

IMPACTOS E RISCOS DA MUDANÇA DO CLIMA NOS **PORTOS PÚBLICOS** **COSTEIROS BRASILEIROS**

Sumário Executivo



República Federativa do Brasil

Jair Bolsonaro
Presidente da República

Tarcísio Gomes de Freitas
Ministro da Infraestrutura

Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ

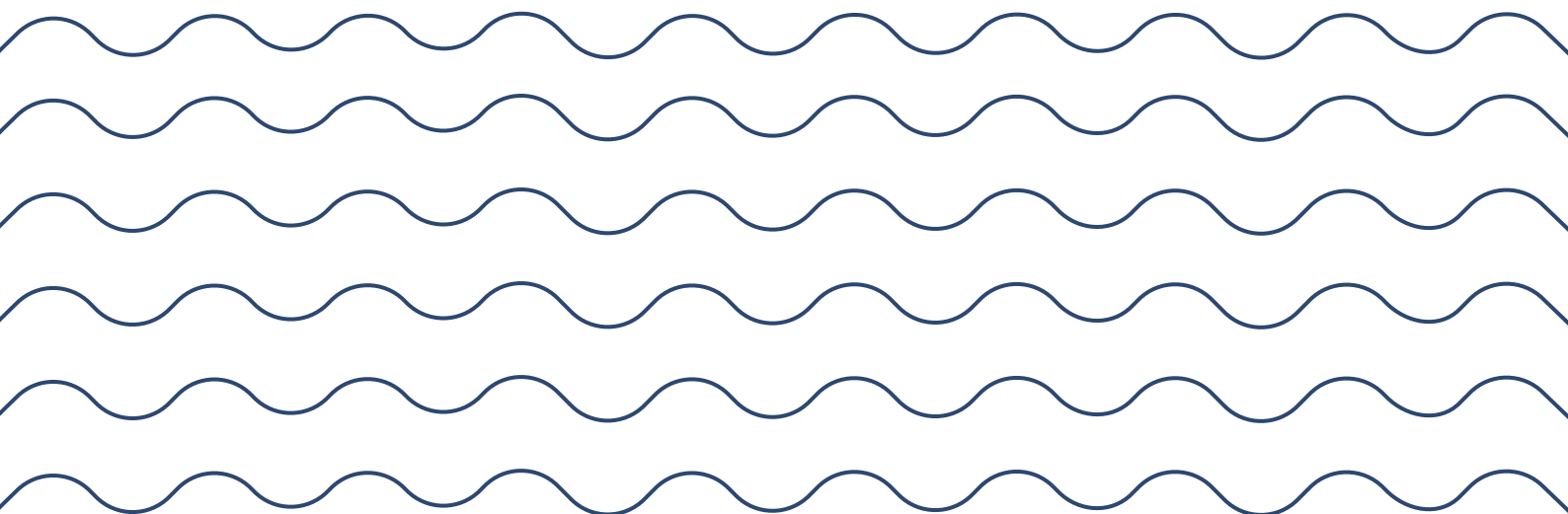
Eduardo Nery
Diretor-Geral

Adalberto Tokarski
Diretor

Flávia Morais Lopes Takafashi
Diretora

IMPACTOS E RISCOS
DA MUDANÇA DO CLIMA
NOS **PORTOS PÚBLICOS**
COSTEIROS BRASILEIROS

Sumário Executivo



EXPEDIENTE

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Jair Messias Bolsonaro
Presidente da República

Tarcísio Gomes de Freitas
Ministro da Infraestrutura

Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ

Eduardo Nery Machado Filho
Diretor-Geral

Adalberto Tokarski
Diretor

Flávia Takafashi
Diretora

ELABORAÇÃO

WayCarbon

EQUIPE TÉCNICA – WayCarbon

Melina Amoni
Sergio Margulis
Marina Lazzarini
Natalie Unterstell
Dawber Batista
Marcus Vinicius Ferreira da Silva

EQUIPE TÉCNICA – ANTAQ

**Superintendência de Desempenho,
Desenvolvimento e Sustentabilidade – SDS**
José Renato Ribas Fialho

Gerência de Desenvolvimento e Estudos – GDE
José Gonçalves Moreira Neto – Gerente
Ana Paula Harumi Higa
Juliana Marzullo Pedreira

Gerência de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GMS
Auxiliadora do Rego Borges
Anderson Paz da Silva
Alessandro Max Barros Bearzi

EQUIPE TÉCNICA – GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas
Pablo Borges de Amorim

**Divisão de Impactos, Adaptação e
Vulnerabilidades (INPE)**
Lincoln Muniz Alves

DESIGN E DIAGRAMAÇÃO

Estúdio Marujo

CONTATOS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ

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

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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 Ambiente, Proteção
da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da
Alemanha**

BMU Bonn:

Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

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

Brasília, novembro de 2021.

SUMÁRIO

1 :: Apresentação	04
2 :: Introdução	05
3 :: Metodologia	07
3.1 :: Índice de risco climático dos portos analisados	09
4 :: Principais Resultados do Estudo	10
4.1 :: Índice de risco climático dos portos analisados	15
5 :: Medidas de Adaptação	21
6 :: Conclusões e Recomendações	25
7 :: Referências Bibliográficas	26

Elaborado por: WayCarbon

Essa publicação deriva de um estudo realizado por uma equipe de consultores independentes sob a coordenação da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), por meio dos projetos Apoio ao Brasil na Implementação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – PROADAPTA e Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestruturas - CSI, com as participações da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os projetos ProAdapta e CSI foram pactuados no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e a GIZ, no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ, da ANTAQ e do INPE. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

1 :: Apresentação

Tendo em vista que os governos do Brasil e da Alemanha cooperam tecnicamente para atingir os compromissos assumidos nos acordos internacionais sobre o clima, o Ministério Alemão do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) vem apoiando o governo brasileiro em ações para o aumento da resiliência do país, por meio de projetos destinados à adaptação à mudança do clima.

Entre esses projetos está o “Apoio ao Brasil na Implantação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – ProAdapta” que visa favorecer o aumento da resiliência climática do Brasil, por meio da implementação efetiva da Agenda Nacional de Adaptação.

Implementado pela Agência de Cooperação Técnica Alemã Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, o ProAdapta apoia processos de coordenação e cooperação entre as três esferas de governo, setores econômicos e sociedade civil.

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) vem percebendo a necessidade de incorporar em seu espectro de atuação a dimensão da mudança do clima e dos efeitos adversos advindos da existência cada vez mais recorrente de eventos climáticos extremos na prestação, pelos terminais portuários nacionais, de serviços adequados aos seus usuários, de forma a garantir, entre outros aspectos, a eficiência e regularidade das operações.

Por esta razão, foi celebrado, em janeiro de 2020, um Acordo de Cooperação entre a ANTAQ e a GIZ para a elaboração do estudo intitulado “*Impactos e Riscos da Mudança do Clima nos Portos Públicos Costeiros Brasileiros*”. Os produtos a serem elaborados no âmbito da parceria em questão têm o potencial de subsidiar a consecução de políticas públicas nacionais sobre o tema, direcionando ações e investimentos.

O Acordo prevê a execução de um macroprojeto com três eixos bem definidos: i) eixo 1: elaboração de estudo contendo o levantamento das principais ameaças climáticas, riscos e impactos da mudança do clima nos principais portos públicos costeiros do Brasil com o objetivo de elaborar um ranking dos portos analisados sob maior risco climático atual e

para os anos de 2030 e 2050; ii) eixo 2: elaboração de estudos customizados para três portos selecionados a partir do ranking climático explicitado no eixo 1, visando detalhar os impactos das ameaças climáticas na infra e superestrutura do portos sob análise; e iii) eixo 3: elaboração de relatório com recomendações gerais de medidas de adaptação à mudança do clima para o setor portuário e divulgação dos resultados do projeto.

Assim, o estudo ora apresentado, integrante do eixo 1 do Acordo de Cooperação mencionado, apresenta um levantamento de risco climático para 21 portos públicos do Brasil e as possíveis medidas de adaptação a serem implementadas para aumentar a resiliência frente aos impactos das mudanças do clima.

Este estudo foi executado pela empresa WayCarbon e contou com a colaboração do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual desempenhou um papel fundamental no apoio técnico para definição da abordagem metodológica aplicada na análise de risco climático.

Para o alcance dos resultados almejados, além de extensa revisão bibliográfica e reuniões técnicas entre os atores do projeto, foram realizadas uma série de consultas aos representantes dos portos analisados, tendo como objetivo a identificação dos riscos associados às mudanças do clima que já afetam e possam continuar afetando direta e indiretamente a infraestrutura e eficiência portuária.

Infelizmente, os conhecimentos acerca dos impactos da mudança do clima sobre as zonas costeiras brasileiras, em especial sobre seus portos, são pontuais e dispersos. A carência de dados sobre o impacto dos eventos climáticos consiste na maior dificuldade para a compreensão do nível de vulnerabilidade dos portos, relacionado a sensibilidade e a capacidade adaptativa em relação aos extremos climáticos.

Assim, considerando a grande relevância e amplitude do estudo apresentado, espera-se que ele possa ser o ponto de partida para a melhoria regulatória do setor portuário, bem como se constitua um norteador de políticas públicas sobre o tema, tão importante e atual para o país e o mundo.

2 :: Introdução

O enfrentamento das consequências advindas da mudança do clima é um dos desafios mais complexos deste século, tendo em vista o seu potencial de ocorrência, a magnitude de uma série de impactos e os enormes prejuízos que ela traz não só para população e a biodiversidade, mas, também, para setores econômicos.

Dentre os setores que podem sofrer diretamente com os impactos causados por esse fenômeno está o setor portuário. Isso acontece por conta das particularidades de sua infraestrutura, localização, operação ou acesso. Os portos são constituem-se como pontos críticos de interseção do comércio global, por isso, tais impactos negativos poderão implicar em danos e prejuízos consideráveis, tendo em vista que aproximadamente 90% de todo o comércio mundial depende do transporte marítimo para se sustentar.

No Brasil existem 36 portos públicos de competência da União, denominados Portos Organizados e regidos pela Lei nº 12.815/2013. Nessa categoria, encontram-se os portos com administração exercida pela União, por intermédio de empresas de economia mista denominadas Companhias Docas, ou delegada a municípios, estados ou consórcios públicos. A área destes portos é delimitada por ato do Poder Executivo Federal conforme o art. 15 da Lei nº 12.815 de 5 de junho de 2013.

Tais portos públicos possuem grande importância na logística de transporte, constituindo-se em um elo logístico entre os modos de transporte de cargas, com grande relevância no escoamento da produção aos mercados consumidores nacionais e internacionais, bem como na obtenção de insumos para o desenvolvimento de suas atividades econômicas. O setor portuário possui um potencial crescente de expandir suas operações, aumentando cada vez mais a sua influência na economia nacional.

Segundo os dados do Estatístico Aquaviário¹, produzido pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2019), transita pelo setor portuário, em toneladas, cerca de 95% da corrente de comércio exterior do país², além de movimentar, em média, R\$ 293 bilhões anualmente, cerca de 14,2% do PIB brasileiro.

A mudança do clima pode causar impactos e perdas econômicas significativas ao setor, influenciando a economia regional e as cadeias de abastecimento global. Isso porque as instalações portuárias, por estarem localizadas nas zonas costeiras, são afetadas diretamente e indiretamente por eventos extremos, tais como precipitação intensa, vendavais e ressacas, além do aumento da temperatura do ar e aumento do nível médio do mar.

Esses fenômenos contribuem para o aumento das ocorrências de inundações, erosões costeiras e perdas dos ecossistemas costeiros (NOBRE; MARENGO, 2017). Tudo isso torna os portos suscetíveis aos riscos climáticos, tanto em termos de paralisações das operações do dia a dia quanto em termos de danos e reparos nas infraestruturas (BECKER *et al.*, 2016; NG *et al.*, 2016).

Para o setor portuário, esse processo é problemático porque pode levar à interrupção da navegação nas regiões portuárias (por motivos de segurança) e até mesmo à inundação de pátios de terminais e áreas próximas – como zonas urbanas. Além disso, esses impactos, em conjunto, acarretam aumento dos custos dos complexos marítimos e afetam ainda a durabilidade e resistência das instalações e das infraestruturas portuárias frente às condições climáticas adversas.

Nesse sentido, os portos de todo o mundo estão em uma busca crescente por identificação e avaliação dos riscos climáticos que evidenciam a necessidade de elaboração de estratégias de adaptação, visando reduzir os prejuízos financeiros e operacionais decorrentes desses impactos.

1. QlikView (antaq.gov.br).

2. Atualmente China, EUA, Argentina e alguns países pertencentes à União Europeia se constituem em importantes parceiros comerciais do Brasil.

Grandes complexos portuários, como os de Roterdã, na Holanda, e Nova York-Nova Jersey; Los Angeles-Long-Beach; San Francisco e Houston, nos Estados Unidos, têm estudado, na última década, os impactos que o aumento do nível do mar pode causar tanto em suas áreas portuárias como nas urbanas. E, em alguns casos, já desenvolvem planos de ação para se proteger dos impactos do fenômeno.

Portanto, tendo em vista a relevância do setor portuário para a economia brasileira e a alta exposição do setor aos impactos da mudança do clima, a adaptação torna-se fundamental e urgente para garantir a regularidade das operações portuárias e, conseqüentemente, a resiliência do setor. No que concerne a exposição das infraestruturas portuárias aos riscos climáticos, o Programa Brasil 2040 da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE-PR) revelou que essas já se encontram expostas a impactos e reconhecem o risco dos portos brasileiros.

A adaptação é definida como um processo de ajuste dos sistemas humanos e naturais ao clima atual e ao clima esperado futuro e aos seus efeitos (IPCC, 2014). No contexto do setor portuário, a adaptação envolve a implementação de ações que visem reduzir a vulnerabilidade às ameaças climáticas ou a identificação de oportunidades de aumentar a resiliência às mudanças do clima. Tais ações podem abranger tecnologia, mudanças de engenharia, concepção e manutenção, planejamento, medidas de seguro e alteração do sistema de gestão (SCOTT *et al.*, 2013).

Diante desse contexto, esse estudo teve como objetivo geral identificar os impactos e riscos da mudança

do clima nos portos públicos da costa brasileira, além de elencar um rol de recomendações gerais acerca de medidas de adaptação possíveis para aumentar a resiliência dos portos no que tange aos efeitos indesejáveis na operação e infraestrutura portuária.

Para alcançar tal objetivo, o estudo contemplou, dentre outros aspectos: i) levantamento das metodologias utilizadas internacionalmente em análises de risco climático no setor portuário; ii) levantamento de variáveis climáticas utilizadas em tomadas de decisão; iii) Identificação dos horizontes temporais mais adequados às tomadas de decisão; iv) Identificação dos principais impactos (danos e prejuízos) que o setor portuário costeiro brasileiro tem sofrido devido aos eventos climáticos; v) análise da frequência (aumento / diminuição) dos impactos; vi) identificação das ameaças climáticas que afetam os portos da costa brasileira; vii) análise da frequência (aumento / diminuição) das ameaças climáticas; viii) Identificação do nível de vulnerabilidade (sensibilidade e capacidade adaptativa) e de exposição dos portos às ameaças climáticas; ix) Identificação do nível de risco climático (ameaça x vulnerabilidade x exposição) dos portos; e x) recomendação de medidas de adaptação passíveis de implementação pelo setor portuário.

A análise de risco climático, contida no estudo, foi elaborada a partir da adesão de 21 portos costeiros públicos, sendo eles: Angra dos Reis (RJ), Aratu-Candeias (BA), Cabedelo (PB), Fortaleza (CE), Ilhéus (BA), Imbituba (SC), Itaguaí (RJ), Itajaí (SC), Itaqui (MA), Natal (RN), Niterói (RJ), Paranaguá (PR), Recife (PE), Rio Grande (RS), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Santos (SP), São Francisco do Sul (RS), São Sebastião (SP), Suape (PE) e Vitória (ES) - (Figura 1).

Figura 1: Localização dos portos públicos da costa brasileira selecionados para análise

Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

3 :: Metodologia

A análise de risco climático para os portos públicos costeiros brasileiros foi desenvolvida em seis grandes etapas, que garantiram um sequenciamento lógico para o cumprimento dos objetivos do estudo.

A primeira etapa, **(1) compreensão do contexto**, incluiu uma revisão bibliográfica das metodologias de análise de risco nacionais e internacionais aplicáveis ao setor portuário, as quais foram comparadas com a metodologia de análise de risco climático proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), a fim de validar a viabilidade da aplicação no contexto dos portos costeiros brasileiros.

Em seguida, o **(2) levantamento dos impactos** foi realizado a partir da aplicação de um questionário eletrônico³ aos 21 portos públicos brasileiros analisados, com o objetivo de coletar informações específicas que subsidiaram a análise de risco.

A etapa de **(3) seleção das ameaças e definição dos cenários e períodos de análise** foi fundamentada em um levantamento bibliográfico sobre as ameaças climáticas com maior potencial de impactar os portos e nos resultados obtidos por meio do questionário eletrônico aplicado, na etapa (2), aos representantes dos portos públicos sob análise. Ademais, em uma nova etapa de consulta aos portos abordados,

³ Maiores detalhes consultar o relatório completo contendo a metodologia do estudo.

foi certificada a aderência dos resultados obtidos à realidade vivenciada pelas Autoridades Portuárias.

A etapa de **(4) definição dos indicadores de vulnerabilidade e exposição** foi baseada em dados disponíveis na bibliografia e nos resultados do questionário eletrônico aplicado. Destaca-se que essa etapa contou com a participação dos especialistas portuários indicados pelos portos, os quais opinaram sobre a definição de pesos aplicáveis às variáveis do indicador de vulnerabilidade.

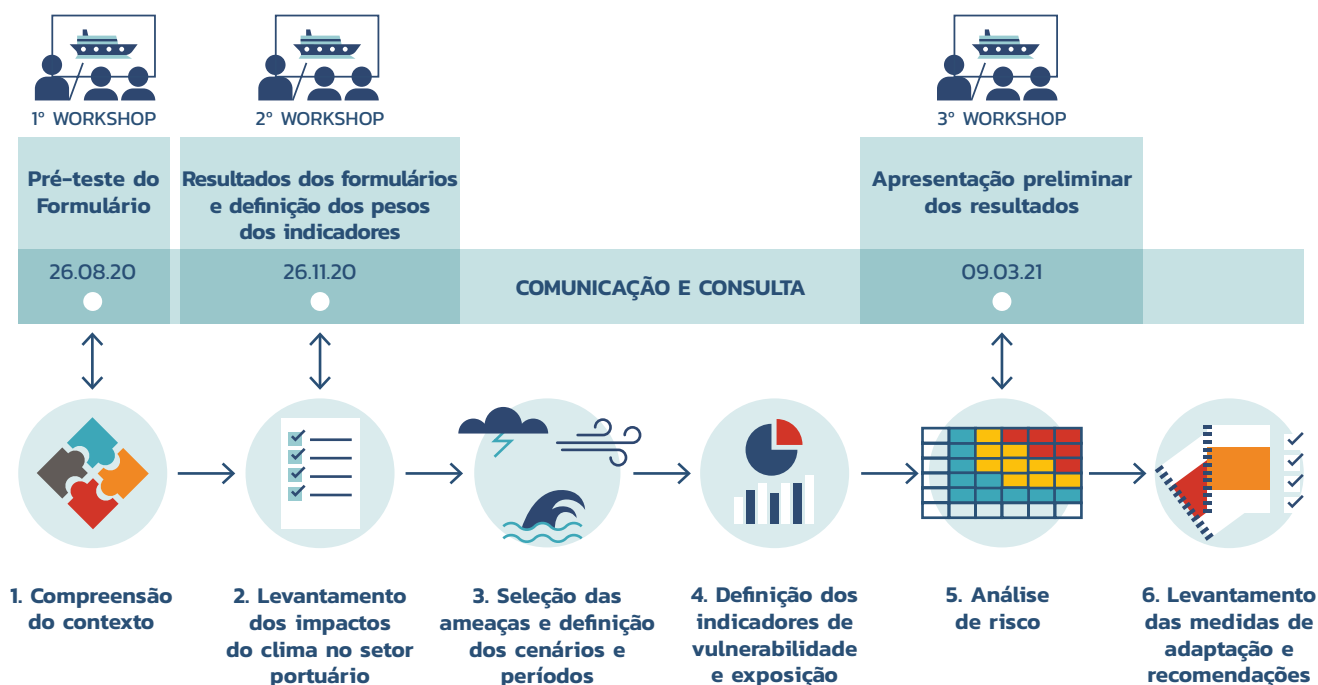
Após a definição dos indicadores foi realizada a **(5) análise de risco climático**. Essa etapa consistiu na aplicação da metodologia de risco proposta pelo IPCC (2014), validada na etapa (1), e que será apresentada na próxima seção. Nessa etapa também foi realizado um ranking dos portos classificados com maior

risco devido à ocorrência de tempestade, vendaval e aumento do nível do mar. A partir desses rankings foram selecionados três portos, com índices de risco climático mais críticos, para o desenvolvimento das análises customizadas previstas no eixo 2 do estudo.

Por fim, a partir dos resultados da análise de risco climático foi possível realizar o **(6) levantamento das medidas de adaptação e recomendações para o setor portuário**, baseadas em uma revisão bibliográfica de casos nos contextos nacional e internacional e no levantamento documental das ações e medidas existentes nos portos analisados, as quais foram consideradas na elaboração dos indicadores de capacidade adaptativa.

As principais etapas percorridas ao longo do estudo estão sumarizadas na Figura 2 abaixo.

Figura 2: Sequenciamento das etapas aplicadas no estudo



Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

3.1 :: Índice de Risco Climático dos Portos Analisados

A base metodológica utilizada na elaboração da análise de risco climático para os portos públicos da costa brasileira foi fundamentada no Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental so-

bre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), o qual aponta que o risco climático é resultado da interação entre a **ameaça climática**, a **exposição** de sistemas naturais, humanos e econômicos e suas características de **vulnerabilidade**, obtida em função da sensibilidade ou suscetibilidade a danos e da capacidade de adaptação (Figura 3).

Figura 3: Metodologia da Análise de Risco Climático



Elaboração: Elaborado a partir de IPCC (2014).

Matematicamente, a equação utilizada para representar o índice de risco climático foi:

$$R = A \times E \times V$$

Em que:

A: Representa a ameaça climática considerada

E: Representa a exposição de determinado porto à ameaça considerada

V: Representa a vulnerabilidade do porto à ameaça considerada.

Após o cálculo do índice de risco, realizou-se uma padronização dos resultados, conforme a Equação 2:

$$\check{R} = \frac{\frac{x}{\sigma}}{\text{máx}\left(\frac{x}{\sigma}\right)} \quad [2]$$

Ř: Índice de risco padronizado;

X: Índice de risco para cada porto em cada período e cenário analisado;

σ: Desvio padrão do conjunto de x.

Assim, o índice de risco climático pode ser apresentado em uma escala de valores que varia de 0 a 1, os quais são classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Escala de Índice de Risco Climático

FAIXA	CLASSE
$0 \leq \check{R} < 0,199$	Muito Baixo
$0,2 \leq \check{R} < 0,399$	Baixo
$0,4 \leq \check{R} < 0,599$	Médio
$0,6 \leq \check{R} < 0,799$	Alto
$0,8 \leq \check{R} \leq 1$	Muito Alto

Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

4 :: Principais Resultados do Estudo

A partir da etapa **(1) compreensão do contexto** foi possível constatar que a metodologia de análise de risco climático proposta pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), com algumas adaptações necessárias em função da falta de disponibilidade de informações, poderia ser aplicada no contexto dos portos costeiros brasileiros. Para tanto, foram utilizadas as informações e indicadores elaborados nas etapas (2), (3) e (4) do estudo.

Na etapa **(2) levantamento dos impactos** identificou-se a partir das respostas das autoridades portuárias que, das nove⁴ ameaças climáticas analisadas, os vendavais e tempestades foram as que mais tiveram registros de impactos na cadeia logística, nas

operações e estruturas portuárias, sendo apontado um aumento da frequência dos impactos gerados por essas ameaças. Outro importante resultado do questionário foi em relação ao monitoramento das informações climáticas. O resultado da pesquisa revelou lacunas importantes no monitoramento de ameaças climáticas, além da deficiência de dados relativos ao histórico de impactos e suas respectivas causas em portos de diferentes tamanhos e em todas as regiões pesquisadas do país, com implicações para o estado presente da gestão de risco climático e planejamento de adaptação.

Na etapa **(3) seleção das ameaças e definição dos cenários e períodos de análise** definiu-se a análise

4. Ameaças climáticas analisadas: ressacas, inundações costeiras e fluviais, erosão costeira, neblina, ondas de calor, vendavais, tempestades e aumento do nível do mar.

se das ameaças de tempestades, de vendavais e aumento do nível do mar para o período de 2030 e 2050, considerando os cenários de emissões de CO₂ na atmosfera RCP4.5⁵ e RCP8.5⁶. As ameaças de tempestades, vendavais e aumento do nível médio do mar foram selecionadas tendo em vista o seu potencial em causar interrupções e complicações na cadeia logística dos portos, gerando uma série de impactos econômicos. Apesar do aumento do nível do mar não ter sido apontado no questionário eletrônico aplicado como uma ameaça climática relevante para os portos, a ameaça foi considerada no presente estudo tendo em vista que a literatura apresenta evidências de que a taxa de aumento do nível do mar está em tendência de alta nos últimos anos, com potencial de causar impactos significativos ao setor portuário. Em relação aos períodos e cenários selecionados, esses foram definidos de acordo com a metodologia apresentada na plataforma AdaptaBrasil⁷ do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), na qual os resultados deste projeto serão incorporados, além de considerar os horizontes temporais inseridos nos instrumentos de planejamento do setor portuário.

Na etapa **(4) definição dos indicadores de vulnerabilidade e exposição** foi possível identificar 13 indicadores de capacidade adaptativa à tempestade e vendavais e 10 de capacidade adaptativa ao aumento do nível médio do mar, a partir dos resultados do questionário aplicado, todos referentes à dimensão de vulnerabilidade. Já os indicadores de sensibilidade e exposição foram identificados na literatura, sendo 2 para a exposição às três ameaças analisadas, 3 para a sensibilidade às ameaças de tempestade e vendaval e 2 para a sensibilidade ao aumento do nível médio do mar.

Na etapa **(5) análise de risco climático** foi efetivada a tradução do resultado da interação das dimensões ameaça, exposição e vulnerabilidade em termos mensuráveis e gerenciáveis, por meio de um sistema de indicadores, a partir dos quais foi possível calcular os índices de risco climático para cada porto e cada ameaça climática considerada (tempestade, vendaval e aumento do nível do mar).

Por último, a etapa **(6) levantamento das medidas de adaptação e recomendações** identificou 55 medidas de adaptação que têm potencial de aumentar a resiliência do setor portuário brasileiro, sendo 21 estruturais e 34 não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de engenharia para correção e/ou prevenção de desastres, podendo abranger também as áreas de tecnologia, bem como a adaptação baseada em ecossistema (AbE)⁸. Por sua vez, as medidas não estruturais visam reduzir os impactos por meio de gestão administrativa, normas, regulamentações ou programas, abrangendo as áreas de design e manutenção, de planejamento, de seguros e de gestão de sistemas.

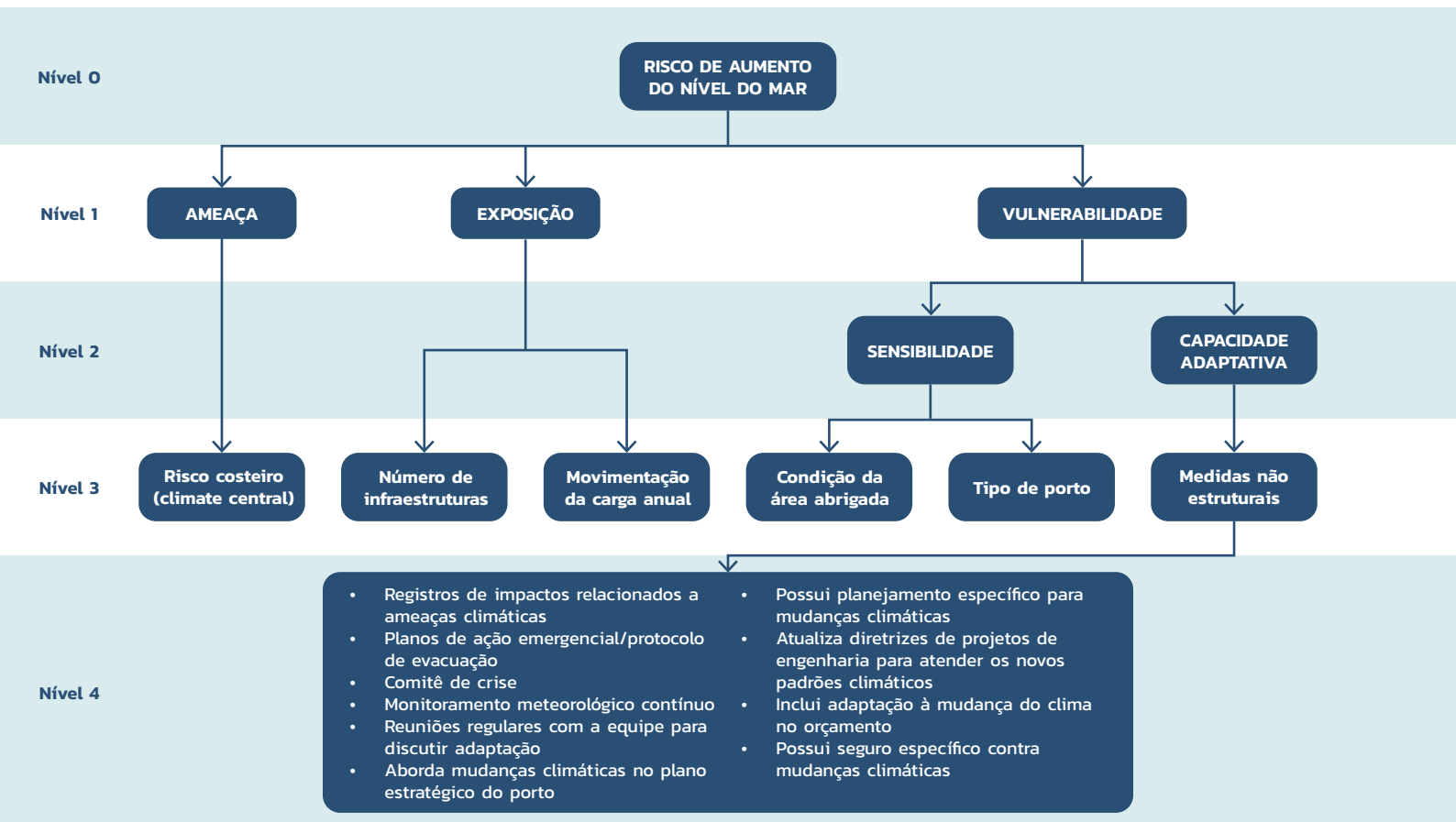
As Figuras 4, 5 e 6 expostas abaixo apresentam, por meio de uma estrutura hierárquica, as variáveis selecionadas para composição dos índices de risco de aumento do nível do mar, vendaval e tempestade. A organização de indicadores e índices em estrutura hierárquica segue um modelo de composição adotado pelo AdaptaBrasil, em que níveis mais altos representam informações mais sintéticas relacionadas ao risco de impacto e suas dimensões, enquanto que os níveis mais baixos apresentam indicadores mais detalhados e, portanto, mais tangíveis para análises e ações de planejamento para tomadores de decisão.

5. No cenário RCP4.5 a concentração de CO₂ equivalente na atmosfera atinge cerca de 650 ppm até o final do século XXI e as estratégias para reduzir as emissões de GEE fazem com que as forças radiativas se estabilizem em 4,5 W/m² antes do ano 2100, o que representa um aumento entre 1,8°C e 3,3°C na temperatura média global (INPE, 2021).

6. O RCP8.5 corresponde a um cenário de alta concentração de GEE na atmosfera, no qual o CO₂ equivalente excede a 1000 ppm até o final do século XXI e, com isso, o forçamento radiativo atingirá 8,5 W/m² até o ano 2100, o que representa um aumento entre 3,3°C e 5,9°C na temperatura média global (INPE, 2021).

7. <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>

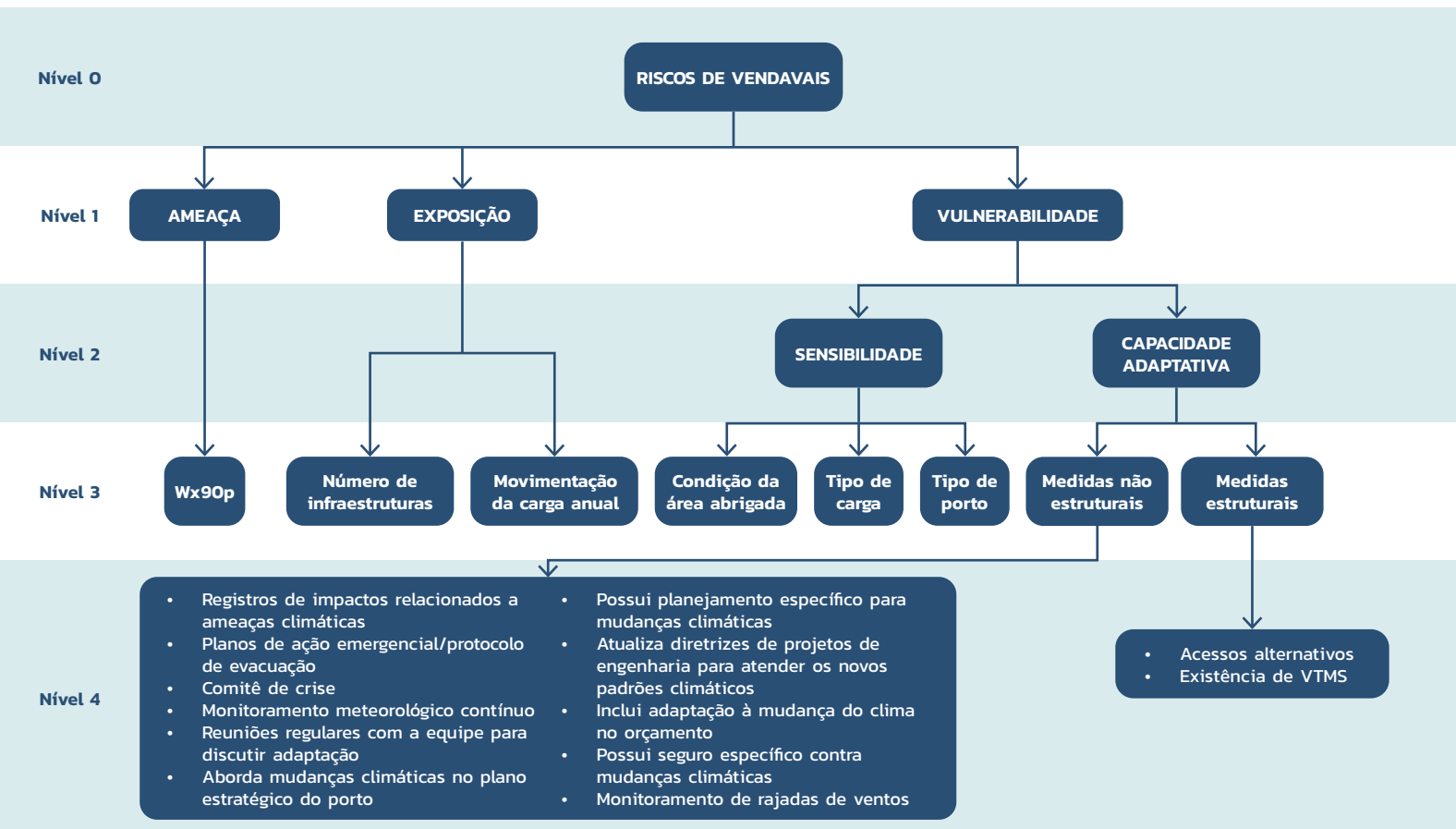
8. O uso de atividades de manejo de ecossistemas para aumentar a resiliência e reduzir a vulnerabilidade.

Figura 4: Estrutura Hierárquica do Índice de Risco de Aumento do Nível do Mar

Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

Nota: A ameaça de aumento do nível do mar é apresentada pela presença ou não do risco costeiro, o qual foi possível de ser identificado pelo modelo elevação digital "CoastalDEM". O indicador condição da área abrigada representa a integridade estrutural da área abrigada, tendo como objetivo indicar o quanto a área abrigada cumpre a sua função de proteger as operações portuárias dos ventos, mar e ondulação. O indicador tipo de porto indica se o porto está artificialmente ou naturalmente abrigado, dado que a depender desse tipo de abrigo os portos podem ser mais ou menos sensíveis à ameaça analisada. No caso dos portos brasileiros, esses podem ser: naturalmente abrigado por uma ilha/baía, naturalmente abrigado por um rio/lagoa ou artificialmente abrigado.

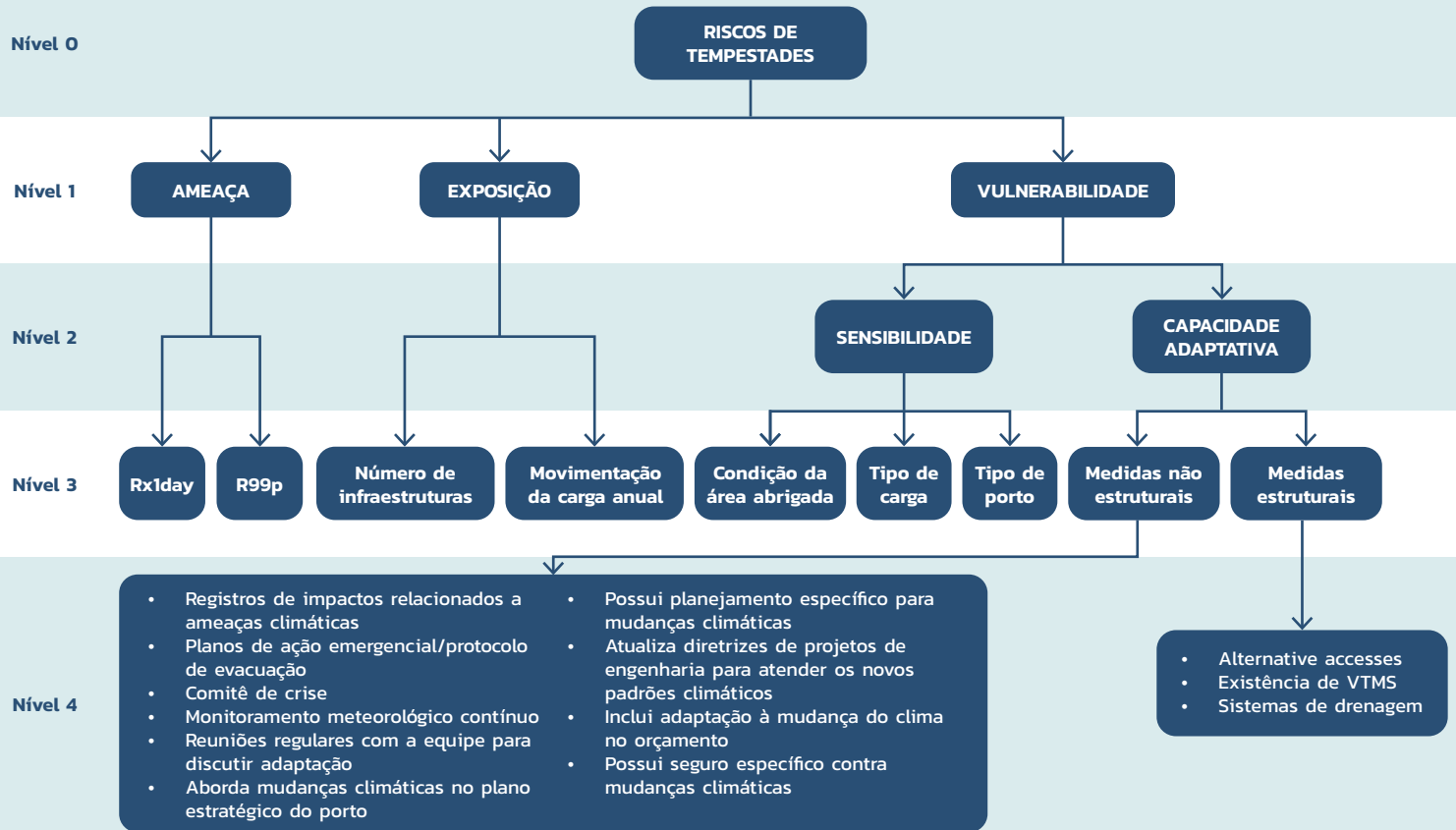
Figura 5: Estrutura Hierárquica do Índice de Risco de Vendaval



Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

Nota: O indicador Wx90p consiste no cálculo da porcentagem de dias em que a velocidade máxima do vento é superior a 90 percentil. O indicador "tipo de carga" considerado para este cálculo está relacionado a cargas conteinerizadas, carga geral e graneis sólidos, pois suas operações são mais sensíveis aos vendavais, visto que pode haver dificuldade no manuseio dos equipamentos de içamento em razão da velocidade do vento.

Figura 6: Estrutura Hierárquica do Índice de Risco de Tempestade



Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

Nota: O indicador Rx1day representa o maior volume anual de precipitação em um dia, enquanto o R99p representa a porcentagem de dias no ano em que a precipitação ficou acima do percentil 99 em relação ao período base (1986–2005). O indicador “tipo de carga” considerado para este cálculo está relacionado aos granéis sólidos, uma vez que a operação desse tipo de carga é mais sensível às tempestades.

O indicador de exposição para todas as ameaças analisadas é composto pelos indicadores intermediários “número de infraestruturas” e “movimentação de carga anual”. O número de infraestruturas foi obtido dos planos mestres dos portos, enquanto a movimentação de carga anual foi obtida do Estatístico Aquaviário da ANTAQ.

O indicador de vulnerabilidade, formado pelos indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa, foi obtido por meio do levantamento bibliográfico e aplicação do questionário eletrônico já mencionado. As respostas do questionário, conforme apontado anteriormente, subsidiou a elaboração do indica-

dor de capacidade adaptativa. Já o levantamento bibliográfico fundamentou a escolha dos indicadores intermediários para análise da sensibilidade. A condição da área abrigada e o tipo de porto foram baseados nos dados *World Port Index* (WPI) da Agência Nacional de Informação Geoespacial (do inglês *National Geospatial-Intelligence Agency*, NGA), enquanto o tipo de carga, presente apenas para as ameaças de tempestades e vendavais foi obtido por meio dos dados do Estatístico Aquaviário da ANTAQ.

No que diz respeito ao indicador de ameaça, esse foi elaborado de formas distintas a depender da ameaça climática analisada. Para as ameaças climáticas

de tempestades e vendavais foram desenvolvidos indicadores a partir de índices climáticos extremos. A base de dados utilizada para o cálculo desses indicadores considerou um conjunto de modelos climáticos regionais disponibilizados pelo projeto *Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX)*⁹ forçados por modelos climáticos globais do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)* para o domínio da América do Sul. Vale ressaltar que a elaboração dos indicadores relativos a essas duas ameaças foi acompanhada e validada por especialistas do INPE, os quais desempenharam um papel fundamental nos resultados obtidos. Para o indicador de aumento do nível do mar, a ameaça foi estimada a partir do modelo de elevação digital “CoastalDEM”, no qual avaliou-se se haverá ou não a presença de uma mancha de inundação na área (polígono) em que os portos analisados estão localizados. Em resumo, nos casos em que foi possível observar a ocorrência de mancha de inundação na área poligonal, adotou-se o valor 1 para o indicador de ameaça, e nos casos em que não foi possível observar a mancha de inundação, adotou-se o valor 0.

Os índices de risco de tempestades e vendavais foram elaborados para o período histórico de 1986-2005 e para os períodos de 2021-2040 e 2041-2060, contraídos em 2030 e 2050, respectivamente, considerando os cenários de concentração de gases de efeito estufa na atmosfera RCP4.5 e RCP8.5. Para o índice de risco de aumento do nível do mar foi analisado apenas o risco para os períodos projetados dada a natureza da ameaça.

Destaca-se que a análise temporal do risco climático está associada ao indicador de ameaça, dado que, dentre os indicadores envolvidos no cálculo do índice de risco, apenas esse foi avaliado considerando sua variação ao longo do período analisado. Os indicadores de exposição e vulnerabilidade foram considerados como variáveis constantes, atentando-se às condições atuais de cada porto. Dessa maneira, ao avaliar esses indicadores como variáveis constantes, foi pos-

sível compreender o quanto uma ameaça climática poderá afetar os portos, caso o risco se materialize e nenhuma medida de adaptação seja adotada.

4.1 :: Índice de Risco Climático dos Portos Analisados

Para cada porto selecionado, foram analisados os índices de risco climático associados a tempestades, vendavais e aumento do nível do mar, dado o potencial de gerar impactos nas operações e infraestruturas. Tais eventos podem acarretar ainda riscos secundários, como inundações, ressacas e erosão costeira que podem potencializar os impactos no setor portuário.

Os resultados do **índice de risco de tempestades**, apresentados na Tabela 2, apontam que não são previstas mudanças bruscas no nível do risco de tempestade para os 21 portos públicos, dado que, 16 (76,2%) portos apresentam resultados constantes ao longo do período analisado. Aproximadamente metade dos portos analisados apresentaram no cenário atual um risco classificado “alto” ou “muito alto”. Ao comparar o período observacional com os períodos projetados, considerando os cenários de emissão RCP 4.5 e 8.5, tem-se que no cenário de emissão RCP 4.5, nenhum porto teve seu nível de risco reduzido, destaca-se que ou ele aumentou na projeção para 2030 e 2050 (23,8%), ou ele se manteve constante (76,2%). No cenário de emissão RCP 8.5, apenas dois portos (9,5%) tiveram o seu nível de risco aumentado, um deles teve o nível de risco classificado como muito “baixo” indo para “médio” no período projetado para 2030 e 2050, e o outro teve o nível de risco alterado de “médio” para “alto” na projeção para 2050, sendo o restante, 90,5%, apresentando o nível de risco inalterado.

Em relação ao nível “muito alto” de risco de tempestade, destacam-se os portos de Aratu-Candeias, Cabedelo e Rio Grande. Esses portos foram classificados nessa categoria em todos os períodos e cenários analisados.

9. É um programa patrocinado pelo Programa Mundial de Pesquisa do Clima (WCRP) para desenvolver uma estrutura aprimorada para gerar projeções climáticas em escala regional para avaliação de impacto e estudos de adaptação em todo o mundo dentro do cronograma AR5 do IPCC.

Tanto para o porto de Aratu-Candeias quanto para o porto de Cabedelo, os indicadores que mais contribuíram para o risco elevado foram os de ameaça e o de exposição, como pode ser observado abaixo, ao passo que, para o porto de Rio Grande, o mesmo resultado é decorrente da forte influência dos indicadores de

exposição e vulnerabilidade. Outro ponto que chama atenção são os portos de Natal e São Francisco do Sul, os quais, tiveram o seu risco classificado como “alto” alterado para “muito alto” no cenário de emissões RCP4.5, para os anos de 2050 e 2030, respectivamente, e, em ambos, foi em consequência da ameaça projetada.

Tabela 2: Análise do risco climático para a ameaça de tempestades

Porto	E	V	Obs.		RCP4.5				RCP8.5			
					2030		2050		2030		2050	
			A	Ř	A	Ř	A	Ř	A	Ř	A	Ř
Angra dos Reis	0,5	0,3	0,6	0,283	0,6	0,285	0,6	0,282	0,6	0,277	0,6	0,284
Aratu-Candeias	0,8	0,5	0,8	0,993	0,8	1,000	0,8	0,992	0,8	0,977	0,8	0,977
Cabedelo	0,7	0,6	0,7	0,856	0,7	0,880	0,7	0,882	0,7	0,864	0,7	0,851
Fortaleza	0,7	0,5	0,5	0,509	0,5	0,537	0,5	0,544	0,5	0,536	0,5	0,553
Ilhéus	0,5	0,4	0,6	0,426	0,6	0,426	0,7	0,436	0,6	0,427	0,7	0,429
Imbituba	0,7	0,5	0,6	0,618	0,6	0,638	0,6	0,632	0,6	0,628	0,6	0,637
Itaguaí	0,8	0,3	0,5	0,397	0,5	0,406	0,5	0,401	0,5	0,401	0,5	0,410
Itajaí	0,6	0,3	0,6	0,308	0,6	0,312	0,6	0,308	0,6	0,304	0,6	0,309
Itaqui	0,8	0,3	0,4	0,292	0,4	0,319	0,4	0,333	0,4	0,318	0,5	0,349
Natal	0,7	0,5	0,8	0,792	0,8	0,793	0,8	0,809	0,7	0,788	0,7	0,766
Niterói	0,5	0,3	0,6	0,249	0,6	0,256	0,6	0,250	0,6	0,251	0,6	0,256
Paranaguá	0,9	0,4	0,6	0,661	0,6	0,666	0,6	0,663	0,6	0,658	0,6	0,670
Recife	0,7	0,4	0,8	0,750	0,8	0,779	0,8	0,774	0,8	0,787	0,8	0,767
Rio de Janeiro	0,8	0,3	0,6	0,481	0,6	0,494	0,6	0,483	0,6	0,484	0,6	0,495
Rio Grande	0,9	0,6	0,5	1,000	0,5	0,983	0,5	0,987	0,5	0,998	0,5	0,991
Salvador	0,7	0,3	0,8	0,461	0,8	0,464	0,8	0,462	0,8	0,456	0,8	0,458
Santos	1,0	0,3	0,6	0,627	0,6	0,636	0,6	0,622	0,6	0,620	0,6	0,639
São Francisco do Sul	0,7	0,6	0,6	0,792	0,6	0,801	0,6	0,791	0,6	0,785	0,6	0,798
São Sebastião	0,6	0,5	0,6	0,596	0,6	0,604	0,6	0,591	0,6	0,582	0,6	0,601
SUAPE	0,9	0,2	0,9	0,604	0,9	0,625	0,9	0,622	0,9	0,630	0,9	0,617
Vitória	0,8	0,3	0,6	0,398	0,6	0,400	0,6	0,394	0,6	0,393	0,6	0,394

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
0 – 0,199	0,2 – 0,399	0,4 – 0,599	0,6 – 0,799	0,8 – 1,000

Fonte: Dados enviados pelas entidades portuárias e dados do CORDEX. **Elaboração:** WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

Nota: E = Exposição, V = Vulnerabilidade, A = Ameaça, Ř = Risco (padronizado) e Obs = Observacional.

O ranking para a ameaça de tempestades se mantém praticamente igual no período observado e para o cenário RCP 8.5 para o período projetado em 2050 conforme a Tabela 3. Os portos de Rio Grande, Aratu-Candeias e Cabedelo, foram os portos classificados com um maior risco de tempestade nos dois

períodos observados, ocupando o primeiro, segundo e terceiro lugar, respectivamente. Os portos que sofreram alteração foram os seguintes: Natal (4° para 6°), São Francisco do Sul (5° para 4°), Recife (6° para 5°), Vitória (16° para 17°), Itaguaí (17° para 16°), Itajaí (18 para 19°) e Itaqui (19° para 18°).

Tabela 3: Ranking dos portos – risco de tempestades

Posição	Porto	Observado	Posição	Porto	RCP8.5 2050
1°	Rio Grande	1,000	1°	Rio Grande	0,991
2°	Aratu-Candeias	0,993	2°	Aratu-Candeias	0,977
3°	Cabedelo	0,856	3°	Cabedelo	0,851
4°	Natal	0,792	4°	São Francisco do Sul	0,798
5°	São Francisco do Sul	0,792	5°	Recife	0,767
6°	Recife	0,750	6°	Natal	0,766
7°	Paranaguá	0,661	7°	Paranaguá	0,670
8°	Santos	0,627	8°	Santos	0,639
9°	Imbituba	0,618	9°	Imbituba	0,637
10°	SUAPE	0,604	10°	SUAPE	0,617
11°	São Sebastião	0,596	11°	São Sebastião	0,601
12°	Fortaleza	0,509	12°	Fortaleza	0,553
13°	Rio de Janeiro	0,481	13°	Rio de Janeiro	0,495
14°	Salvador	0,461	14°	Salvador	0,458
15°	Ilhéus	0,426	15°	Ilhéus	0,429
16°	Vitória	0,398	16°	Itaguaí	0,410
17°	Itaguaí	0,397	17°	Vitória	0,394
18°	Itajaí	0,308	18°	Itaquí	0,349
19°	Itaquí	0,292	19°	Itajaí	0,309
20°	Angra dos Reis	0,283	20°	Angra dos Reis	0,284
21°	Niterói	0,249	21°	Niterói	0,256

Elaboração: WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

Os resultados do **índice de risco de vendavais**, apresentados na Tabela 4, apontam que 33,3% dos portos já possuem, considerando o cenário observacional, um risco classificado como “alto” ou “muito alto”. Ao analisar essa situação em cenários futuros, nota-se um significativo aumento desse risco, o qual, no cenário do RCP4.5 representa 57,1% e 66,7% dos portos, para 2030 e 2050, respectivamente. Em relação ao cenário do RCP8.5, o resultado é ainda mais expressivo, atingindo risco “alto” ou “muito alto” em 76,2% dos portos no período de 2050. Isso significa que o número de portos com risco significativo irá mais que dobrar nesse cenário caso não sejam adotadas medidas de adaptação.

Ao comparar os cenários de emissões RCP 4.5 e 8.5, considerando os dois períodos em conjunto, observa-se que os portos de Aratu-Candeias, Cabedelo, Natal, Salvador e SUAPE foram os que sofreram alterações na categorização entre esses cenários, tendo o seu risco aumentado, principalmente no cenário de emissão RCP 8.5. Ressalta-se que nesses casos em que o risco aumenta consideravelmente, é necessária uma atenção por parte da administração portuária, a fim de evitar possíveis prejuízos no futuro decorrentes da falta de investimento em medidas de adaptação.

Tabela 4: Análise do risco climático para a ameaça de vendaval

Porto	E	V	Obs.		RCP4.5				RCP8.5			
					2030		2050		2030		2050	
			A	Ř	A	Ř	A	Ř	A	Ř	A	Ř
Angra dos Reis	0,5	0,5	0,6	0,364	0,7	0,397	0,7	0,440	0,7	0,406	0,8	0,449
Aratu-Candeias	0,8	0,4	0,6	0,496	0,7	0,578	0,8	0,599	0,8	0,615	0,9	0,723
Cabedelo	0,7	0,5	0,6	0,445	0,7	0,568	0,8	0,617	0,8	0,604	1,0	0,737
Fortaleza	0,6	0,6	0,6	0,534	0,7	0,638	0,8	0,692	0,7	0,662	0,8	0,754
Ilhéus	0,5	0,7	0,6	0,595	0,7	0,663	0,7	0,703	0,7	0,699	0,8	0,789
Imbituba	0,6	0,8	0,6	0,761	0,6	0,776	0,7	0,804	0,7	0,799	0,7	0,835
Itaguaí	0,7	0,6	0,6	0,618	0,7	0,670	0,7	0,747	0,7	0,696	0,8	0,764
Itajaí	0,6	0,4	0,6	0,334	0,6	0,345	0,7	0,350	0,7	0,351	0,7	0,361
Itaquí	0,8	0,3	0,6	0,426	0,7	0,487	0,8	0,525	0,8	0,536	0,9	0,580
Natal	0,7	0,5	0,6	0,467	0,8	0,607	0,8	0,681	0,8	0,643	1,0	0,802
Niterói	0,4	0,5	0,6	0,324	0,6	0,351	0,7	0,388	0,7	0,369	0,7	0,400
Paranaguá	0,9	0,5	0,6	0,634	0,7	0,686	0,7	0,717	0,7	0,695	0,7	0,741
Recife	0,7	0,7	0,6	0,728	0,7	0,840	0,7	0,873	0,7	0,872	0,8	1,000
Rio de Janeiro	0,8	0,5	0,6	0,581	0,6	0,628	0,7	0,694	0,7	0,660	0,7	0,715
Rio Grande	0,9	0,5	0,6	0,698	0,7	0,721	0,7	0,741	0,7	0,719	0,7	0,737
Salvador	0,7	0,7	0,6	0,676	0,7	0,771	0,7	0,794	0,8	0,813	0,9	0,944
Santos	1,0	0,5	0,6	0,733	0,7	0,777	0,7	0,842	0,7	0,796	0,7	0,857
São Francisco do Sul	0,6	0,6	0,6	0,592	0,7	0,626	0,7	0,638	0,7	0,631	0,7	0,661
São Sebastião	0,6	0,6	0,6	0,532	0,7	0,562	0,7	0,614	0,7	0,582	0,7	0,629
SUAPE	0,9	0,4	0,6	0,494	0,7	0,560	0,7	0,575	0,7	0,579	0,8	0,653
Vitória	0,8	0,3	0,6	0,288	0,7	0,333	0,8	0,377	0,8	0,357	0,8	0,396

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
0 – 0,199	0,2 – 0,399	0,4 – 0,599	0,6 – 0,799	0,8 – 1,000

Fonte: Dados enviados pelas entidades portuárias e dados do CORDEX. **Elaboração:** WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

Nota: E = Exposição, V = Vulnerabilidade, A = Ameaça, Ř = Risco (padronizado) e Obs = Observacional

O ranking dos portos (tabela 5), em relação ao índice de risco de vendavais, apresenta alterações significativas do período observado para o período projetado para 2050. Dentre essas, destaca-se as ocorridas para os portos de Rio Grande e Natal. O porto de Rio Grande, que estava entre os cinco por-

tos com o risco mais elevado para os vendavais no período observado, foi para a classificação 11º no período de 2050. Já o porto de Natal, classificado em 15º no período observado subiu para o 5º lugar, tendo um aumento considerável no seu índice de risco de vendavais.

Tabela 5: Ranking dos portos – risco de vendavais

Posição	Porto	Observado	Posição	Porto	RCP8.5 2050
1°	Imbituba	0,761	1°	Recife	1,000
2°	Santos	0,733	2°	Salvador	0,944
3°	Recife	0,728	3°	Santos	0,857
4°	Rio Grande	0,698	4°	Imbituba	0,835
5°	Salvador	0,676	5°	Natal	0,802
6°	Paranaguá	0,634	6°	Ilhéus	0,789
7°	Itaguaí	0,618	7°	Itaguaí	0,764
8°	Ilhéus	0,595	8°	Fortaleza	0,754
9°	São Francisco do Sul	0,592	9°	Paranaguá	0,741
10°	Rio de Janeiro	0,581	10°	Cabedelo	0,737
11°	Fortaleza	0,534	11°	Rio Grande	0,737
12°	São Sebastião	0,532	12°	Aratu-Candeias	0,723
13°	Aratu-Candeias	0,496	13°	Rio de Janeiro	0,715
14°	SUAPE	0,494	14°	São Francisco do Sul	0,661
15°	Natal	0,467	15°	SUAPE	0,653
16°	Cabedelo	0,445	16°	São Sebastião	0,629
17°	Itaquí	0,426	17°	Itaquí	0,580
18°	Angra dos Reis	0,364	18°	Angra dos Reis	0,449
19°	Itajaí	0,334	19°	Niterói	0,400
20°	Niterói	0,324	20°	Vitória	0,396
21°	Vitória	0,288	21°	Itajaí	0,361

Elaboração: WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

O **índice de risco de aumento do nível do mar** dos 21 portos públicos permaneceu inalterado ao longo dos períodos analisados devido ao indicador de ameaça, visto que esse indicador foi tratado como um indicador binário (ameaça presente ou ausente) na metodologia adotada, desconsiderando as possíveis diferenças entre o aumento relativo do mar nos anos e nos cenários de emissões analisados. Dentre os portos analisados, onze deles, ou 52% dos portos analisados (Aratu-Candeias, Paranaguá, Rio Grande,

Santos e São Francisco do Sul, Cabedelo, Fortaleza, Imbituba, Itaguaí, Recife e São Sebastião) possuirão, em 2030, risco de aumento do nível do mar classificado como “muito alto” ou “alto”, tendo forte influência do indicador de exposição (Tabela 6). O resultado nulo para os portos de Angra dos Reis, Niterói e Rio de Janeiro advém da metodologia selecionada para o presente estudo, a qual não identificou a ocorrência de mancha de inundação nos períodos e cenários analisados.

Tabela 6: Análise do risco climático para a ameaça de aumento do nível do mar

Porto	E	V	RCP4.5				RCP8.5			
			2030		2050		2030		2050	
			A	Ř	A	Ř	A	Ř	A	Ř
Angra dos Reis	0,5	0,5	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
Aratu-Candeias	0,8	0,6	1,0	1,000	1,0	1,000	1,0	1,000	1,0	1,000
Cabedelo	0,7	0,5	1,0	0,640	1,0	0,640	1,0	0,640	1,0	0,640
Fortaleza	0,7	0,6	1,0	0,778	1,0	0,778	1,0	0,778	1,0	0,778
Ilhéus	0,5	0,4	1,0	0,499	1,0	0,499	1,0	0,499	1,0	0,499
Imbituba	0,7	0,5	1,0	0,705	1,0	0,705	1,0	0,705	1,0	0,705
Itaguaí	0,7	0,5	1,0	0,731	1,0	0,731	1,0	0,731	1,0	0,731
Itajaí	0,6	0,1	1,0	0,127	1,0	0,127	1,0	0,127	1,0	0,127
Itaquí	0,8	0,3	1,0	0,463	1,0	0,463	1,0	0,463	1,0	0,463
Natal	0,7	0,3	1,0	0,416	1,0	0,416	1,0	0,416	1,0	0,416
Niterói	0,4	0,4	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
Paranaguá	0,9	0,4	1,0	0,834	1,0	0,834	1,0	0,834	1,0	0,834
Recife	0,7	0,4	1,0	0,637	1,0	0,637	1,0	0,637	1,0	0,637
Rio de Janeiro	0,8	0,4	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
Rio Grande	0,9	0,5	1,0	0,963	1,0	0,963	1,0	0,963	1,0	0,963
Salvador	0,7	0,3	1,0	0,471	1,0	0,471	1,0	0,471	1,0	0,471
Santos	1,0	0,4	1,0	0,811	1,0	0,811	1,0	0,811	1,0	0,811
São Francisco do Sul	0,7	0,6	1,0	0,805	1,0	0,805	1,0	0,805	1,0	0,805
São Sebastião	0,6	0,6	1,0	0,678	1,0	0,678	1,0	0,678	1,0	0,678
SUAPE	0,9	0,3	1,0	0,573	1,0	0,573	1,0	0,573	1,0	0,573
Vitória	0,8	0,4	1,0	0,595	1,0	0,595	1,0	0,595	1,0	0,595

Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
0 – 0,199	0,2 – 0,399	0,4 – 0,599	0,6 – 0,799	0,8 – 1,000

Fonte: Dados enviados pelas entidades portuárias e dados do CORDEX. **Elaboração:** WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

Nota: E = Exposição, V = Vulnerabilidade, A = Ameaça, Ř = Risco (padronizado).

Em relação ao ranking do índice de aumento do nível do mar (Tabela 7), destaca-se que por não haver dados referentes ao período observado, não foi possível realizar uma análise comparativa com o

período 2050. Apesar disso, por meio do resultado abaixo, é possível identificar os portos que sofrerão mais com os impactos caso o aumento do nível do mar seja concretizado.

Tabela 7: Ranking dos portos – risco de aumento do nível do mar

Posição	Porto	RCP8.5 2050
1°	Aratu-Candeias	1,000
2°	Rio Grande	0,963
3°	Paranaguá	0,834
4°	Santos	0,811
5°	São Francisco do Sul	0,805
6°	Fortaleza	0,778
7°	Itaguaí	0,731
8°	Imbituba	0,705
9°	São Sebastião	0,678
10°	Cabedelo	0,640
11°	Recife	0,637
12°	Vitória	0,595
13°	SUAPE	0,573
14°	Ilhéus	0,499
15°	Salvador	0,471
16°	Itaqui	0,463
17°	Natal	0,416
18°	Itajaí	0,127
19°	Angra dos Reis	0,000
	Niterói	0,000
	Rio de Janeiro	0,000

Elaboração: WayCarbon, GIZ e ANTAQ (2021).

5 :: Medidas de Adaptação

O levantamento de medidas de adaptação foi realizado por meio de uma revisão bibliográfica de experiências realizadas, nos contextos nacional e internacional, em portos que já enfrentam esses riscos climáticos, e por meio do levantamento documental das ações e medidas existentes nos portos analisados. Conforme apontado anteriormente, foram listadas 55 medidas de adaptação para os portos, sendo 21 estruturais e 34 não estruturais (Tabela 8 e 9).

Nas tabelas abaixo estão indicadas as medidas de adaptação, as respectivas ameaças climáticas a serem atendidas, sua classificação em relação ao Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZ) e

a porcentagem de portos que já adotam as medidas, levantada a partir do questionário aplicado aos representantes dos portos. Nem todas as medidas que foram levantadas na literatura foram abordadas no questionário aos portos, sendo esses casos identificados na tabela abaixo como “N/A” (não se aplica). Vale ressaltar que o PDZ é um instrumento de planejamento do setor portuário, no qual são definidas as ações que os portos irão adotar em um cenário de curto, médio e longo prazo. Desta maneira, ao indicar a seção do PDZ em que a medida de adaptação se encaixa, buscou-se mostrar que essas medidas sugeridas estão e devem estar alinhadas com esse importante instrumento, podendo assim, ser integradas a eles.

Tabela 8: Lista de medidas de adaptação estruturais

Medida	ANM	Tempestade	Vendaval	PDZ	% de portos que já adotam a medida
Adequação das estruturas para os novos padrões climáticos	✓	✓	✓	PIP	N/A
Diversificação das ligações terrestres para o porto/terminal	✓	✓	✓	PIA	N/A
Aumento das dimensões das infraestruturas de abrigo	✓	✓		PIP	N/A
Construção de infraestruturas de abrigo	✓	✓		PIP	N/A
Reforço das estruturas de enrocamento	✓			PIP	N/A
Automatização das tarefas logísticas		✓	✓	MO	N/A
Implementação de VTMS		✓	✓	MO	4,76%
Reforço das infraestruturas de abrigo	✓			PIP	N/A
Alteamento das infraestruturas de abrigo	✓			PIP	N/A
Proteção das cargas contra inundações	✓			PIP/PRA	N/A
Inclusão de projeções de aumento do nível do mar em futuras concepções de infraestruturas	✓			MO	N/A
Adequação das estruturas do berço ao nível do mar	✓			PIP	N/A
Aumento da cota de elevação do porto	✓			PIP	N/A
Ampliação do processo de dragagem	✓			MO	N/A
Melhoria da qualidade dos acessos ao porto/terminal	✓			MO	N/A
Consideração do aumento do nível do mar nos inventários de substituição e remodelação de infraestruturas	✓			PIP	N/A
Melhoria dos sistemas de drenagem		✓		PIP	N/A
Reforma de infraestruturas ou equipamentos vulneráveis às inundações		✓		PIP	N/A
Consideração do planejamento paisagístico ao nível da bacia hidrográfica e opções de adaptação baseadas no ecossistema para a redução do risco de inundações		✓		PIP	N/A
Implementação de SuDS		✓		PIP	N/A
Utilização de monitores de ventos automáticos nos <i>shiploaders</i> (carregadores de navio)			✓	MO	N/A

Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

Nota: ANM = Aumento do Nível do Mar; VTMS = *Vessel Traffic Management Information System*; MO = Melhorias Operacionais, PIP = Proposição de Investimentos Portuários, PIA = Proposição de Investimentos em Acessos, PRA = Proposição de Reorganização de Áreas, N/A = Não aplicável. O cálculo das porcentagens dos portos que possuem as medidas levantadas foi realizado considerando o número de portos que indicou, no questionário aplicado, já ter adotado a medida para pelo menos uma das ameaças analisadas.

Tabela 6: Lista de medidas de adaptação não estruturais

Medida	ANM	Tempestade	Vendaval	PDZ	Cenário atual
Fornecimento de planos de emergência aos condutores	✓	✓	✓	MG	N/A
Revisão dos planos de contingência	✓	✓	✓	MG	N/A
Modificação na disposição das estruturas na área do porto organizado	✓	✓	✓	PRA	N/A
Trabalho em conjunto com seguradoras	✓	✓	✓	MG	N/A
Adoção de seguro específico contra mudanças do clima	✓	✓	✓	MG	0%
Criação de uma rede para compartilhamento de informações	✓	✓	✓	MG	N/A
Realização de reuniões para discutir a adaptação	✓	✓	✓	MG	28,57%
Abordagem da mudança do clima no plano estratégico do porto	✓	✓	✓	MG	28,57%
Adoção de planejamento específico para mudança do clima	✓	✓	✓	MG	9,52%
Inclusão de adaptação à mudança do clima no orçamento	✓	✓	✓	MG	4,76%
Atualização diretrizes de projetos de engenharia para atender os novos padrões climáticos	✓	✓	✓	MG	14,29%
Registro de impactos relacionado às ameaças climáticas (datas, consequências ou custos)	✓	✓	✓	MG	4,76%
Adoção de planos de ação emergencial/ protocolo de evacuação	✓	✓	✓	MG	9,52%
Estabelecimento de um comitê de crise	✓	✓	✓	MG	9,52%
Implementação um monitoramento meteorológico contínuo próprio/Cooperação com outras instituições	✓	✓	✓	MO	23,81%
Realização de avaliações de operacionalidade	✓	✓		MO	N/A
Alteração do regime de trabalho durante eventos extremos		✓	✓	MG	N/A
Estabelecimento de parcerias com estações meteorológicas locais		✓	✓	MG	N/A
Adoção de boas práticas de trabalho		✓	✓	MG	N/A
Revisão dos limiares críticos operacionais para equipamentos de movimentação de carga		✓	✓	MO	N/A
Revisão e Ajuste do Programa de Manutenção		✓		MG	N/A
Engajamento das partes interessadas para planejar opções de gerenciamento de inundação		✓		MG	N/A
Revisão dos sistemas de alerta		✓		MO	N/A
Adequação do armazenamento das cargas sensíveis a tempestade		✓		MO	N/A
Uso de EPI exclusivo para áreas alagadas		✓		MG	4,76%
Implementação dos sistemas de alerta			✓	MO	N/A
Implementação de sistema de previsão da velocidade do vento			✓	MO	N/A
Redução da altura de empilhamento dos containers			✓	MO	N/A
Revisão dos sistemas de frenagem e de fixação das gruas			✓	MO	N/A
Revisão de correias, sistemas de iluminação e infraestruturas gerais			✓	MO	N/A
Plano de manutenção e contingência dos equipamentos			✓	MG	4,76%
Aprimoramento da gestão para a prevenção de riscos de vendavais			✓	MG	N/A
Monitoramento do vento na área portuária/operacional			✓	MO	4,76%
Monitoramento do vento pelo equipamento de içamento			✓	MO	N/A

Elaboração: WayCarbon, GIZ, ANTAQ (2021).

Nota: ANM = Aumento do Nível do Mar; MG = Melhorias de Gestão, MO = Melhorias Operacionais, N/A = Não aplicável. O cálculo das porcentagens dos portos que possuem as medidas levantadas foi realizado considerando o número de portos que indicou, no questionário aplicado, já ter adotado a medida para pelo menos uma das ameaças analisadas.

A adoção de medidas de adaptação como resposta a mudança do clima pelos portos públicos da costa brasileira ainda é incipiente e carece de maior adesão, como pode ser constatado a partir da análise das tabelas acima. Em relação as medidas de adaptação estruturais, apenas um porto (4,76%) relatou implementar o VTMS, sendo esta, a única medida de adaptação estrutural levantada via questionário. As medidas de gestão, apesar de serem mais difundidas em comparação às estruturais, ainda ocorrem em poucos portos. Dentre as 13 medidas de adaptação desse tipo apresentadas no questionário, apenas 3 delas são adotadas por mais de 20% dos portos (realização de reuniões para discutir a adaptação; abordagem da mudança do clima no plano estratégico do porto; e implementação de um monitoramento meteorológico contínuo próprio/Cooperação com outras instituições). Evidencia-se, também, que nenhum porto relatou adotar seguros específicos contra a mudança do clima, medida essa com potencial de mitigar os impactos financeiros desses eventos.

Ressalta-se que a adaptação à mudança do clima deve ser pensada levando em consideração as características específicas de cada contexto, logo, as ações de adaptação genéricas não devem ser adotadas sem uma investigação apropriada do local (McEvoy e Mullet, 2013). Portanto, para alcançar as ações que se aproximam mais da realidade e do interesse de cada porto, torna-se necessário um processo de seleção e priorização das ações, que pode ser realizado a partir da lista apresentada.

Dentre os métodos existentes para auxiliar no processo de seleção e priorização, há a análise multicritérios, considerada como um instrumento de apoio à tomada de decisão. Essa análise permite comparar medidas heterogêneas por meio da combinação de diferentes critérios, os quais podem ser financeiros e não financeiros (SCOTT *et al.*, 2013):

- **Custos:** refere-se aos custos econômicos imediatos da opção, e aos prováveis custos contínuos, bem como aos custos sociais e ambientais associados;
- **Eficácia:** a opção de adaptação deve alcançar o objetivo declarado;
- **Eficiência:** os benefícios da opção devem ser maiores do que os custos;
- **Equidade:** a opção de adaptação não deverá afetar negativamente outras áreas ou pessoas;
- **Prioridade:** os riscos extremos devem ser tratados com urgência;
- **Cobenefícios:** as opções de adaptação podem ser capazes de se beneficiar de oportunidades, que conduzem a benefícios ambientais, sociais ou econômicos;
- **Má adaptação:** as opções não devem bloquear os resultados, limitar futuras opções de adaptação ou impactar negativamente outras áreas ou pessoas.

Destaca-se que os critérios devem ser determinados para cada caso e avaliados de acordo com a sua relevância para a tomada de decisão, a partir da atribuição de valores (pesos) para cada um deles. Um exemplo seria: três pontos para medidas que atendem muito bem aos critérios, dois pontos para as que atendem bem e um ponto para as que atendem mal. Ademais, é possível estabelecer critérios mais importantes, que têm um peso maior que os demais, valendo o dobro, por exemplo. Com base nesse processo, os portos poderão avaliar as opções elencadas para determinar as medidas de adaptação a serem implementadas.

6 :: Conclusões e Recomendações

O setor portuário brasileiro já vem sentindo os efeitos das mudanças do clima e, com a intensificação prevista para esses efeitos, os impactos sentidos serão cada vez mais severos, com potencial de gerar uma série de prejuízos para os portos e para economia nacional. Os estudos sobre os riscos climáticos aos quais o setor portuário está ou estará exposto ainda são embrionários e sem informações robustas sobre a eficácia das medidas de adaptação, evidenciando a relevância do presente estudo. A falta de informações relaciona-se com a dificuldade de se encontrar avaliações sobre as medidas já implementadas por alguns portos, possivelmente devido à falta de monitoramento.

Em geral, os resultados apresentados indicam que não há um padrão de aumento ou diminuição do risco climático por região, dado que na mesma região geográfica foi possível identificar portos com diferentes níveis de risco climático para as ameaças de tempestade, vendaval e aumento do nível do mar.

Dentre os riscos analisados, os vendavais foram os que se mostraram como o mais crítico, considerando os cenários temporais futuros, tendo em vista que 33,3% (7 de 21) dos portos, considerando o cenário observacional, já possuem risco “alto” ou “muito alto” em relação aos vendavais podendo passar para 76,2% (16 de 21) no cenário de emissão RCP 8.5 para o ano de 2050.

Já para o índice de risco de tempestade e aumento do nível do mar, os resultados classificados como “alto” e “muito alto” permaneceram inalterados ou com pouca variação entre os períodos e cenários analisados e em comparação ao observacional, sendo que, para o período de 2050 e cenário de emissões RCP8.5 esse resultado é projetado, para ambas as ameaças, em 52,4% (11 de 21) dos portos analisados. Neste mesmo período e cenário de emissões, vale destacar que a região nordeste foi a que apresentou mais portos com nível “muito alto” ou “alto” no índice de risco climático para os vendavais e tempestades, igualando-se à região sul para o aumento do nível do mar.

A redução do risco climático envolve a adoção de medidas de adaptação estruturais e não estruturais. Entretanto, conforme visto anteriormente, uma pequena parcela dos portos adota medidas que os tornem

resilientes às ameaças climáticas analisadas. Ao levar esse fato em consideração e os resultados dos índices de risco climático, nota-se a necessidade imediata da adoção de medidas de adaptação por parte do setor portuário como forma de minimizar os possíveis impactos e prejuízos gerados na ocorrência do risco de tempestades, vendavais e aumento do nível do mar.

Ressalta-se que o envolvimento dos portos ao longo do projeto, desde a seleção das ameaças climáticas e dos indicadores a serem utilizados nas análises de exposição e vulnerabilidade até a validação dos resultados preliminares da análise de risco, foi de suma importância para alcançar resultados condizentes com a realidade vivenciada por eles. Dessa forma, para alcançar uma adaptação eficiente e eficaz no contexto local recomenda-se o envolvimento ativo dos atores do setor portuário, de gestores a trabalhadores da linha de frente do porto.

O presente estudo representa um grande passo em prol da inclusão do tema resiliência climática do setor portuário na agenda das autoridades públicas brasileiras. Os resultados apresentados têm o potencial de subsidiar a consecução de políticas públicas nacionais sobre a adaptação da mudança do clima no setor portuário, além de permitir uma regulação e fiscalização mais focalizadas nessa importante temática. Como pôde ser observado ao longo desse relatório, os impactos nas operações portuárias em função da mudança do clima já são uma realidade no Brasil, e, mantidas as condições atuais, há uma tendência de piora neste cenário. Portanto, a partir desse relevante diagnóstico, faz-se necessário uma concertação de ações entre governos, autoridades portuárias e agência reguladora para mitigar os impactos da mudança do clima nos portos brasileiros.

Ressalta-se que, partir do ranking dos portos classificados com maior risco de tempestade, vendaval e aumento do nível do mar no período de 2050 e no cenário de emissão RCP 8.5, foi possível observar que alguns portos mantiveram-se entre os cinco primeiros em pelo menos duas das ameaças analisadas, sendo eles: Aratu-Candeias (tempestade -2º lugar e aumento do nível do mar - 1º lugar), Rio Grande (tempestade - 1º lugar e aumento do nível do mar -

2º lugar), Recife (tempestades – 5º lugar e vendavais – 1º lugar), Santos (vendavais – 3º lugar e aumento do nível do mar – 4º lugar), São Francisco do Sul (tempestades – 4º lugar e aumento do nível do mar – 5º lugar).

Assim, relevante mencionar que o eixo 2 desse projeto, apresentará análises customizadas para 3 portos brasileiros (Santos, Rio Grande e Aratu-Candeias). Es-

ses portos foram selecionados a partir dos rankings de risco climático apresentados, além de considerar o recorte regional e a perspectiva de novos investimentos materializada em arrendamentos qualificados no Programa de Parceria de Investimentos – PPI. Espera-se que tais estudos contribuam ainda mais na direção do aumento da resiliência dos portos brasileiros aos impactos advindos das mudanças do clima.

7 :: Referências Bibliográficas

ANTAQ. **Estatístico Aquaviário**. 2021. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em: 11 maio. 2021.

BECKER, A.; BECKER, A.; CAHOON, S.; CHEN, S.-L.; EARL, P.; YANG, Z. (org.). The state of climate adaptation for ports and the way forward. In: **Climate change and adaptation planning for ports**. New York: Routledge, 2016. (Routledge studies in transport analysis).p. 285.

CLIMATE CENTRAL. **Sea level rise and coastal flood risk maps – a global screening tool by Climate Central**. 2021. Disponível em: https://coastal.climatecentral.org/map/10/-43.1391/-22.8729/?theme=sea_level_rise&map_type=year&basemap=roadmap&contiguous=true&elevation_model=best_available&forecast_year=2050&pathway=rcp45&percentile=p50&return_level=return_level_1&slr_model=kopp_2014. Acesso em: 31 ago. 2021.

INPE. **Projeções Climáticas no Brasil**. 2021. Disponível em: <http://pclima.inpe.br/como-consultar/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

IPCC. **Climate change 2014: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014 a.

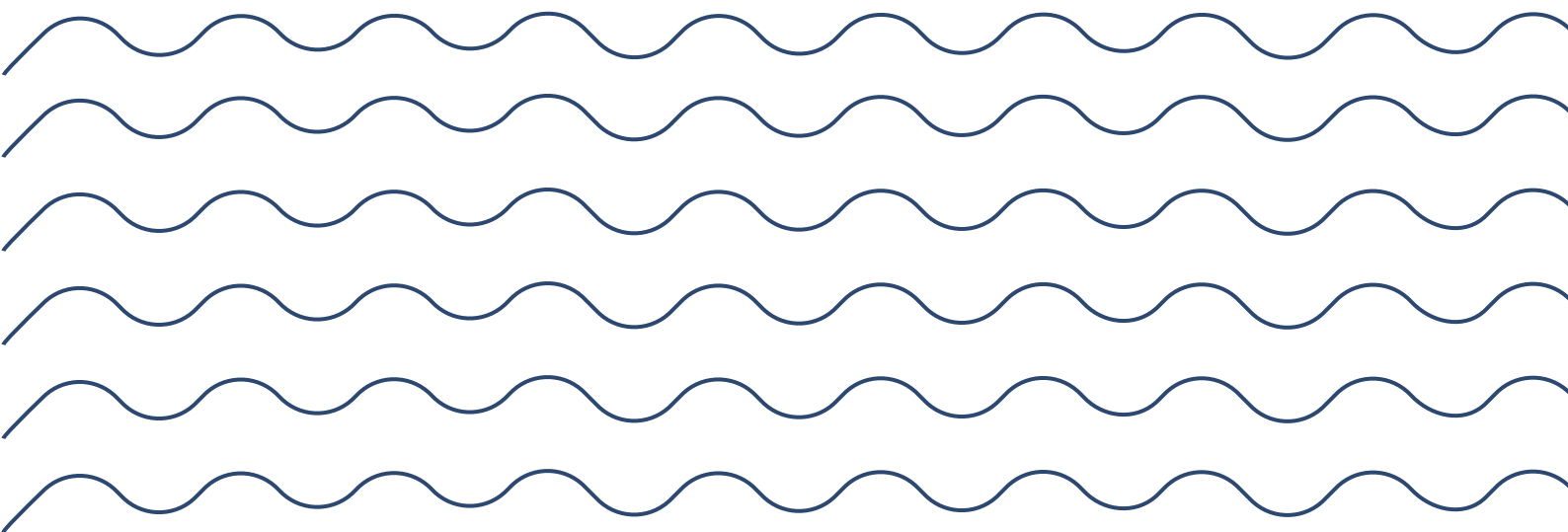
IPCC. **Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York, NY: Cambridge University Press, 2014 b. E-book. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. Acesso em: 17 jun. 2021.

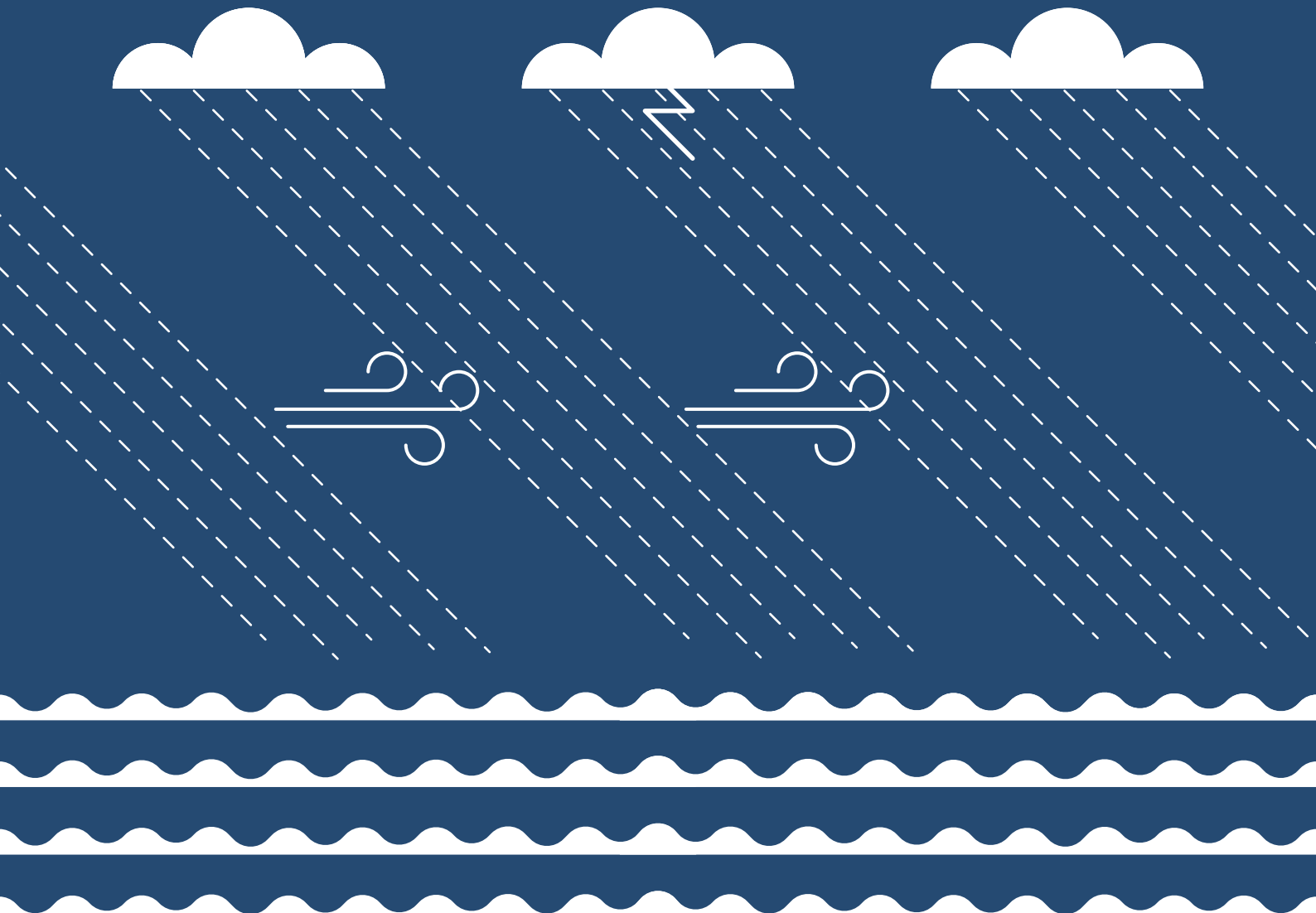
MCEVOY, D.; MULLETT, J. **Enhancing the resilience of seaports to a changing climate: research synthesis and implications for policy and practice. Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series.**: Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series. [S. l.]: National Climate Change Adaptation Research Facility, NCCARF, 2013. Disponível em: http://www.nccarf.edu.au/sites/default/files/attached_files_publications/Final-report-Climate-resilient-ports-series-Synthesis-WEB_0.pdf.

NG, K. Y. A.; BECKER, A.; CAHOON, S.; CHEN, S.-L.; EARL, P.; YANG, Z. (org.). Time to act: The criticality of ports in adapting to the impacts posed by climate change. In: **Climate change and adaptation planning for ports**. New York: Routledge, 2016. (Routledge studies in transport analysis).p. 285.

NOBRE, C.; MARENGO, J. **Mudanças Climáticas em Rede: Um olhar interdisciplinar**. 1. ed. São José dos Campos, SP: Canal 6, 2017. E-book. Disponível em: https://mudarfuturo.fea.usp.br/wp-content/uploads/2018/02/Livro_Mudan%C3%A7as-Climaticas-em-Rede_eBook-Conflito-de-codifica%C3%A7%C3%A3o-Unicode.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

SCOTT, H.; MCEVOY, D.; CHHETRI, P.; BASIC, F.; MULLETT, J. **Climate change adaptation guidelines for ports: Enhancing the resilience of seaports to a changing climate report series**. Gold Coast: [s. n.], 2013. E-book. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10462/pdf/3182>





Por ordem do



Ministério Federal
do Meio Ambiente, Proteção da Natureza
e Segurança Nuclear

Por meio da

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



PROADAPTA | CSI
Adaptação à Mudança do Clima

da República Federal da Alemanha



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

MINISTÉRIO DA
INFRAESTRUTURA

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

