ambientais, relacionados ao porte das embarcações e as características intrínsecas a cada terminal portuário, estão contidos nas Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos, para cada porto11.

A NORMAN 8/DPC12, referente ao tráfego e permanência de embarcações em águas brasileiras, indica a responsabilidade da tripulação das embarcações quanto à necessidade do conhecimento das características e limites meteorológicos da costa e das áreas portuárias brasileiras e quanto a swell, força do vento e corrente. A mesma norma também indica que o comando das embarcações, sendo nacionais ou estrangeiras, devem obedecer às orientações da Capitania dos Portos e à praticagem, quando no processo de acostagem, conforme descrito na NORMAN-12. A norma também indica os procedimentos, protocolos de segurança, registros de incidentes necessários para as atividades. Porém não são observados valores descritos conforme são apresentados nas NPCP.

Da mesma forma, foram consultadas a NORMAN 01/DCP – Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto e a NORMAN 04/DCP – Normas da Autoridade Marítima para Operação de Embarcações Estrangeiras em Águas Jurisdicionais Brasileiras. Ambas também não contam com parâmetros climáticos e de correntes de marés em conformidade com os descritos nas NPCP.

NORMAS REGULAMENTADORAS E NORMAS BRASILEIRAS

As Normas Regulamentadoras (NR) são dispositivos normativos complementares a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) referentes ao tema Da Segurança e da Medicina do Trabalho (Capítulo V). É composta por um conjunto de 37 normas que abordam regras e condutas de segurança aos trabalhadores e condutas de risco e mitigação de acidentes laborais.

O trabalho da estiva moderna portuária abrange atividades de risco laboral, sendo alguns deles genericamente citados: exposição a intempéries, risco de queda em altura, queda de objetos sob o operário, esforços mecânicos, ruídos excessivos, operação de equipamentos, ergonomia e manuseio de produtos químicos.

Pode-se afirmar aqui que o conjunto de protocolos e indicativos descritos nas NRs levam em conta os limites admissíveis da execução do trabalho, sem causar danos à saúde do operário. Logo, orientações de limites de velocidade de empilhadeiras em pátios e de içamento de cargas em gruas, por exemplo, levam em conta apenas o limite de segurança para o trabalhador, não sendo avaliados limites estruturais ou operacionais do equipamento.

Os parâmetros de ventos críticos de projeto de guindastes e de ventos de operação são descritos nas Normas Brasileiras (NBR). O projeto de guindastes, quanto a componentes estruturais do equipamento, é normatizado pela NBR 8400 – Cálculo de Equipamento para Levantamento e Movimentação de Cargas. Nessa norma, as solicitações estruturais devido aos efeitos climáticos consideradas são a variação da temperatura e a ação do vento.

A operação de guindastes é normatizada conforme a norma NBR 13129. Considerando no cálculo da carga do vento em guindaste que a ação do vento sopra horizontalmente em todas as direções da estrutura e que a velocidade é constante, causando assim, uma reação estática às cargas, a norma considera velocidades e pressões aerodinâmicas para a operação de guindastes que são apresentadas mais à frente no documento.

Os valores verificados conforme normas e legislações pertinentes aos limiares climáticos do Porto de Aratu pode ser observada a seguir:

Limites Operacionais: Canais de Acesso, Bacias de Evolução e Fundeadouros

Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos da Bahia (NPCP-BA), estabelecida pela Portaria N° 64/CPBA, de 17 de agosto de 2015, pela Marinha do Brasil – Capitania dos Portos da Bahia conta com regras, regulamentos, demandas de equipamentos para embarcações e de rebocadores para a praticagem e demais parâmetros operacionais. A única informação contida na NPCP-BA quanto a fatores climáticos limitadores refere-se a condições de ventos nas operações relacionadas a abastecimentos de embarcações, conforme a Tabela C1 apresentada a seguir:

Tabela C1: Limiares de vento na área de transferência para atividades de faina de abastecimento13

Parâmetros climáticos	Impraticabilidade operacional relacionada ao abastecimento das embarcações
	Faina de abastecimento
Ventos na área de transferência	>= 15 nós (7,72 m/s)

Fonte: NPCP-BA, 2015.

Ao investigar a base normativa da NR, quanto a indicadores de intensidade de eventos climáticos, tais como, ventos, temperaturas elevadas, temporais e neblina, foram encontrados parâmetros declarados a atividades laborais em que o vento é crítico à execução segura da atividade. No contexto demandado por esse estudo de impactos das mudanças climáticas a infraestrutura e operação dos terminais, quando observados os equipamentos portuários, equipamentos de solo e transportadores contínuos são citadas as seguintes NR e as respectivas orientações:

a. NR 11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais14: a norma discorre sobre a segurança para operação de elevadores, guindastes, transportadores industriais e máquinas transportadoras. Porém não cita parâmetros limites climáticos, principalmente condições críticas de ventos e chuvas;

b. NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos15: conforme a demanda de equipamentos tais como gruas, guindastes, shiploaders, reachstackers, empilhadeiras, máquinas e tratores de solo, realizou-se a consulta a essa NR. A norma descreve para equipamentos que tenham sensibilidade a ação de ventos críticos deverá ser equipada com anemômetro, com dispositivos de alerta visual e sonoro de indicação ao operador. O limite para ventos é de v >= 9,72 m/s (18,9 nós) para equipamentos plataforma elevatória de braço articulado (cesto suspenso) e gruas. Essa norma não cita interferência e define limites operacionais para demais condições climáticas adversas.

c. NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção16: esta norma estabelece diretrizes administrativas, de planejamento e de organização à implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção. Como alguns terminais portuários e estaleiros utilizam-se das gruas clássicas desse segmento, realizou-se assim a consulta à respectiva norma. Quanto à criticidade dos ventos, a norma indica que gruas devem dispor de anemômetros e alertas sonoros que indiquem a ocorrência de ventos críticos. O valor limite conta com v > 11,7 m/s (22,7 nós), sendo totalmente interditada a operação da grua. A norma descreve situação específica, com conjunto de características específicas do equipamento e operação da grua, para regime de ventos superiores a 11,7 m/s e limitados a 20 m/s (38,9 nós). Outras atividades descritas na norma e não relativas à atividade portuária levam em consideração a ocorrência de ventos fortes e chuvas, porém sem descrever os respectivos limites.

d. NR 30 – Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário17: norma aplicada aos trabalhos realizados em embarcações comerciais, de bandeiras nacional e estrangeiras, utilizadas no transporte de cargas ou de passageiros, inclusive embarcações de apoio operacional. No item referente a segurança na manutenção em embarcação em operação, condições climáticas e ambientais são citadas para a interrupção de trabalhos realizados em altura, descritos no item 30.14.7.1, sendo elas: (a) iluminação insuficiente; (b) condições meteorológicas adversas como chuvas, ventos relativos com intensidades superiores a 20 nós (10,3 m/s) e ondas com altura acima de 2,5 m; e (c) na ocorrência de balanços longitudinais e transversais que possam causar riscos ao trabalhador.

e. NR 34 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, Reparação e Desmonte Naval18: esta norma estabelece requisitos mínimos e medidas de proteção à segurança, à saúde e ao meio ambiente de trabalho nas atividades da indústria de construção, reparação e desmonte naval. Nos trabalhos em altura, montagem, desmontagem, manutenção e o acesso por cordas, são interrompidos em condições de ventos superiores a 11,1 m/s (21,6 nós). São autorizados o trabalho em altura com ventos de 11,1 m/s (21,6 nós) < v < 15,3 m/s (29,7 nós) conforme itens descritos no item 34.6.2.2. O acesso via cordas consta com execução autorizada conforme item 34.6.6.9.1 para intervalo de intensidade de ventos entre 11,1 m/s (21,6 nós) < v < 12,8 m/s (24,8 nós). A operação de gruas é limitada a ventos v > 11,7 m/s (22,7 nós). Em condições excepcionais são autorizadas a operação com ventos superiores a 11,7 m/s e limitados a 20 m/s (38,9 nós). Os trabalhos de montagem, desmontagem e manutenção podem ocorrer em condições mediante a autorização com ventos superiores a 42km/h e limitados a 12,8 m/s (24,8 nós). No trabalho em fluentes deve-se considerar as seguintes

condições: (a) serviços a bordo interrompidos com vento com velocidade de 3,3 m/s a 5,3 m/s e altura de onda entre 0,5 m e 1,25 m; (b) evacuação do flutuante vento com velocidade de 8,1 m/s a 10,6 m/s e altura de onda entre 2,5 m e 4,0 m; (c) flutuante com propulsão própria realize deslocamento seguro em condições vento com velocidade de 8,1 m/s a 10,6 m/s e altura de onda entre 2,5 m e 4,0 m.

f. NR 35 – Trabalho em Altura19: A norma estabelece requisito mínimos e medidas de proteção para o trabalho em altura de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores. A norma declara como condições de impedimento do trabalho de acesso por cordas deve ser interrompido com ventos v > 11,1 m/s (21,6 nós). A condição excepcional deve atender os requisitos descritos no item 5.2 e limitados a ventos entre 11,1 m/s e 12,8 m/s.

Em relação a Norma NBR 840020, o limite da variação da temperatura descrita na norma é de -10°C a 50°C, críticos aos elementos que estão impossibilitados de dilatar livremente como treliças ou demais estruturas metálicas de guindastes, gruas, shiploaders, shipunloaders, entre outros equipamentos com braços ou colunas de sustentação. Quanto ao vento, a forma do equipamento condiciona as respectivas ações do vento. A norma do projeto considera que a estrutura deverá ter resistência a ventos em todas as direções. As velocidades de ventos considerados como limite de operação, os ventos máximos para não operação e as respectivas pressões aerodinâmicas assumidas para o dimensionamento são apresentados na Tabela C2.

Tabela C2: Velocidades e pressões aerodinâmicas segundo a NBR 8400)

Altura em relação ao solo (m)	Vento Limite de Serviço			Vento Máximo (fora de serviço)		
	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m²)	Velocidade		Pressão aerodinâmica (N/m²)
	(m/s)	(km/h)		(m/s)	(km/h)	
0 a 20	20	72	250	36	130	800
20 a 100	-	-	-	42	150	1100
> 100	-	-	-	46	165	1300

Fonte: ABNT, 1984.

Quanto ao impacto e ao dano à estrutura dos equipamentos de içamento, temos as velocidades críticas, em relação às alturas dos equipamentos em relação ao solo, nos valores de 36,1 m/s, 42,7 m/s e 45,8 m/s.

Por outro lado, a norma NBR 1312921 sugere o valor limite de velocidade de ventos de 20 m/s para guindastes instalados em áreas livres (Tabela C3).

Tabela C3: Velocidades e pressões aerodinâmicas segundo a NBR 13129

Tipo de Guindaste	Velocidade do Vento		Pressão Dinâmica do Vento (N/m²)
	(m/s)	(km/h)	
Guindastes facilmente fixados contra a ação dos ventos, projetados somente para operação de ventos leves (ex.: guindastes de chassi baixo com lanças que podem ser baixadas facilmente ao solo)	14	50,4	125
Todos os tipos normais de guindastes instalados em áreas livres	20	72	250
Guindastes descarregados tipo transportador, que deve continuar operando com ventos fortes	28,5	102,6	500

Fonte: ABNT, 1984

Para o atual estudo de impactos climáticos, podemos considerar como velocidades críticas aos equipamentos estruturados em semipórtico, pórtico e lanças, tais como, guindastes grabs, guindastes convencionais, guindastes convencionais, gruas, guindaste pórtico sobre pneus para contêineres (transtêineres), portâiner e shiploaders, em função das seguintes categorias de danos:

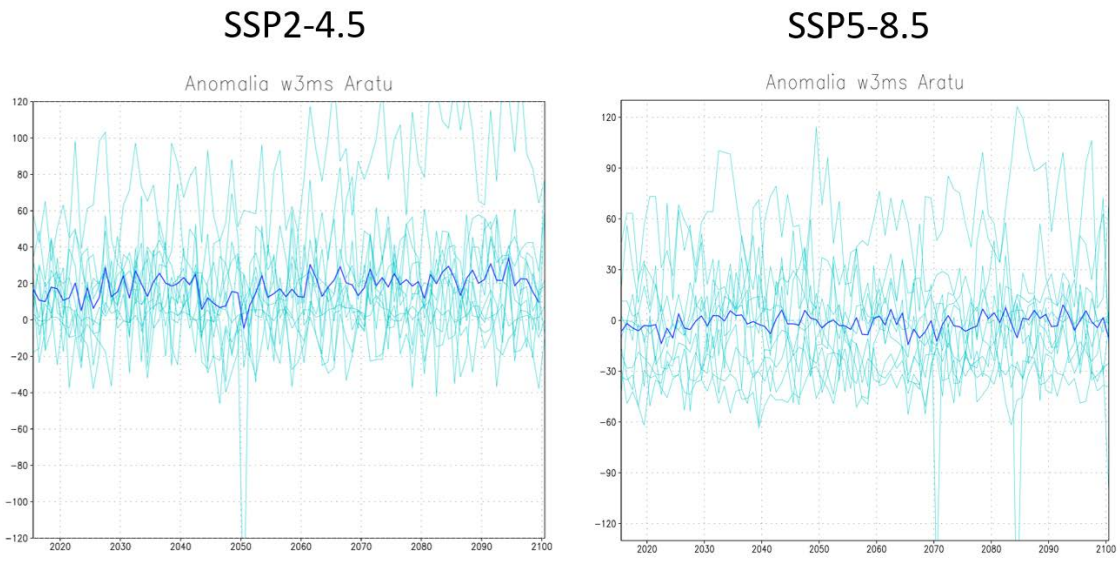
Danos a operação: velocidade crítica limite de 9,72 m/s a 11,7 m/s;

Danos a infraestrutura: velocidade crítica limite de 36,1 m/s a 42,7 m/s.

APÊNDICE D – Cenários de Mudança do Clima para Santos

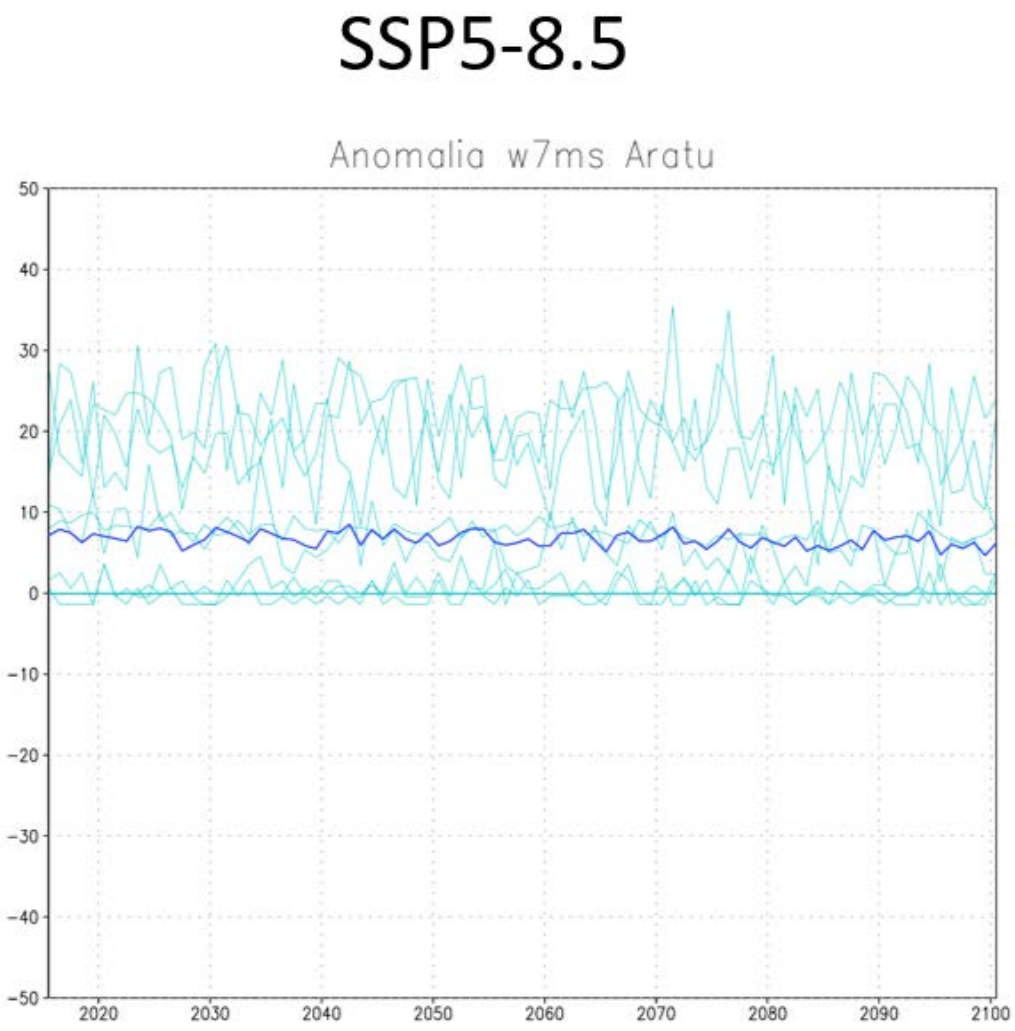
Para o futuro, projeções de modelos de clima indicam um aumento de ventos extremos em áreas tropicais (RANASINGHE et al., no prelo). Em Aratu, projeções climáticas de 12 modelos regionais de clima mostram um aumento na velocidade do vento para o cenário moderado de emissões de gases do efeito estufa. A análise customizada para Aratu usando mais de uma dezena de modelos de clima e dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (moderado e alto) indica que ventos moderados (> 3 m/s) podem se tornar mais frequentes (Figura D1). Embora a média do conjunto de modelos indique um sinal de aumento, a concordância entre os modelos é menor que 75%. Para frequência de ventos fortes e muito fortes (> 7 m/s e >10 m/s), não existe um sinal claro de mudança (Figura D2).

Figura D1: Projeções futuras de anomalia de frequência de vento fraco (Velocidade do vento maior que 3 m/s) para Aratu



Fonte: elaboração própria.

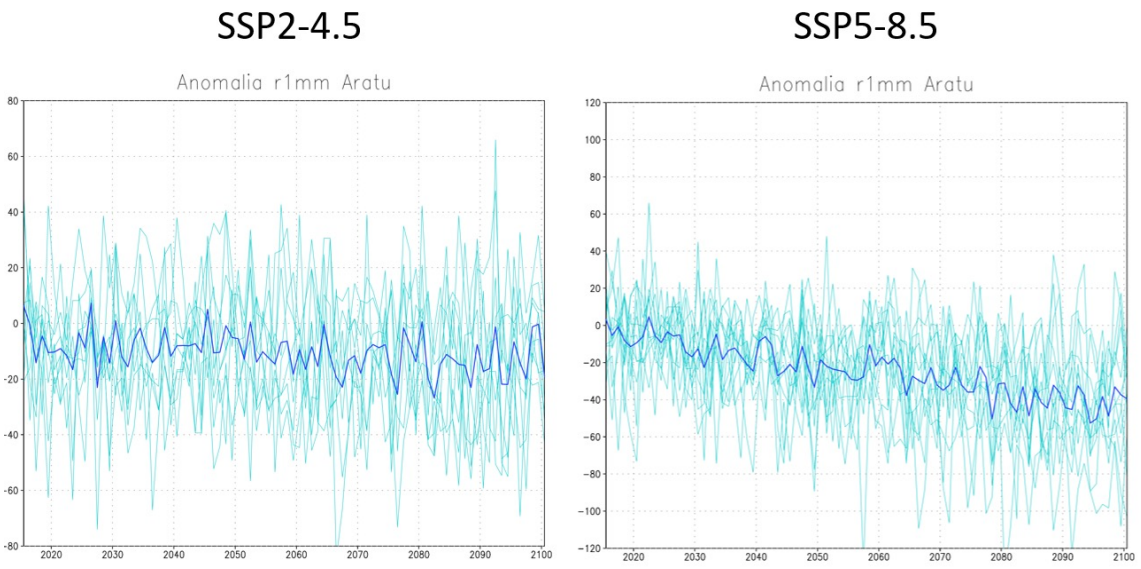
Figura D2: Projeções futuras de anomalia de frequência de vento moderado (Velocidade do vento maior que 7 m/s) para Aratu



Fonte: elaboração própria.

Para o futuro próximo, projeções de modelos regionais de clima indicam uma possível diminuição na chuva total anual para região de Aratu, sendo essa situação mais provável diante de um cenário de altas emissões de gases de efeito estufa. A análise customizada para Aratu usando mais de uma dezena de modelos de clima forçados por dois cenários de emissões de gases de efeito estufa (moderado e alto) indica uma possível diminuição na frequência de dias com chuva persistente. Embora a média do conjunto de modelos indique um sinal de diminuição, a concordância entre os modelos é menor que 75% (Figura D3). Para frequência de chuvas fortes não existe um sinal claro de mudança.

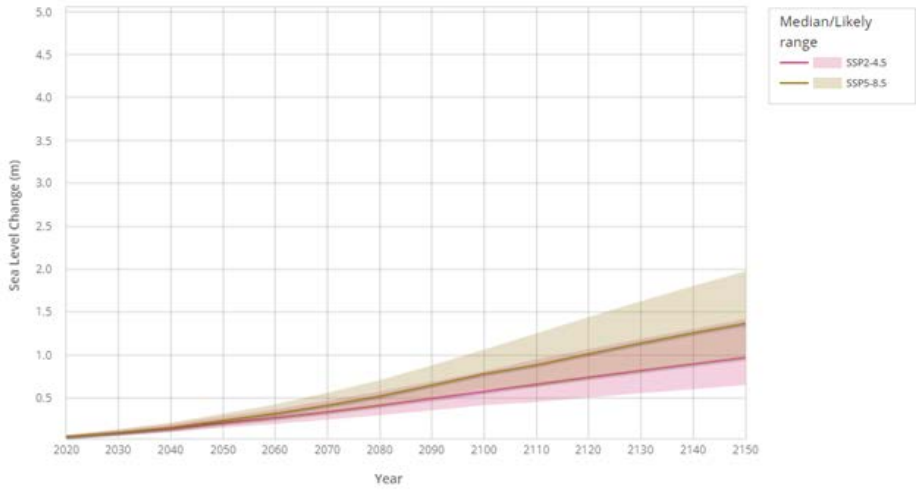
Figura D3: Projeções futuras de anomalia de frequência de dias com chuva persistente para Aratu



Fonte: elaboração própria.

No futuro, é praticamente certo que o nível médio global do mar continuará a subir (FOX-KEMPER et al., no prelo) e que a maioria das costas arenosas sofrerão recuo da linha de costa ao longo do século 21 (RANASINGHE et al., no prelo). Ambos os cenários de emissões (moderado e alto) mostram um aumento na frequência do nível extremo do mar (VOUSDOUKAS et al., 2018) e uma redução da linha costeira em Aratu (VOUSDOUKAS et al., 2020) (não ilustrado). Todos os modelos de clima concordam com o ANM em Aratu, e as projeções indicam uma elevação de 9-10 cm até 2030, 21-24 cm até 2050 e 50-65 cm até 2090 a depender do cenário de emissões (Figura D4). A exemplo, em 2050, grandes áreas poderão ser inundadas anualmente devido à combinação de ressacas e ANM (Figura D5).

Figura D4: Projeções de mudança no nível médio do mar para o período de 2020–2150 em relação ao período de referência de 1995–2014 derivadas de dezenas de modelos de clima forçados por dois cenários de emissões: moderado (SSP2-4.5, em rosa) e altas emissões (SSP5-8.5, em marrom) no Porto de Aratu

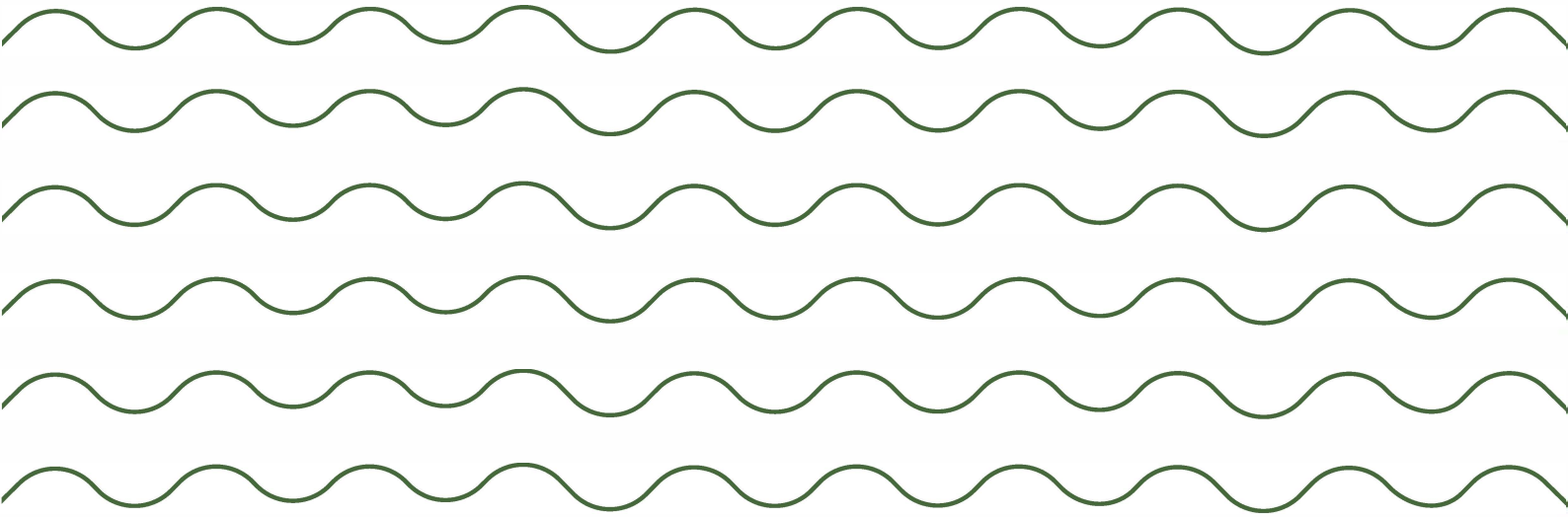


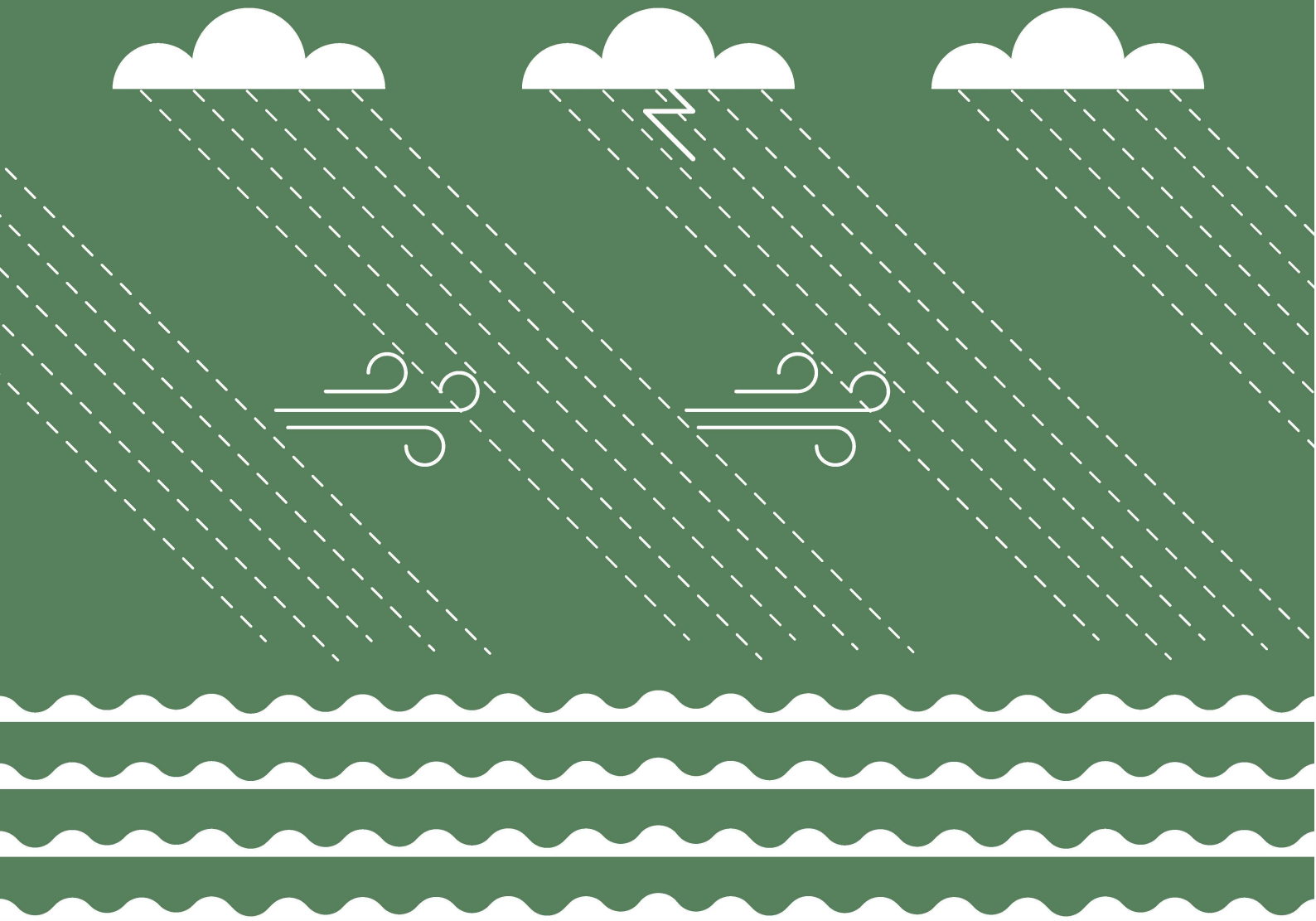
Fonte: NASA, 2022b.

Figura D5: Área inundada (Aumento do Nível do Mar + Ressacas com Tempo de Retorno de 1 ano) para o cenário de altas emissões (SSP5-8.5) para o ano de 2050 para Aratu



Fonte: Climate Central, 2022.





On behalf of:
Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection
of the Federal Republic of Germany
IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
PROADAPTA Adaptação à Mudança do Clima
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA
MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS
GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO