



RESILIÊNCIA CLIMÁTICA EM PORTOS: O CASO DO PORTO DO AÇU

Luiz Gustavo Cruz Henriques da Silva
Porto do Açu Operações S.A.

Juliane Castro Carneiro
Porto do Açu Operações S.A.

João Paulo Hinke Dobrochinski
Deltares

Fernanda Gabriela Gobbo Sossai
Porto do Açu Operações S.A.

Alexander Kataoka Ishikawa
Porto do Açu Operações S.A.

Tomaz Bretano
Porto do Açu Operações S.A.

Porto do Açu - São João da Barra/RJ
Foto: Prumo Logística, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2017

RESUMO

Os efeitos das mudanças climáticas constituem-se em um dos maiores desafios da atualidade. Em função da sua localização, os portos encontram-se no rol dos ativos de infraestrutura mais suscetíveis aos efeitos adversos de tais mudanças. Nesse contexto, é fundamental que a Administração Portuária compreenda as vulnerabilidades e riscos aos quais estão expostos a infraestrutura e as operações críticas do porto. O trabalho descreve a abordagem adotada pelo Porto do Açu, complexo porto-indústria privado localizado no estado do Rio de Janeiro. O trabalho foi estruturado em três etapas: 1) identificação dos regimes meteoceanográficos médio e extremos, atualmente presentes no porto; 2) projeção de cenários futuros em decorrência das mudanças climáticas e, por fim, 3) avaliação dos potenciais riscos e impactos de tais mudanças na infraestrutura e operações consideradas críticas do porto que, como desdobramento, poderia demandar a elaboração de planos de adaptação para aspectos identificados como vulneráveis. Como resultados, pode-se verificar que o Porto do Açu se encontra em uma área favorável com relação aos efeitos de mudanças climáticas, não sendo identificadas vulnerabilidades no curto prazo. Porém, é de grande importância que a Administração Portuária incorpore à sua gestão o exercício de discutir os tipos de vulnerabilidades e riscos aos quais o empreendimento está suscetível. Estas práticas incluem o desenvolvimento e manutenção de um sistema de monitoramento meteoceanográfico capaz de dar suporte às atividades diárias operacionais, e de estudos estratégicos como modelagens hidrossedimentológicas para canais de navegação.

Palavras-chave: Portos, Mudança climática, Riscos.

ABSTRACT

The effects of climate change constitute one of the greatest current challenges. Due to their location, ports are among the infrastructure assets most susceptible to the adverse effects of such changes. In this context, it is essential that the Port Administration understands the vulnerabilities and risks to which the infrastructure and critical operations of the port are exposed. This paper presents the approach adopted by Port of Açu, a private port-industry complex located in the northern region of the state of Rio de Janeiro. The work was structured in three stages: 1) identification of the medium and extreme meteoceanographic regimes currently present in the port; 2) projection of future scenarios because of climate change and, finally, 3) evaluation of potential risks and impacts of such changes in infrastructure and operations considered critical of the port which, as a result, could require the preparation of adaptation plans for aspects identified as vulnerable. As a result, Port of Açu is in a favorable area in relation to the effects of climate change, with no short-term vulnerabilities being identified. However, it is of great importance that the Port Administration incorporate into its management the exercise of discussing the types of vulnerabilities and risks the enterprise is susceptible to. Such practices include the development and maintenance of a meteoceanographic monitoring system capable of supporting daily operational activities, in addition to of strategic studies such as hydrosedimentological modeling for navigation channels.

Keywords: Ports, Climate change, Risks.

1. INTRODUÇÃO

Um dos desafios mais complexos da atualidade, os efeitos derivados das mudanças climáticas tais como eventos de ressaca, tempestades, mudanças nos regimes de ventos, elevação do nível do mar e da altura das ondas afetam diretamente o setor portuário. Em função da sua localização típica ao longo da costa, como no caso da maioria dos portos no Brasil, não restam dúvidas de que os portos encontram-se no rol dos ativos de infraestrutura mais suscetíveis aos efeitos adversos das mudanças climáticas (ANTAQ e GIZ, 2021).

Devido às consequências que podem trazer ao setor, o tema mudanças climáticas vem ganhando espaço gradativamente nas agendas globais dos portos marítimos. O tema das mudanças climáticas é atualmente classificado como uma das três principais prioridades a serem enfrentadas pelas autoridades portuárias e sistemas portuários (ESPO, 2019; WPSR, 2020; LIMA e SOUZA, 2022).

Portos são ativos de infraestrutura complexos e que demandam a mobilização de grandes somas de recursos para sua construção, operação, manutenção e desenvolvimento. Nesse contexto, os processos de análise e gestão de riscos permitem a perpetuação e o compartilhamento do conhecimento, a uniformização de entendimento e a conscientização quanto aos possíveis impactos pela gestão portuária (ARAÚJO; et al., 2021), sendo ponto de partida a compreensão da forma como as mudanças climáticas projetadas para a região do porto podem impactar tanto a sua infraestrutura quanto as operações consideradas críticas. A identificação de vulnerabilidades permite

a elaboração de planos de ação específicos que, por sua vez, objetivam a mitigação dos novos riscos advindos das mudanças climáticas, tornando a reação à mudança climática algo gerenciável.

LIMA e SOUZA (2022) destacam que a lista de possíveis impactos para os portos marítimos e a indústria do transporte marítimo relacionados com perigos marinhos e eventos meteorológicos extremos são numerosos, entre os quais a intensificação das chuvas que causa atrasos na carga/descarga de carga nos portos. O aumento da tempestade pode também forçar a interrupção de canais portuários, agregando riscos à navegação e manobras de cais, o que representa riscos tanto para segurança marítima como para em terra (BROOKS e FAUST, 2018; IZAGUIRRE et al., 2021)

O presente artigo apresenta a abordagem adotada pelo Porto do Açu, localizado na região norte do estado do Rio de Janeiro, para a identificação de riscos à sua infraestrutura e a operações advindas das mudanças climáticas projetadas para a área do porto. Para tanto, uma abordagem composta de 3 etapas foi adotada de forma a (i) projetar cenários de mudanças climáticas para a área do porto, (ii) identificar riscos à infraestrutura e a operações regulares do porto em função das projeções e, em função dos resultados, (iii) elaborar planos de adaptação climática em resposta a vulnerabilidades eventualmente identificadas.

Nesse sentido, antes de adentrarmos ao método adotado pelo Porto do Açu, faz-se necessária uma breve contextualização sobre o empreendimento, como segue.

2. SOBRE O PORTO DO AÇU

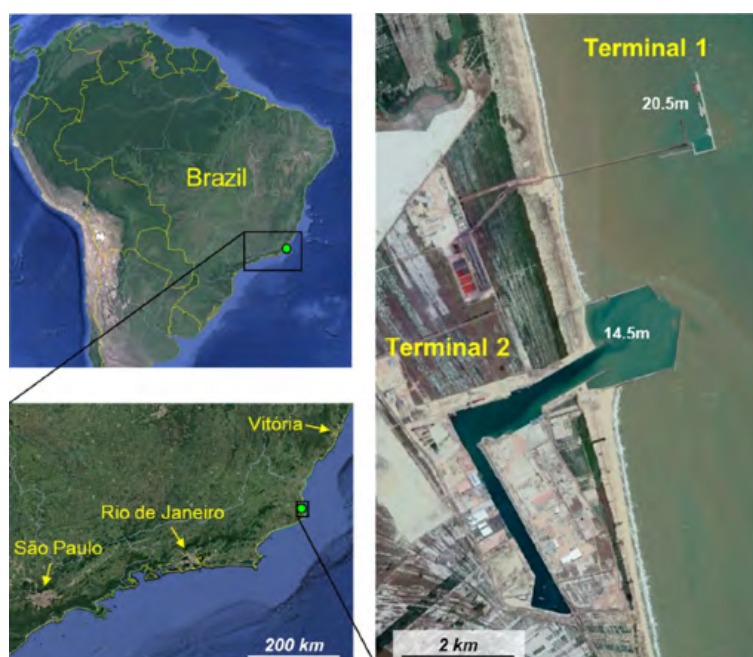
O Porto do Açu é um complexo portuário e industrial localizado no município de São João da Barra, região norte do Estado do Rio de Janeiro, como apresentado na Figura 1. Contando com uma área total de 90 km² para desenvolvimento, o porto teve a sua construção iniciada no ano de 2007 com a obra da ponte do Terminal 1, e operações comerciais iniciadas em 2014 com o embarque de 80 mil toneladas de minério de ferro no navio “Key Light” (PORTO DO AÇU, 2022).

Com relação à infraestrutura portuária propriamente dita, o porto é subdividido espacialmente entre dois grandes grupos de terminais, nomeados Terminal 1 (T1) e Terminal 2 (T2). O T1, localizado mais a norte, é um terminal construído sobre ponte, protegido por quebra-mar constituído com caixões de concreto, onde se encontram os terminais de minério de ferro e de petróleo. O canal de acesso ao T1 é dragado para 25,0 metros em sua

seção mais profunda. Em oposição, o T2 é um terminal escavado em terra, acessado por um canal marítimo dragado a 14,5 m e com largura de 300 metros em seu trecho mais largo. Chegando à linha natural da costa, o T2 é protegido por quebra-mares construídos com caixões de concreto, entre os quais se encontra uma bacia de evolução dragada a 14,5 metros, sendo que o canal de acesso continua em direção a terra dragado a 14,5 metros no trecho mais profundo (leste-oeste), e a 10,0 metros no trecho final e mais raso (norte-sul).

Único complexo porto-indústria privado em operação no Brasil (PORTO DO AÇU, 2020), o Porto do Açu conta atualmente com 10 Terminais de Uso Privado (TUPs) em operação que, juntos, movimentaram cerca de 55,8 milhões de toneladas de cargas no ano de 2021 entre cargas a granel, notadamente minério de ferro, petróleo e cargas associadas à indústria de óleo e gás (ANTAQ, 2022).

Figura 1: Localização do Porto do Açu.



Fonte: Dobrochinski e Weiland (2021).

Além do desenvolvimento de atividades portuárias propriamente ditas, o Porto do Açu posiciona-se como um empreendimento estratégico para os setores de óleo e gás e de energia: Atualmente passam pelo porto cerca de 30% do petróleo exportado pelo país (RAMALHO, 2022); encontra-se em implantação no porto o maior parque termelétrico da América Latina, que contará com duas termelétricas totalizando 3 GW de capacidade (PRUMO LOGÍSTICA, 2021); além de projetos associados à produção de energia a partir de fontes solar e eólica em diferentes estágios de desenvolvimento (BEZUTTI, 2021).

Estima-se que já foram investidos no empreendimento cerca de R\$ 18 bilhões, com uma carteira de investimento para os próximos anos de cerca de R\$ 20

bilhões (FÓRUM ALERJ, 2021), números bastante expressivos e que ilustram o capital exposto ao risco das mudanças climáticas no empreendimento. Apesar de jovem quando comparado aos portos organizados (públicos) no Brasil, e de ainda se encontrar em um estágio inicial de desenvolvimento na área disponível, o Porto do Açu já assume uma posição de relevância sob o ponto de vista econômico e social para o Brasil.

Esses fatores, associados ao entendimento dos efeitos adversos das mudanças climáticas em projetos de infraestrutura e à visão de posicionar o empreendimento como um porto resiliente a essas mudanças (PORTO DO AÇU, 2021), desencadearam, entre outras iniciativas, na realização do estudo cuja abordagem será apresentada nas próximas páginas.

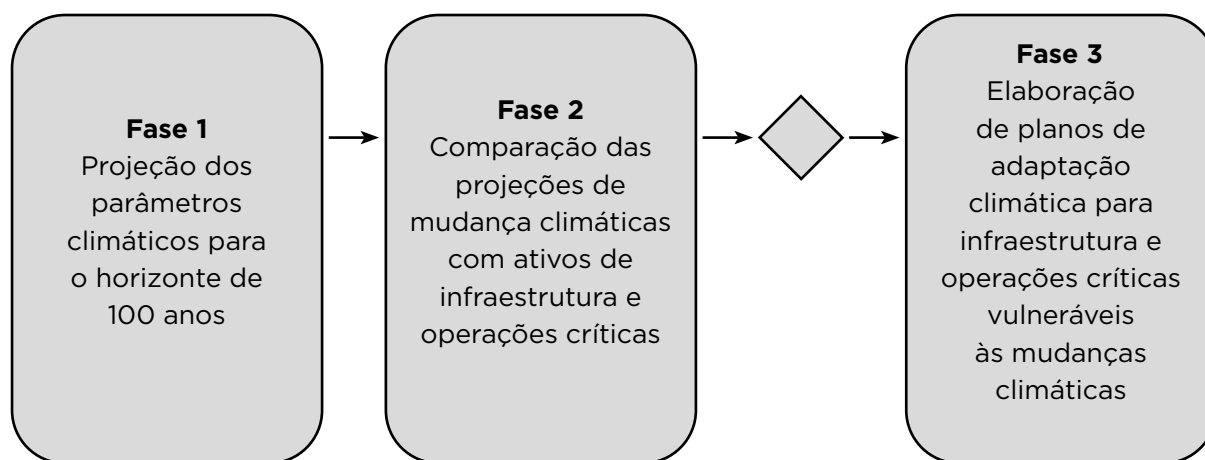
3. METODOLOGIA

O trabalho realizado pelo Porto do Açu teve como objetivo a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas na área do porto com relação à sua infraestrutura e principais operações. Dessa forma, a Administração do Porto torna-se capaz de antecipar vulnerabilidades futuras e os investimentos necessários à manutenção da resiliência do Porto, bem como de reduzir os riscos e incertezas aos demais atores interessados no desenvolvimento do empreendimento, tais como os seus clientes, investidores, agentes de financiamento, seguradoras etc.

A equipe formada para o estudo foi composta de representantes de diferentes

Terminais em operação no Porto do Açu, além de especialistas em sustentabilidade, meio ambiente e operações portuárias da Administração do Porto e de uma gama de consultores especialistas em diferentes disciplinas relacionadas à atividade portuária e a mudanças climáticas. Como forma de trazer mais independência a o debate, participaram também do projeto representantes de uma das empresas acionistas do Porto do Açu com especialização em projetos de consultoria portuária.

A Figura 2 apresenta um esquema da abordagem definida para o estudo realizado no Porto do Açu:

Figura 2: Escopo do estudo realizado no Porto do Açú.

Fonte: Autores, com base em Deltares (2021a).

No estudo, os parâmetros meteoceanográficos considerados foram (i) nível do mar, (ii) regime de ventos, (iii) altura de ondas e (iv) regimes de precipitação, projetados para um período de 100 anos. As projeções de mudanças nos parâmetros combinadas com o inventário de infraestrutura e de operações críticas do Porto foram realizadas em função de modelos e referências internacionais, bem como da base de dados (histórico) mantida pela Administração do Porto, possibilitando a avaliação de vulnerabilidade e riscos no curto (ano 2040), médio (ano 2070) e longo (ano 2100) prazos.

A partir do resultado dessa avaliação, aqueles ativos de infraestrutura e/ou operações críticas identificados como potencialmente afetados no horizonte de tempo analisado tornar-se-iam objeto de estudos específicos, mais aprofundados, visando à definição de ações a serem tomadas pela Administração do Porto.

Como apresentado na Figura 2, de forma a cobrir todo o escopo, o estudo foi estruturado em três fases distintas e sequenciais, sendo as duas primeiras obrigatórias, necessárias ao entendimento da situação futura, e a terceira com a

realização dependendo dos resultados encontrados. A Fase 3 consiste na elaboração dos planos de adaptações e no plano de ação das recomendações que aparecem ao longo do processo da fase 2, e pode ser trabalhada visando à melhoria contínua na operação. O detalhamento da abordagem em cada etapa é apresentado a seguir.

3.1. Fase 1: Condições atuais e projeções de cenários climáticos futuros

A Fase 1 foi composta de duas partes: (i) a caracterização das condições climáticas atuais e (ii) a projeção de cenários futuros. Para a caracterização das condições climáticas atuais, ou seja, dos regimes médios e extremos relacionados à altura do nível do mar, ondas, ventos e chuvas atualmente encontrados na área do Porto, foram utilizadas informações baseadas na observação de padrões e tendências por períodos longos disponíveis em fontes públicas, referências e bases de dados disponíveis, bem como medições realizadas pela própria Administração do Porto.

Na caracterização dos regimes atuais de ventos, ondas e chuvas, merece destaque a utilização da base de dados ERA5, sendo este o mais recente conjunto de dados de

reanálise elaborado pela European Centre for Medium-range Weather Forecast (ECMWF). O conjunto de dados ERA5 combina uma grande quantidade de observações históricas (desde 1979) em estimativas globais utilizando sistemas de modelagem e assimilação de dados (ECMWF, 2022).

Para que seja possível a realização de projeções de mudanças climáticas na área do Porto, faz-se necessária a utilização de uma referência sobre como o clima pode se comportar ao longo dos anos, em função da escala de atividades humanas. Para isso, o trabalho utilizou como referência o relatório mais recente (à época do estudo) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) denominado AR5 (2014). Nesse sentido, com relação à evolução da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, os horizontes temporais considerados nas avaliações se estendem até 2100, com cenários avaliados para a região do Porto em três diferentes escalas temporais: 2040, 2070 e 2100. Dois cenários de emissões também consideraram as Rotas de Concentração Representativas (RCP) 4,5 e 8,5 (intermediário e pior- cenários de mudança climática, conforme definido no IPCC AR5):

- **RCP 4.5** - Cenário de emissões médias: Cenários de Mudança Climática Intermediários. Este cenário representa um pequeno esforço para reduzir as emissões futuras. As emissões continuam a aumentar, mas menos rapidamente. Estratégias e políticas de redução foram implementadas, mas não em larga escala.
- **RCP 8.5** - Cenário de altas emissões: piores cenários de mudança climática. Este cenário representa uma abordagem “business as usual” para a gestão de emissões sem mudanças feitas. As emissões sob este futuro previsto continuam a aumentar sem nenhuma política

climática internacional ou apoio demonstrado. Não haverá mudanças comportamentais ou políticas feitas para reduzir as emissões e nenhuma adoção de soluções de baixo carbono.

Além dos dados, modelos e referenciais bibliográficos utilizados na caracterização do cenário atual na área do porto e para a realização de projeções, o trabalho contou com a avaliação de um conjunto de especialistas em mudanças climáticas que compuseram a equipe de trabalho.

3.2. Fase 2: Análise de vulnerabilidade em função dos cenários futuros

Na Fase 2 do estudo, os resultados obtidos na etapa anterior foram avaliados por um grupo de especialistas, de forma a permitir a identificação dos efeitos dessas mudanças na infraestrutura e nas operações críticas do Porto.

Nessa fase, os seguintes aspectos do Porto do Açu foram considerados:

- Atracação / desatracação de navios e operações de carga / descarga;
- Estabilidade e manutenção de quebra-mares, cais e berços;
- Sedimentação e volumes de dragagem;
- Impactos esperados em decorrência das chuvas.

Para possibilitar a análise, foi organizado um extenso inventário contendo informações, desenhos, planos e detalhamento de projetos, memoriais descritivos e relatórios técnicos e operacionais, estudos técnicos, mapas, imagens aéreas etc. relacionados aos ativos de infraestrutura e operações consideradas críticas. Para tal, a participação de profissionais dos Terminais e da Administração Portuária foi de fundamental importância para a coleta e organização das informações necessárias.

Além dos resultados oriundos da Fase 1 e do inventário, referências técnicas também foram incorporadas à análise tais como as recomendações da Associação Mundial de Infraestrutura de Transporte Aquaviário (PIANC) onde aplicável.

3.3. Fase 3: Análise detalhada de cada infraestrutura e/ou operação vulnerável

Em função dos resultados obtidos na Fase 2 do estudo, ou seja, com a identificação de ativos de infraestrutura e/ou operações críticas em maior risco às mudanças climáticas projetadas para a área do Porto, a Fase 3 é definida especificamente para analisar, em profundidade, cada

um dos itens identificados. Como resultado, essa Fase gera um Plano de Adaptação Climática contendo as ações e investimentos necessários à manutenção da resiliência climática do porto.

Por essa característica, a Fase 3 foi planejada como uma etapa não-obrigatória, que seria realizada em função da existência de ao menos um ativo de infraestrutura ou operação identificada como vulnerável e em risco face às mudanças projetadas. Porém, como comentado anteriormente, a implementação das recomendações feitas ao longo da Fase 2 também compõem atividades da Fase 3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados obtidos na Fase 1 do estudo. Os resultados dos efeitos das mudanças climáticas foram calculados a partir da caracterização dos parâmetros (nível do mar, vento, ondas e precipitação) médios e extremos para o ano de 2020.

Com relação ao nível do mar, supõe-se que os níveis máximos/extremos nas condições existentes (2020) estejam na ordem de 2,2 m acima do Datum. Até 2100, as projeções medianas de mudança do nível do mar são +0.48 m e +0,78 m, considerando RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente. As projeções climáticas indicam que a velocidade média do vento aumente cerca de 10% até ao final do século. As referências atualmente disponíveis e consultadas no estudo indicam não haver efeito significativo das mudanças climáticas no regime de velocidades máximas do vento (percentil 99) na região do Porto do Açu no século XXI.

Quanto ao regime de ondas, de acordo com publicações recentes, as mudanças projetadas na média sazonal de alturas significativas¹ na região do Porto do Açu são marginais (até $\pm 3\%$), e ainda menores quando considerado o valor médio de Hs ao longo de todo o ano. As mudanças projetadas no período médio das ondas ($\sim 1\%$) e na direção média das ondas ($\sim 1^\circ$) são marginais nas regiões ao largo do Porto e, portanto, são consideradas insignificantes na prática. Aplica-se às condições mais energéticas (Hs99, altura de onda significativa excedida em 1% do tempo) e condições extremas (Hs com período de retorno de 100 anos).

Para os regimes de precipitação, projeta-se que as alterações na média anual sejam limitadas, na ordem dos -5% até o final do século. No entanto, projeta-se que os eventos de chuvas fortes se tornem mais intensos, com aumento da ordem de $2,5\%$ e 20% até o final do século em relação às

¹ Altura de onda significativa (Hs) é definida como a altura média de onda, do vale à crista, do terço mais alto das ondas.

condições de 2020, considerando RCP4.5 e RCP8.5 respectivamente. Vale ressaltar que os intervalos de confiança particularmente amplos (ou seja, grandes bandas de

incerteza) aplicam-se tanto às projeções de precipitação média anual quanto de precipitação intensa.

Tabela 1 - Efeitos das mudanças climáticas projetados para o Porto do Açú.

Parâmetro	Efeitos das mudanças climáticas em relação às condições de 2020					
	Regime médio			Regime extremo		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100
Nível do mar	RCP4.5: +0,09 m RCP8.5: +0,11m	RCP4.5: +0,6 m RCP8.5: +0,38 m	RCP4.5: +0,48 m RCP8.5: +0,78 m	Assumido menor do que as variações em 2100 e, portanto, insignificante		Variações insignificantes no clima HAT e tempestades
Ventos*	+1% (velocidade média anual)	+4% (velocidade média anual)	+10% (velocidade média anual). A direção média gira <5 graus de NE para NNE	Assumido menor do que as variações em 2100 e, portanto, insignificante		Variações < ±2% na velocidade do vento 99º percentil (RCP8.5)
Ondas	Assumido menor do que as variações em 2100 e, portanto, insignificante		Alteração insignificante na média anual Hs (+3% no inverno, -3% no verão). Mudanças em Tm de -1%, e Θm de ±1° (RCP4.5 & RCP8.5)	Assumido menor do que as variações em 2100 e, portanto, insignificante		+2% (99º percentil H _s) ±2% (100-anos H _s) (RCP4.5 & RCP8.5)
Precipitação	Alteração insignificante (RCP4.5 & RCP8.5)	-2,5% de variação na precipitação média anual (RCP4.5 & RCP8.5)	-5% variação na precipitação média anual (RCP4.5 & RCP8.5)	Alterações insignificantes (RCP4.5 & RCP8.5)	Máx. anual precipitação de 1 dia: RCP4.5: 2.5% RCP8.5: +7.5%	Máx. anual precipitação de 1 dia: RCP4.5: +2.5% RCP8.5: +20%

Fonte: Autores, com base em Deltares (2021a).

De forma geral, a partir dos resultados obtidos pela Fase 1, pode-se afirmar que o Porto do Açú está localizado em uma área favorável com relação aos efeitos causados pelas mudanças climáticas, uma vez que mudanças projetadas para a área do porto são menores que as médias globais (Deltares, 2021b).

Na Fase 2 do presente estudo, os cenários de mudanças climáticas resultados da Fase 1 foram confrontadas com informações detalhadas sobre a infraestrutura e operações consideradas críticas no

Porto. Essa avaliação foi realizada por especialistas em diferentes disciplinas, e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2 abaixo.

Ressalta-se que a classificação de perigos, vulnerabilidade e riscos em categorias, considerando as diferentes forçantes ambientais e componentes portuários, é inevitavelmente subjetiva. Portanto, as informações apresentadas na Tabela 2 sumarizam de forma generalista as análises mais detalhadas apresentadas em Deltares (2021b).

Tabela 2 - Resultados da Fase 2.

Aspectos relacionados às mudanças climáticas		Curto prazo (década)					Longo prazo (2070+)					
		Perigo	Vulnerabilidade	Nível do mar	Ventos	Ondas	Precipitação	Perigo	Vulnerabilidade	Nível do mar	Ventos	Ondas
Trabalhabilidade e tempo de inatividade	Reduzir borda livre (inundações, fatores relacionados ao cais)	o	**					**				
	Forças e movimentos induzidos por ondas em navios	*	***				**	***				
	Forças e movimentos induzidos pelo vento em navios	*	o				**	*				
	Manuseio de carga (sensível ao vento)	*	***				**	***				
	Manobrabilidade	*	***				**	***				
Estabilidade das principais estruturas portuárias	Estabilidade hidráulica do enrocamento	o	**				*	**				
	Estabilidade hidráulica/geotécnica dos quebra-mares caixões	o	**				*	**				
	Galgamento de ondas dos quebra-mares em talude e caixões	o	**				*	**				
	Forças das ondas (slamming) atuando no convés do cais	o	***				*	***				
	Estabilidade hidráulica/geotécnica das paredes de cais	o	**				*	**				
Sedimentação portuária e volumes de dragagem	Condições locais para sedimentação.	o	**				*	**				
	Transporte regional para o porto	*	*				**	*				
	Abastecimento fluvial de sedimentos finos	**	*				**	*				
	Sedimentação relacionada à praia	o	**				*	**				
Impactos esperados de eventos de chuva	Operações de (des)carga (carga geral, minério de ferro)	**	***				***	***				
	Drenagem em terminais com escoamento contaminado	**	***				***	***				
	Drenagem em outros terminais	**	*				***	*				

Legenda:

Força e/ou Incerteza	o	Menos
	*	↓
	**	

Riscos em potencial		Benéfico
		Neutro
		Acompanhamento de perto
		Ações possivelmente necessárias

Não Aplicável

Fonte: Autores, com base em Deltares (2021b).

De modo geral, os resultados obtidos apontam para a inexistência de ações mitigadoras por parte da Administração Portuária no curto prazo, uma vez que para nenhum dos aspectos avaliados foram identificadas ações a serem tomadas de imediato. As projeções atualmente disponíveis indicam efeitos relativamente leves das mudanças climáticas para os parâmetros analisados também para o médio prazo (2070), limitando as consequências para as operações e infraestrutura existentes. O ponto de atenção no curto prazo deve-se ao sistema de drenagem em determinados locais do Porto que, de acordo com o estudo, pode demandar ações.

Portos importantes no contexto internacional como os de Roterdã, na Holanda, Long-Beach; San Francisco e Houston, nos Estados Unidos, e Londres, na Inglaterra, por exemplo, têm estudado, na última década, os impactos que as mudanças climáticas podem causar tanto em suas áreas portuárias como em diferentes escalas de tempo e cenários. E, em alguns casos, já desenvolvem planos de ação para se proteger dos impactos do fenômeno. Nesse sentido, PIANC (2020) abordou diferentes estudos de caso e fica evidente que cada porto precisa adaptar-se às suas condições ambientais locais, localização geográfica e de acordo com as características de suas estruturas. Por exemplo, o Porto de Londres (UK) apontou no seu relatório de adaptação em 2011 a importância do monitoramento das mudanças climáticas, como altura das marés e neblina, além de levantamentos batimétricos e registro de vazão do rio. Esse monitoramento é considerado de grande importância, resultado esse obtido também nas recomendações para o Porto do Açu.

Como o Porto do Açu é um porto relativamente novo, os projetos das estruturas costeiras e portuárias que compõem já contemplam variações relacionadas às mudanças climáticas e à gestão portuária, seguindo padrões

internacionais de controle e desempenho, que são aspectos decisivos na avaliação da necessidade de adoção de medidas de adaptação. Por outro lado, alguns portos mais antigos, como por exemplo o Porto de Roterdã, reavaliações dos projetos das estruturas portuárias têm sido feitas para serem mais resilientes às mudanças climáticas, especialmente relacionada com a segurança contra inundações (PIANC, 2020). Para lidar com essas incertezas do clima, o desenvolvimento do conhecimento é considerado um importante pilar da estratégia portuária.

Quanto aos efeitos esperados no longo prazo, considerando o horizonte a partir de 2070, a análise aponta para a possibilidade de ações com relação a diversos aspectos. Entretanto, o aumento da faixa de incertezas nas projeções realizadas para horizontes de tempo mais longos embute igualmente incertezas nos resultados e potenciais riscos às operações e infraestrutura, havendo uma tendência de interpretação mais conservadora por parte de especialistas ao apontar que ações podem ser necessárias. Essa dinâmica ilustra a importância à gestão portuária da incorporação desse tipo de avaliação de riscos de forma periódica, com novas avaliações ao longo das décadas considerando desenvolvimentos portuários futuros, séries de dados medidos mais extensas, e projeções climáticas atualizadas, mais detalhadas e precisas.

Em função dos resultados obtidos na Fase 2 do Porto do Açu, onde não foram identificadas vulnerabilidades ou riscos em decorrência das mudanças climáticas projetadas para a área do Porto no curto e médio prazo, a Fase 3, como originalmente programada, tornou-se parcialmente dispensável. Entretanto, como ao longo do estudo diversas sugestões foram registradas pela equipe envolvida no trabalho, muitas delas de cunho administrativo, a Administração Portuária optou por remodelar a Fase 3 de forma a incorporar essas sugestões à gestão portuária.

Entre as recomendações elencadas ao longo do projeto e consideradas pela Administração Portuária para desdobramento em ações a serem realizadas nos próximos anos, merecem destaque (SOSSAI, 2022):

- Manter, incorporando melhorias, o sistema de coleta e armazenamento de dados meteoceanográficos do Porto;
- Implementar monitoramento adicional para entender a dinâmica dos sedimentos finos que provocam assoreamento de áreas no interior e arredores da área portuária;
- Avaliar a influência do rio Paraíba do Sul na região do Porto com relação à sua contribuição para o fenômeno de sedimentação e risco de inundações nos acessos terrestres ao Porto;
- Aprimorar o Plano de Monitoramento de eventos climáticos extremos;
- Incorporar os resultados da Fase 1 (projeção de mudanças climáticas) nos critérios de engenharia para novos empreendimentos no Porto; e
- Atualizar as projeções e avaliações de vulnerabilidade a cada ciclo de 10 - 20 anos de forma a acompanhar as mudanças nas tendências e desenvolvimentos em termos climáticos.

5. CONCLUSÕES

Em linhas gerais, a identificação de mudanças nos parâmetros médios e extremos de ondas, ventos, nível do mar e precipitação para o Porto do Açu apresentaram resultados considerados relativamente baixos. Entretanto, é importante destacar que o exercício de projeção de condições futuras embute uma série de incertezas, especialmente para períodos de tempo mais longos (i.e., décadas).

Dessa forma, é fundamental que a Administração do Porto incorpore à sua gestão não somente as vulnerabilidades e riscos identificadas inicialmente para o empreendimento, mas também as incertezas nas estimativas dos perigos, vulnerabilidade e análises de riscos (como feito no Porto do Açu durante a Fase 2 do estudo).

Do mesmo modo, riscos advindos de mudanças climáticas podem ser representativos não apenas na área do Porto em si (infraestrutura e operações consideradas críticas), mas também na sua hinterlândia. Por este motivo, é igualmente

importante que a gestão portuária amplie o seu horizonte de análise para ativos que não se encontram sob sua gestão direta, tais como acessos rodoviários e ferroviários, que uma vez degradados pelas mudanças climáticas colocam em risco o acesso de pessoas e cargas ao porto.

O desenvolvimento e a manutenção de um sistema de monitoramento meteoceanográfico na área do porto, capaz de medir, processar, armazenar e apresentar em tempo real, com confiabilidade, os parâmetros altura de onda, nível do mar, correntes, ventos, índice pluviométrico etc. mostra-se tão relevante para o suporte às atividades do dia a dia atuais no porto, como também para o melhor entendimento das mudanças ao longo do tempo. Assim, tais sistemas devem ser implementados visando tanto ao suporte à operação, como também à acumulação de uma base de dados de importância estratégica para estudos climáticos, entre diversos outros relacionados tais como a construção de modelos hidrossedimentológicos para canais de acesso.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas Prumo Logística S.A., Porto do Açu Operações S.A. e Deltares pelo acesso aos estudos realizados para o Porto do

Açu e autorização para utilização das informações, de forma a contribuir com o debate que tanta relevância traz ao setor portuário brasileiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAQ (2022). Estatístico Aquaviário. ANTAQ, v. 2.4.1. Disponível em: <<http://anuario.antaq.gov.br/ea/index.html>>. Acesso em: 8 mar. 2022.

ANTAQ; GIZ (2021). Impactos e riscos da mudança do clima nos portos públicos costeiros brasileiros: Sumário executivo. 30 p. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/SumarioANTAQ_PT_Final.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2022.

ARAÚJO, F.; SILVA, L. G. C. H. da; RUGGERI, F. (2021). Metodologia de identificação e gerenciamento de riscos em projetos de dragagem portuária: um estudo de caso em um porto brasileiro. In: PRÊMIO ANTAQ 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/357131021_Metodologia_de_identificacao_e_gerenciamento_de_riscos_em_projetos_de_dragagem_portuaria_um_estudo_de_caso_em_um_porto_brasileiro>. Acesso em: 9 mar. 2022.

BEZUTTI, N. (2021). Porto do Açu se estrutura para ser “verde” com plantas de hidrogênio, solar e eólica offshore. Revista MegaWhat. Disponível em: <<https://megawhat.energy/news/143776/porto-do-acu-se-estrutura-para-ser-verde-com-plantas-de-hidrogenio-solar-e-eolica-offshore>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

BROOKS, M.R.; FAUST, P. (2018). 50 Years of Review of Maritime Transport, 1968-2018: Reflecting on the Past, Exploring the Future. UNCTAD. Disponível em <<https://trid.trb.org/view/1571401>>

Deltares (2021a). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 2, Porto do Açu, Brazil. Delft: Deltares, v. 0.1, 70 p.

Deltares (2021b). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 1, Porto do Açu, Brazil. Delft: Deltares, v. 2.0, 58 p.

ECMWF (2022). Datasets: ERA5. Disponível em: <<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

FÓRUM ALERJ (2021). Porto do Açu pode transformar o Rio numa das maiores plataformas logísticas do país. Youtube. Disponível em: <<https://youtu.be/KNWuJRG8OMY>>. Acesso em: 8 mar. 2022.

IZAGUIRRE, C., LOSADA, I.J., CAMUS, P., VIGH, J. L., STENEK, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change* 11 (1), 14–20. Disponível em <<https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>>.

LIMA, F. A. V.; SOUZA, D. C. (2022). Climate change, seaports, and coastal management in Brazil: An overview of the policy framework. *Regional Studies in Marine Science* 52, 102365.

PIANC (2020). Climate change adaptation planning and inland waterways. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. EnviCom WG Report n° 178.

PORTO DO AÇU (2020). Fazendo negócios com o Porto do Açu. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/porto-do-acu/>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PORTO DO AÇU (2021). Relatório de Sustentabilidade - Porto do Açu Operações - 2020. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PORTO DO AÇU (2022). Histórico. Porto do Açu. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/historico/>>. Acesso em: 8 mar. 2022.

PRUMO LOGÍSTICA (2021). Relatório da Administração. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro: Parte V - Publicações a Pedido, Rio de Janeiro, ano XLVII, n. 063, p. 44-53. Disponível em: http://www.ioerj.com.br/portal/modules/conteudoonline/mostra_edicao.php?k=C54F1FB4-378P5-491A-ABA8-5A34AA2B0649>. Acesso em: 08 mar. 2022.

RAMALHO, A. (2022). Prumo passa a ter 100% da Açu Petróleo. *Valor Econômico* (ed. online). Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2022/01/20/prumo-passa-a-ter-100-da-acu-petroleo.ghtml>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

SOSSAI, F. G. G. (2022). Climate Change Adaptation Report: Synthesis report and key findings.

CLIMATE RESILIENCE IN PORTS: CASE STUDY OF THE PORT OF AÇU

Luiz Gustavo Cruz Henriques da Silva
Port of Açu Operations

Juliane Castro Carneiro
Port of Açu Operations

João Paulo Hinke Dobrochinski
Deltares

Fernanda Gabriela Gobbo Sossai
Port of Açu Operations

Alexander Kataoka Ishikawa
Port of Açu Operations

Tomaz Bretano
Port of Açu Operations

Porto do Açu - São João da Barra/RJ
Photograph: Prumo Logística, Ministry of Industry, Foreign Trade and Services, 2017



ARTICLE 1

RESUMO

Os efeitos das mudanças climáticas constituem-se em um dos maiores desafios da atualidade. Em função da sua localização, os portos encontram-se no rol dos ativos de infraestrutura mais suscetíveis aos efeitos adversos de tais mudanças. Nesse contexto, é fundamental que a Administração Portuária compreenda as vulnerabilidades e riscos aos quais estão expostos a infraestrutura e as operações críticas do porto. O trabalho descreve a abordagem adotada pelo Porto do Açu, complexo porto-indústria privado localizado no estado do Rio de Janeiro. O trabalho foi estruturado em três etapas: 1) identificação dos regimes meteoceanográficos médio e extremos, atualmente presentes no porto; 2) projeção de cenários futuros em decorrência das mudanças climáticas e, por fim, 3) avaliação dos potenciais riscos e impactos de tais mudanças na infraestrutura e operações consideradas críticas do porto que, como desdobramento, poderia demandar a elaboração de planos de adaptação para aspectos identificados como vulneráveis. Como resultados, pode-se verificar que o Porto do Açu se encontra em uma área favorável com relação aos efeitos de mudanças climáticas, não sendo identificadas vulnerabilidades no curto prazo. Porém, é de grande importância que a Administração Portuária incorpore à sua gestão o exercício de discutir os tipos de vulnerabilidades e riscos aos quais o empreendimento está suscetível. Estas práticas incluem o desenvolvimento e manutenção de um sistema de monitoramento meteoceanográfico capaz de dar suporte às atividades diárias operacionais, e de estudos estratégicos como modelagens hidrossedimentológicas para canais de navegação.

Palavras-chave: Portos, Mudança climática, Riscos.

ABSTRACT

The effects of climate change constitute one of the greatest current challenges. Due to their location, ports are among the infrastructure assets most susceptible to the adverse effects of such changes. In this context, it is essential that the Port Administration understands the vulnerabilities and risks to which the infrastructure and critical operations of the port are exposed. This paper presents the approach adopted by Port of Açu, a private port-industry complex located in the northern region of the state of Rio de Janeiro. The work was structured in three stages: 1) identification of the medium and extreme meteoceanographic regimes currently present in the port; 2) projection of future scenarios because of climate change and, finally, 3) evaluation of potential risks and impacts of such changes in infrastructure and operations considered critical of the port which, as a result, could require the preparation of adaptation plans for aspects identified as vulnerable. As a result, Port of Açu is in a favorable area in relation to the effects of climate change, with no short-term vulnerabilities being identified. However, it is of great importance that the Port Administration incorporate into its management the exercise of discussing the types of vulnerabilities and risks the enterprise is susceptible to. Such practices include the development and maintenance of a meteoceanographic monitoring system capable of supporting daily operational activities, in addition to of strategic studies such as hydrosedimentological modeling for navigation channels.

Keywords: Ports, Climate change, Risks.

1. INTRODUCTION

One of the most complex challenges in today's world, the effects of climate change – like storms and storm tides, changing wind systems, rising sea levels and bigger waves – are directly affecting the port sector. Due to their typically coastal locations, as also occurs with most ports in Brazil, there can be little doubt that ports are on the list of infrastructure assets that are the most vulnerable to the adverse effects of climate change (ANTAQ and GIZ, 2021).

Due to the possible consequences on this sector, the issue of climate change has gradually been moving to the fore on global seaport agendas. The issue of climate change currently rates as one of the top three priorities to be addressed by port authorities and port systems (ESPO, 2019; WPSR, 2020; LIMA and SOUZA, 2022).

Ports are complex infrastructure assets whose construction, operation, maintenance, and development absorb huge amounts of resources and funding. In this context, risk analysis and management processes allow knowledge to be stored and shared, with uniform understanding and awareness of the possible impacts of port management (ARAÚJO; et al., 2021). The starting point is an understanding of the way in which climate changes forecast for the port region may affect its infrastructure as well as its operations rated as critical. Identifying weak points allows specific

action plans to be drawn up that in turn attempt to mitigate new risks caused by climate change, ensuring the manageability of reactions to these new situations.

LIMA and SOUZA (2022) stress that there is a lengthy list of possible impacts for seaports and the shipping industry related to offshore hazards and extreme meteorological events. They include heavier rainfall that delays loading and offloading operations at ports. More severe and more frequent storms may halt operations in port channels, with higher risks to shipping and wharf operations, jeopardising both offshore and onshore safety and security (BROOKS and FAUST, 2018; IZAGUIRRE et al., 2021)

This paper presents the approach adopted by the Port of Açú, in Northern Rio de Janeiro State, for identifying risks to its infrastructure and operations deriving from climate changes forecast for the port area. To do so, a three-stage approach was adopted to: (i) draw up climate change scenarios for the port area; (ii) identify risks to port infrastructure and regular operations resulting from these forecasts; and then, based on the findings: (iii) draw up climate adaptation plans addressing any weak points that might be identified.

Before explaining the method adopted by the Port of Açú, a brief outline of the context of this enterprise is needed, which is presented below.

2. THE PORT OF AÇU

As shown in Figure 1, the Port of Açú is an industrial and port complex in the São João da Barra municipality in Northern Rio de Janeiro State. With a total area of 90 km² open for development, construction on this port began in 2007, when work began on the Terminal 1 bridge; commercial operations began in 2014 when 80,000 tons of iron ore were loaded on to the Key Light carrier (PORT OF AÇU, 2022).

Looking at its infrastructure per se, this port is divided into two major groups of terminals, called Terminal 1 (T1) and Terminal 2 (T2). On the Northern side, T1 is a terminal built on a bridge, protected by a concrete caisson breakwater, which houses the iron ore and oil terminals. The T1 access channel is dredged to a depth of 25.0 metres in its deepest section. In contrast, T2 is an excavated onshore

terminal accessed through a shipping channel dredged to a depth of 14.5 metres, which is 300 metres wide at its widest point. Following the natural coastline, T2 is protected by concrete caisson breakwaters, which include a turning basin dredged to a depth of 14.5 metres. The port access channel continues landward, dredged to 14.5 metres along its deepest segment (East-West), with a depth of 10.0 metres along its shallowest final section (North-South).

The only privately-operated industry-port complex in Brazil (PORT OF AÇU, 2020), the Port of Açú currently has ten Private Use Terminals (TUPs) in operation that together handled a throughflow of around 55.8 million tons of cargo in 2021. This consisted mainly of bulk shipments of iron ore, oil, and other cargos related to the oil and gas industry (ANTAQ, 2022).

Figure 1: Location of the Port of Açú.



Source: Dobrochinski and Weiland (2021).



ARTICLE 1

In addition to engaging in regular port activities, the Port of Açu has established its position as an enterprise that is strategic for Brazil's oil, gas and energy sectors. At the moment, around 30% of Brazil's oil exports are shipped out through this port (RAMALHO, 2022); the largest thermopower complex in Latin America is currently being implemented, with two thermopower plants with a total capacity of 3 GW (PRUMO LOGÍSTICA, 2021); other projects are related to producing energy from wind and solar sources, at different development stages (BEZUTTI, 2021).

Estimates put investments in this enterprise at around BRL 18 billion (about USD 3.6 billion), with an investment portfolio of around BRL 20 billion (around USD 4 billion) over the next few years,

(FÓRUM ALERJ, 2021). These impressive figures illustrate the amount of capital exposed to climate change risks in this enterprise. Although new, compared to other organised (public) ports in Brazil, and still during its initial development stage within the available area, the Port of Açu has already established its status as a buttress of the nation's economic and social progress.

Associated with an understanding of the adverse effects of climate change on infrastructure projects, and the intention of positioning this enterprise as a port resilient to these changes (PORT OF AÇU, 2021), these factors led to a study being conducted (among other initiatives), whose approach is presented in the following pages.

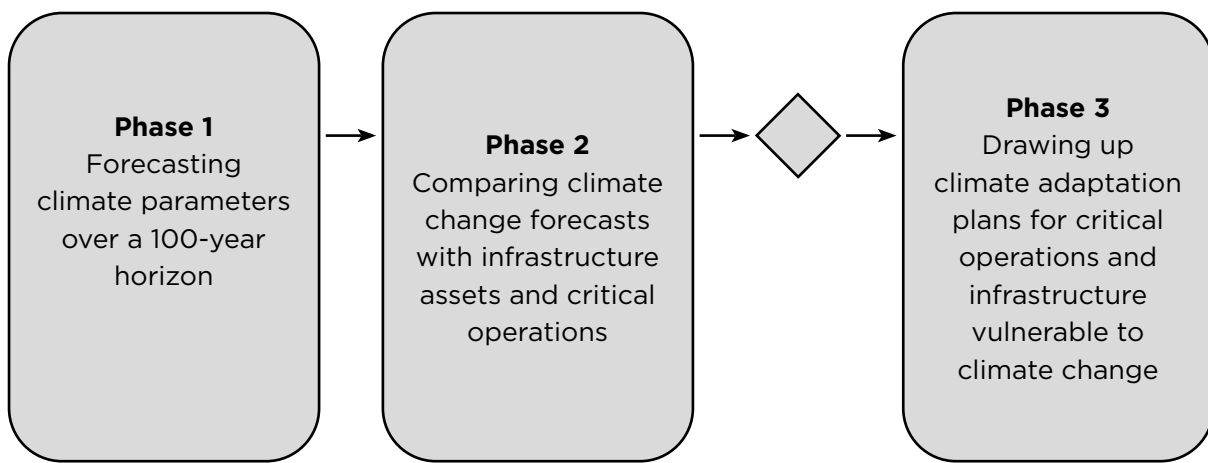
3. METHODOLOGY

The purpose of the research project conducted at the Port of Açu was to assess the effects of climate change on the port area, in terms of its infrastructure and main operations. This would endow the Port Administration with the ability to anticipate future weak points and the investments needed to uphold the resilience of this Port, while also lessening risks and uncertainties for other players holding stakes in the development of this enterprise, including its clients, investors, financing agents, insurers, etc.

The team set up to conduct this study consisted of representatives of various

Terminals operating at the Port of Açu, as well as specialists in sustainability, the environment and port operations from the Port Administration, together with a range of consultants specialising in different fields related to port activities and climate change. As a way of adding Independence to these discussions, representatives of one of the corporate shareholders of the Port of Açu were also involved, endowed with specialized expertise in port consulting projects.

Figure 2 presents a flowsheet demonstrating the approach defined for this study in the Port of Açu:

Figure 2: Scope of the study conducted in the Port of Açu.

Source: Authors, based on Deltares (2021a).

In this study, the meteorological and oceanographic parameters taken into consideration were (i) sea levels; (ii) wind regimes; (iii) wave heights; and (iv) rainfall regimes, forecast for a 100-year period. The forecasts of changes in the parameters, together with the infrastructure inventory and critical operations at this Port were drawn up through models based on international references, as well as the historical datasets kept by the Port Administration. This allowed assessment of weak points and risks over the short (2040), medium (2070) and long (2100) terms.

Based on the findings of this assessment, critical operations and/or infrastructure assets identified as potentially affected within the analysed timeline were then addressed by specific studies in greater depth, in order to define the actions to be taken by the Port Administration.

As shown in Figure 2, in order to cover the entire scope of this study, it was split into three separate and sequential Phases. The first two are mandatory, required to understand the future situation, while the implementation of the third will be dependent on the findings. Phase 3 consists of drawing up adaptation

plans, with the action plan including recommendations that appeared during Phase 2. This may be worked on in order to ensure ongoing enhancement of operations. Detailed descriptions of this approach are presented below for each Phase.

3.1. Phase 1: Current conditions and forecasts of future climate scenarios

Phase 1 consisted of two parts: (i) characterising current climate conditions; and (ii) forecasting future scenarios. In order to characterise current climate conditions, meaning mean and extreme regimes related to wave heights and sea levels, windspeeds and rainfall currently found in the Port area. Information was used that was based on observations of standards and trends over lengthy periods available from public sources, references and databases, as well as measurements taken by the Port Administration.

When characterising the current windspeed, wave height and rainfall regimes, use of the ERA5 database is noteworthy. This is the most recent dataset available for reanalysis gathered together by the European Centre for Medium-range Weather Forecast (ECMWF). The

ERA5 dataset brings together a massive amount of historical observations (dating back to 1979) in global estimates using data assimilation and modelling systems (ECMWF, 2022).

In order to prepare climate change forecasts for the Port area, a benchmark was needed on how the climate might behave over the years, taking the scale of human activities into account. To do so, this paper used the most recent Report (at the time of this study) issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entitled AR5 (2014), as a benchmark. Consequently, looking at the progression of greenhouse gas concentrations in the atmosphere, the timelines used in the assessments extended as far as 2100, with scenarios assessed for the Port regions at three different points in time: 2040, 2070 and 2100. Two emission scenarios also took into account Representative Concentration Pathways (RCPs) 4.5 and 8.5 (midpoint and worst case) climate change scenarios, as defined in IPCC AR5:

- **RCP 4.5** - Moderate emissions scenario: Midpoint Climate Change Scenarios. This scenario demonstrates a minor effort to lower future emissions, which continue to increase, but more slowly. Reduction strategies and policies are implemented, but not on a large scale.
- **RCP 8.5** - High emissions scenario: the worst-case climate change scenario. This scenario represents the 'business as usual' approach to emission management, with no changes. Emissions in this forecast future continue to rise, with no demonstrated international support or climate policy. There are no behavioural or political changes introduced to lower emissions, and no low-carbon solutions are adopted.

In addition to the data, the models and the references used to characterise the current context in the Port area and to prepare the forecasts, this paper was supported by assessments from a group of climate change specialists that constituted the work team.

3.2. Phase 2: Analysis of weak points in future scenarios

In Phase 2 of the studies, the findings from the previous stage were assessed by a group of specialists, in order to identify the effects of these changes on the Port infrastructure and critical operations.

During this Phase, the following aspects of the Port of Açu were taken into consideration:

- Mooring / casting off vessels and loading / offloading operations;
- Stability and maintenance of breakwaters, wharfs and berths;
- Sedimentation and dredging volumes;
- Expected impacts of rainfall.

In order to conduct the analysis, a large inventory was prepared, with information, drawings, plans and detailed project designs, descriptive memoranda, technical and operating reports, technical studies, maps, aerial photographs, etc. all related to infrastructure assets and operations rated as critical. To do so, input from professionals working at the terminals and the Port Administration was of the utmost importance for collecting and organising the necessary information.

In addition to the findings that resulted from Phase 1 and the inventory, technical references were also included in the analysis, including recommendations from the World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), where applicable.

3.3. Phase 3: Detailed analysis of each vulnerable infrastructure item and/or operation

Based on the findings from Phase 2 of the study, having identified infrastructure assets and/or critical operations at higher risk from the climate changes forecast for the Port area, Phase 3 is specifically designed to conduct in-depth analysis of each identified item. The outcome of this Phase is the generation of a Climate Adaptation Plan listing the actions and

investments needed to uphold the climate resilience of the Port.

Due to this characteristic, Phase 3 was planned as a non-mandatory stage, which could be undertaken on confirmation of at least one infrastructure asset or at-risk operation vulnerable to the forecast climate changes. However, as mentioned above, the implementation of the recommendations prepared during Phase 2 also steer the activities in Phase 3.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 below presents the results obtained in Phase 1 of the study. The outcomes of the effects of climate change were calculated through the characterisation of the mean and extreme parameters (sea level, windspeed, wave height and rainfall) for 2020.

Looking at sea level, it is assumed that the current maximum/extreme conditions in place in 2020 were around 2.2 metres above the Datum. For 2100, the mean forecasts of changes in sea level are +0.48 metres and +0.78 metres, under RCP4.5 and RCP8.5, respectively. The climate forecasts indicate that the mean windspeed will increase by around 10% by the end of the century. The references that are currently available and explored during this study indicate that there will be no significant effect of climate change on maximum windspeeds (99 percentile) in the Port of Açu region during the XXI century.

Looking at wave height as addressed in recent publications, the forecast changes in

the seasonal mean for significant heights¹ in the Port of Açu region are marginal (up to $\pm 3\%$), and even lower looking at the mean Hs value is throughout the year. The forecast changes during the mean wave period ($\sim -1\%$) and mean wave Direction ($\sim 1^\circ$) are marginal in areas around the Port and are thus rated as insignificant in practice. The highest energy (Hs99, significant wave height exceeded 1% of the time) are applied, with extreme conditions (100-year Hs).

Forecast alterations in the mean average rainfall are limited, at around -5% through to the end of the century. However, it is forecast that heavy rain events will become more intense, increasing between around 2.5% and 20% by the end of the century, compared to the conditions in place during 2020, for RCP4.5 and RCP8.5 respectively. It is worth stressing that particularly broad confidence intervals (meaning wide bands of uncertainty) are applicable to the mean annual rainfall forecasts, as well as heavy rain.

¹ Significant wave height (Hs) is defined as the mean wave height from trough to crest of the highest third of the waves.

Table 1 - Effects of climate change forecast for the Port of Açu.

Parameter	Effects of climate change compared to conditions in 2020					
	Mean Regime			Extreme Regime		
	2040	2070	2100	2040	2070	2100
Sea level	RCP4.5: +0.09 m RCP8.5: +0.11m	RCP4.5: +0.6 m RCP8.5: +0.38 m	RCP4.5: +0.48 m RCP8.5: +0.78 m	Assumed to be less than the variations in 2100 and thus insignificant		Insignificant variations in HAT climate and storms
Windspeed*	+1% (annual mean speed)	+4% (annual mean speed)	+10% (annual mean speed). The mean direction swings from <5 degrees NE to NNE	Assumed to be less than the variations in 2100 and thus insignificant		Variations of < ±2% in wind speed 99th percentile (RCP8.5)
Wave height	Assumed to be less than the variations in 2100 and thus insignificant		Insignificant alteration in the annual mean Hs (+3% in winter, -3% in summer). Changes in Tm of -1%, and Θm of ±1° (RCP4.5 & RCP8.5)	Assumed to be less than the variations in 2100 and thus insignificant		+2% (99th percentile Hs) ±2% (100-year Hs) (RCP4.5 & RCP8.5)
Rainfall	Insignificant alteration (RCP4.5 & RCP8.5)	-2.5% variation in mean annual rainfall (RCP4.5 & RCP8.5)	-5% variation in mean annual rainfall (RCP4.5 & RCP8.5)	Insignificant alterations (RCP4.5 & RCP8.5)	Max. annual one-day rainfall: RCP4.5: 2.5% RCP8.5: +7.5%	Max. annual one-day rainfall: RCP4.5: +2.5% RCP8.5: +20%

Source: Authors, based on Deltares (2021a).

In general, based on findings obtained through Phase 1, it may be stated that the Port of Açu is located in a favourable area in terms of the effects of climate change, as changes forecast for the Port area are less than the global means (Deltares, 2021b).

During Phase 2 of this study, the climate change scenarios resulting from Phase 1 were compared with detailed information on the infrastructure and operations rated as critical at the Port. This assessment

was conducted by specialists in different fields, with the findings presented in Table 2 below.

It is stressed that the classification of hazards, weak points and risks into categories, based on different environmental drivers and port components is inevitably subjective. Consequently, the information presented in Table 2 generally summarizes the more detailed analysis presented in Deltares (2021b).

Table 2 – Findings of Phase 2.

Aspects related to climate change		Short term (decade)						Long term (2070+)					
		Danger	Vulnerability	Sea level	Winds	Waves	Rainfall	Danger	Vulnerability	Sea level	Winds	Waves	Rainfall
Workability and downtime	Less free board (floods, factors related to the wharf)	o	**					*	**				
	Forces and movements induced by waves on vessels	*	***					**	***				
	Forces and movements induced by wind on vessels	*	o					**	*				
	Cargo handling (wind sensitive)	*	***					**	***				
	Manoeuvrability	*	***					**	***				
Stability of the main port structures	Hydraulic stability of the rockfill	o	**					*	**				
	Hydraulic/geotechnical stability of the breakwater caissons	o	**					*	**				
	Waves overtopping breakwaters with slopes and caissons	o	**					*	**				
	Waves breaking on the wharf deck	o	***					*	***				
	Hydraulic/geotechnical stability of the wharf walls	o	**					*	**				
Port sedimentation and dredging volumes	Local conditions for sedimentation.	o	**					*	**				
	Regional transport to the port	*	*					**	*				
	River-borne inflows of fine sediments	**	*					**	*				
	Beach-related sedimentation	o	**					*	**				
Expected impacts of rain events	Loading / offloading operations (general cargos, iron ore)	**	***					***	***				
	Drainage at terminals with contaminated outflows	**	***					***	***				
	Drainage at other terminals	**	*					***	*				

Key:

Strength and/or uncertainty	o	Less
	*	↓
	**	

Potential risks		Beneficial
		Neutral
		Close oversight
		Actions possibly necessary

Not applicable	
----------------	--

Source: Authors, based on Deltares (2021b).



ARTICLE 1

In general, the findings indicate that no mitigating actions will be required of the Port Administration over the short term, because no actions were identified that should be taken for any of the aspects under assessment. The forecasts currently available indicate relatively mild effects of climate change for the analysed parameters over the medium term (2070) as well, with minor consequences on the existing infrastructure and operations. In the short term, the points for attention should be the drainage system at certain places in the Port, which might require action, according to the study.

Over the past decade, major international ports like Rotterdam in the Netherlands, Long Beach, San Francisco and Houston in the USA, and London in the UK, have studied the possible impacts of climate change in their port areas, as well as over different timescales and in differing scenarios. In some cases, action plans have already been drawn up to provide protection against the impacts of this phenomenon.

Along these lines, PIANC (2020) addressed several case studies, clearly showing that each port must adapt to its own local environmental conditions, geographical location and the characteristics of its structures. For example, the adaptation report (2011) on the Port of London (UK) underscored the importance of monitoring aspects of climate change, such as tide heights and fog, in addition to bathymetric surveys and river flow records. This monitoring is rated as extremely important, with this conclusion also reached in the recommendations for the Port of Açu.

As the Port of Açu is a relatively new enterprise, the designs for its port and coastal structures already make provision for variations related to climate change and port management, compliant with international control and performance standards, which are decisive aspects for assessing the need to adopt adaptation measures. On the other hand, port

structure project design reassessments have been conducted for some of the older ports, like the Port of Rotterdam, in order to make them more resilient to climate change, particularly in terms of flood resistance (PIANC, 2020). In order to deal with these climate uncertainties, the development of expertise is rated as a major port strategy pillar.

Looking at the expected effects over the long term, considered as the outlook from 2070 onwards, the analysis indicates the possibility of actions related to several aspects. However, the expansion of the range of uncertainties in the forecast drawn up for longer timeframes also embodies just as many uncertainties in the findings and potential risks to operations and infrastructures, with a trend towards more conservative interpretation among specialists when indicating what actions may be necessary. This dynamic shows port management how important it is to incorporate this type of regular risk assessment, with new evaluations during the decades, taking future port development into account, as well as longer measured datasets and updated climate forecasts that are more detailed and accurate.

Based on the results obtained in Phase 2 at the Port of Açu, where no weak points or risks were identified resulting from forecast climate changes for the Port of Açu area over the short and medium terms, Phase 3, becomes partially unnecessary, as originally planned. However, as several suggestions were recorded by the working group in the course of the study, several of them administrative in nature, the Port Administration decided to remodel Phase 3 in order to include these suggestions on port management.

Among the recommendations listed during the project and taken into consideration by the Port Administration that will be transformed into actions during the next few years, the following are particularly noteworthy (SOSSAI, 2022):



ARTICLE 1

- Continue the meteorological and oceanographic data collection and storage system at the Port with upgrades;
- Implement additional monitoring activities to understand the dynamics of fine sediments that silt up areas within and around the Port area;
- Assess the influence of the Paraíba do Sul river in the Port region in terms of its contribution to the sedimentation phenomenon and flooding risks along onshore access routes leading to the Port;
- Upgrade the extreme climate events Monitoring Plan;
- Include the findings of Phase 1 (climate change forecast) in the engineering criteria for new enterprises at the Port; and
- Update weak point forecasts and assessments for each 10 - 20 year cycle, in order to keep pace with changes in trends and developments, in climate-related terms.

5. CONCLUSIONS

In general lines, identifying changes in the mean and extreme parameters for wave heights, windspeeds, sea level and rainfall for the Port of Açu resulted in findings that were rated as relatively low. However, it is important to stress that the exercise of forecasting future conditions encompasses many uncertainties, particularly over longer time frames (i.e., decades).

It is thus crucial for the Port Administration to include in its management activities not only the weak points and risks initially identified for the enterprise, but also uncertainties in the estimates of the hazards, weak points and risk analysis (as conducted in the Port of Açu during Phase 2 of the study).

Similarly, risks arising from climate change may be representative not only for the Port Area (infrastructure and operations rated as critical), but also for its hinterland. This is why it is just as important for the Port

Administration to extend the analysis time frame for assets that are not under its direct management, such as road and rail access routes, which would hamper access to the Port by people and cargos, if degraded.

The development and maintenance of a meteorological and oceanographic monitoring system in the Port area that could measure, process, store and present trustworthy parameters in real time for wave heights, sea levels, currents, windspeeds, rainfall indexes, etc. would be important for buttressing daily activities currently underway at the Port, as well as leading to a better understanding of changes over time. Consequently, these systems should be implemented in order to support its operations, as well as for building up a database of strategic importance for climate studies, among several other related aspects, such as the construction of hydro-sedimentological models for the access channels.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors offer their thanks to the Prumo Logística S.A., Porto do Açu Operações S.A., and Deltares companies for access to studies conducted for the

Port of Açu and authorisation to use this information, in order to contribute to a discussion that enhances the relevance of Brazil's port sector.

7. REFERENCES

ANTAQ (2022). Estatístico Aquaviário. ANTAQ, v. 2.4.1. Available at: <<http://anuario.antaq.gov.br/ea/index.html>>. Accessed on: March 8, 2022.

ANTAQ; GIZ (2021). Impactos e riscos da mudança do clima nos portos públicos costeiros brasileiros: Sumário executivo. 30 p. Available at: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/SumarioANTAQ_PT_Final.pdf>. Accessed on: March 9, 2022.

ARAÚJO, F.; SILVA, L. G. C. H. da; RUGGERI, F. (2021). Metodologia de identificação e gerenciamento de riscos em projetos de dragagem portuária: um estudo de caso em um porto brasileiro. In: PRÊMIO ANTAQ 2021. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/357131021_Metodologia_de_identificacao_e_gerenciamento_de_riscos_em_projetos_de_dragagem_portuaria_um_estudo_de_caso_em_um_porto_brasileiro>. Accessed on: March 9, 2022.

BEZUTTI, N. (2021). Porto do Açu se estrutura para ser “verde” com plantas de hidrogênio, solar e eólica offshore. Revista MegaWhat. Available at: <<https://megawhat.energy/news/143776/porto-do-acu-se-estrutura-para-ser-verde-com-plantas-de-hidrogenio-solar-e-eolica-offshore>>. Accessed on: March 9, 2022.

BROOKS, M.R.; FAUST, P. (2018). 50 Years of Review of Maritime Transport, 1968-2018: Reflecting on the Past, Exploring the Future. UNCTAD. Available at <<https://trid.trb.org/view/1571401>>

Deltares (2021a). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 2, Porto do Açu, Brazil. Delft: Deltares, v. 0.1, 70 p.

Deltares (2021b). Climate change effects and their impacts to port operations: Phase 1, Porto do Açu, Brazil. Delft: Deltares, v. 2.0, 58 p.

ECMWF (2022). Datasets: ERA5. Available at: <<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>>. Accessed on: March 9, 2022.



ARTICLE 1

FÓRUM ALERJ (2021). Porto do Açu pode transformar o Rio numa das maiores plataformas logísticas do país. Youtube. Available at: <<https://youtu.be/KNWuJRG8OMY>>. Accessed on: March 8, 2022.

IZAGUIRRE, C., LOSADA, I.J., CAMUS, P., VIGH, J. L., STENEK, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change* 11 (1), 14-20. Available at <<https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>>.

LIMA, F. A. V.; SOUZA, D. C. (2022). Climate change, seaports, and coastal management in Brazil: An overview of the policy framework. *Regional Studies in Marine Science* 52, 102365.

PIANC (2020). Climate change adaptation planning and inland waterways. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. EnviCom WG Report n° 178.

PORTO DO AÇU (2020). Fazendo negócios com o Porto do Açu. Available at: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/porto-do-acu/>>. Accessed on: March 9, 2022.

PORTO DO AÇU (2021). Relatório de Sustentabilidade - Porto do Açu Operações - 2020. Available at: <<https://portodoacu.com.br/sustentabilidade/>>. Accessed on: March 9, 2022.

PORTO DO AÇU (2022). Histórico. Porto do Açu. Available at: <<https://portodoacu.com.br/sobre-o-porto/historico/>>. Accessed on: March 8, 2022.

PRUMO LOGÍSTICA (2021). Relatório da Administração. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro: Parte V - Publicações a Pedido, Rio de Janeiro, ano XLVII, n. 063, p. 44-53. Available at: http://www.ioerj.com.br/portal/modules/conteudoonline/mostra_edicao.php?k=C54F1FB4-378P5-491A-ABA8-5A34AA2B0649>. Accessed on: 0March 8, 2022.

RAMALHO, A. (2022). Prumo passa a ter 100% da Açu Petróleo. *Valor Econômico* (ed. online). Available at: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2022/01/20/prumo-passa-a-ter-100-da-acu-petroleo.ghtml>>. Accessed on: March 9, 2022.

SOSSAI, F. G. G. (2022). Climate Change Adaptation Report: Synthesis report and key findings.