

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OPERAÇÕES PORTUÁRIAS: ESTUDO PARA O COMPLEXO PORTUARIO DE SÃO FRANCISCO DO SUL/SC

Márcio Nora Barbosa¹, Gibran da Silva Teixeira², Patrizia Raggi Abdallah³, João Luiz Nicolodi⁴, Antônio Henrique Klein⁵, Gabriela Lima⁶, Ana Carolina Moura⁷, William Barros Miranda⁸

RESUMO

Este estudo investiga os impactos das mudanças climáticas nos terminais portuários de São Francisco do Sul e Itapoá, em Santa Catarina, Brasil. Utilizando modelos, com destaque para o modelo Logit, analisou-se a probabilidade de interrupções operacionais decorrentes de eventos climáticos adversos, como chuvas intensas e ventos fortes. Os resultados indicam que a presença de chuvas acima da média em Joinville e Barra está associada a aumentos substanciais na probabilidade de interrupção das atividades portuárias, chegando a até 62% e 57%, respectivamente. Além disso, ventos máximos acima da média em Joinville mostraram um aumento de aproximadamente 41% na probabilidade de paralisação das operações portuárias. Os resultados destacaram a importância em considerar as características específicas dos portos e das condições climáticas ao analisar os riscos associados às atividades portuárias. Em particular, observou-se que as cargas gerais em portos públicos são mais suscetíveis a interrupções devido a eventos climáticos extremos. Esses achados destacam a importância crítica da localização geográfica e intensidade das variáveis climáticas na avaliação dos riscos portuários. Este estudo oferece uma base sólida para a implementação de medidas proativas de mitigação de impactos adversos, visando garantir a eficiência, segurança e viabilidade econômica das atividades portuárias frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Palavras-Chave: Variáveis Climáticas; Operação Portuária; Modelo Logit.

ABSTRACT

This study investigates the impacts of climate change on the port terminals of São Francisco do Sul and Itapoá in Santa Catarina, Brazil. Using models, particularly the Logit model, the probability of operational interruptions due to adverse weather events such as heavy rainfall and strong winds was analyzed. The results indicate that above-average rainfall in Joinville and Barra is associated with substantial increases in the probability of operational interruptions, reaching up to 62% and 57%, respectively. Additionally, maximum winds above the average in Joinville showed an increase of approximately 41% in the probability of operational disruptions. The findings highlighted the importance of considering the specific characteristics of ports and climatic conditions when assessing risks associated with port activities. In particular, it was observed that general cargo in public ports is more susceptible to disruptions due to extreme weather events. These findings underscore the critical importance of geographic location and climatic variables' intensity in assessing port risks. This study provides a solid basis for implementing proactive measures to mitigate adverse impacts, aiming to ensure the efficiency, safety, and economic viability of port activities in the face of challenges posed by climate change.

Keywords: Climate Variables; Port Operation; Logit Model

Área 9: Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade
JEL: R50, R48, Q55

¹ Pós-Doutorando em Economia, FURG - marcionorabarbosa@gmail.com

² Professor Dr. Em Economia, FURG - tgibran@hotmail.com

³ Professora Dra. Em Economia, FURG - patrizia.abdallah@gmail.com

⁴ Professor Dr. Em Oceanografia, FURG - joaonicolodi@furg.br

⁵ Professor Dr. Em Oceanografia, UFSC - ahfklein@gmail.com

⁶ Mestre em Economia, FURG - plima.gabriela@gmail.com

⁷ Graduada em Oceanografia, FURG - anacfbmoura@hotmail.com

⁸ Mestrando em Economia, FURG - williambarrosmiranda@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

As mudanças no clima têm sido uma preocupação crescente em todo o mundo devido aos seus impactos significativos em diversos setores. Entre eles, a atividade portuária tem sido objeto de estudo e análise, uma vez que os portos desempenham um papel crucial no transporte e comércio globais. No entanto, as alterações climáticas representam uma ameaça significativa às operações portuárias, podendo resultar em um aumento das paralisações operacionais e consequentes perdas econômicas. O sistema portuário global está enfrentando desafios crescentes em decorrência das mudanças climáticas e dos eventos climáticos extremos. O aumento na frequência e intensidade de tempestades, ventos fortes, inundações, ondas de calor e furacões são exemplos desses eventos que têm o potencial de causar perturbações significativas nas operações portuárias (Camus et al., 2019; Izaguirre et al., 2021).

As mudanças climáticas se referem às transformações de longo prazo nos padrões climáticos médios e extremos em escala global, impulsionadas principalmente pelo aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Essas mudanças estão contribuindo para o fenômeno do aquecimento global, acarretando em impactos significativos no clima, tais como o aumento do nível do mar, a intensificação de eventos climáticos extremos e a variabilidade climática. Essas alterações exercem uma influência direta em diversas atividades econômicas, incluindo as operações portuárias. (IPCC, 2014; Hansen et al., 2012; Balta e Günaydin., 2019)

Neste contexto, os portos são centros logísticos essenciais para o transporte marítimo, envolvendo operações complexas, como atracação e desatracação de navios, movimentação de cargas, armazenamento, embarque e desembarque de mercadorias. No entanto, as mudanças climáticas estão apresentando desafios significativos. Os portos estão localizados em áreas costeiras e são suscetíveis aos impactos do aumento do nível do mar, como inundações e erosão costeira. Além disso, eventos climáticos extremos, como tempestades mais intensas e furacões, podem afetar a segurança das operações portuárias, causando a interrupção das atividades e danos à infraestrutura (Wang et al., 2018; Becker et al.; 2018).

Diante desses desafios, é essencial entender e avaliar os impactos das mudanças climáticas na atividade portuária, bem como desenvolver estratégias de adaptação e mitigação adequadas. A pesquisa científica nessa área visa analisar os efeitos das mudanças climáticas nos portos, identificar riscos e vulnerabilidades específicos. Compreender essas relações complexas é crucial para garantir a sustentabilidade e a eficiência dos portos, bem como para promover a adaptação aos desafios climáticos e contribuir para um futuro mais resiliente e sustentável.

Neste estudo, realizamos uma análise de risco climático para o complexo portuário de São Francisco do Sul, abrangendo os portos de São Francisco do Sul e Itapoá, localizados no estado de Santa Catarina, Brasil. O objetivo é investigar os impactos dos eventos climáticos extremos na probabilidade de interrupções operacionais nos portos, considerando aspectos operacionais e estruturais. Utilizando um modelo Logit, buscamos identificar como tais eventos influenciam as interrupções operacionais e estimar possíveis mudanças na probabilidade em cenários de eventos climáticos mais severos.

Além desta introdução, o estudo inclui uma revisão da literatura que aborda pesquisas internacionais relevantes sobre os impactos das mudanças climáticas nos portos e as estratégias de adaptação adotadas. Também é discutida a metodologia aplicada, incluindo detalhes sobre o modelo escolhido e os dados utilizados. Uma seção dedicada à

apresentação e análise dos resultados obtidos é desenvolvida, seguida por considerações finais.

2 INFRAESTRUTURA E OPERAÇÃO DOS PORTOS/TERMINAIS

Nesta seção, é apresentada uma visão geral da infraestrutura portuária do Brasil, juntamente com os últimos dados disponíveis sobre os portos e terminais registrados e monitorados pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). O sistema portuário brasileiro é composto por 35 portos públicos organizados (no Brasil os Portos são classificados em portos organizados – bem público e explorado por uma autoridade portuária, terminais de uso privado – instalados e explorados mediante autorização, e estações de transbordo de cargas (CNT, 2019)). distribuídos em 17 estados, abrangendo 146 contratos de arrendamento vigentes e 29 contratos em período de transição. Além disso, o país registrou a existência de 215 Terminais de Uso Privado (TUPs) (ANTAQ, 2023).

Segundo o último relatório de gestão da ANTAQ publicado no ano de 2023, as instalações portuárias do Brasil movimentaram aproximadamente 1,2 bilhão de toneladas de cargas, registrando uma queda de 0,4% em comparação com o ano anterior. Os principais produtos movimentados foram minério de ferro, petróleo, contêineres e soja, evidenciando a relevância do transporte aquaviário para o escoamento das *commodities* brasileiras. Destaque para o aumento significativo na movimentação de milho em 2022, com um crescimento de 93,6% em comparação com 2021, além do aumento de 21,8% na movimentação de pasta de celulose (ANTAQ, 2023)

O documento ainda relata que o transporte de longo curso, as exportações brasileiras, registraram um crescimento de 2,2%, com aumentos na movimentação de milho (+111,2%), farelo de soja (+23,4%) e pasta de celulose (+27,9%). Na cabotagem, além dos 60% da navegação representados pelo óleo bruto nos portos marítimos, originário de plataformas marítimas, houve crescimentos de 1,7% e 32,2% na movimentação de petróleo e derivados de petróleo, respectivamente. No transporte em vias interiores registrou-se um crescimento de 6,9% em relação a 2021, impulsionado principalmente pelo aumento de 65,5% no transporte de milho (ANTAQ, 2023).

Em 2022, foram contabilizadas 68,6 mil atracações, representando um aumento de 5,3% em relação a 2021. No total, 239 instalações portuárias informaram suas movimentações (ou ausência delas) ao Sistema de Desempenho Portuário (SDP), incluindo 33 portos organizados, 165 terminais de uso privado, 38 estações de transbordo de cargas e 3 instalações portuárias de turismo (ANTAQ, 2023).

Nos terminais do complexo portuário de São Francisco do Sul, observa-se dois terminais: o terminal aquaviário de São Francisco do Sul e o Porto de Itapoá. No ano de 2022, o terminal aquaviário de São Francisco do Sul movimentou 8,7 milhões de toneladas de carga, representando 27,9% do total operado nos portos de Santa Catarina. O Porto de Itapoá, por sua vez, registrou um volume de 9,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 31,4% do total movimentado no estado catarinense. Além disso, o porto público de São Francisco do Sul movimentou 12,7 milhões de toneladas, alcançando a maior participação percentual entre os portos em operação, com 40,7% (ANTAQ, 2023).

Esses dados são importantes, pois a probabilidade de paralisação dos portos está diretamente associada ao tipo de operação que cada um realiza, bem como às condições específicas de cada terminal. Além disso, entender a capacidade operacional e os volumes de carga movimentados por cada porto ou terminal é fundamental para avaliar sua

resiliência frente aos eventos climáticos extremos, assim esse panorama estatístico é crucial para compreender o impacto dos resultados que serão apresentados neste estudo.

3 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMATICAS NA ATIVIDADE PORTUÁRIA

As mudanças climáticas são resultado tanto de forças naturais quanto de influências antropogênicas, com uma gama variada de consequências. A análise dos impactos sobre o setor portuário é imperativa, dada sua relevância para a economia nacional. De acordo com a Antaq (ANTAQ, 2021, p. 20), cerca de 90% do comércio mundial depende do transporte marítimo para sua manutenção. No contexto deste estudo, Ng et al. (2013) realizaram análises exploratórias e aprofundadas de quatro portos na Austrália para investigar os efeitos das mudanças climáticas e as estratégias de adaptação adotadas, com foco específico nas infraestruturas portuárias e nos impactos operacionais diários. Os resultados revelaram que as mudanças climáticas é um problema para os portos, porém, embora os gestores portuários reconheçam as mudanças climáticas como uma questão crítica, as estratégias de adaptação permanecem fragmentadas e em estágios incipientes.

Na perspectiva de entender o impacto nas operações portuárias gerado por questões climáticas, Messner et al. (2013) conduziram uma avaliação das variações futuras do nível do mar combinadas com tempestades, visando retratar essa informação de forma visual e espacial para todas as partes interessadas, incluindo inquilinos portuários, autoridades municipais, operadores portuários e o público em geral. O objetivo era estabelecer um entendimento comum e iniciar o planejamento a longo prazo necessário para lidar com os crescentes desafios associados às mudanças climáticas. A metodologia, centrada em Sistemas de Informação Geográfica (GIS), foi aplicada especificamente ao Porto de San Diego e às atividades e usos do solo ao redor da Baía de San Diego.

O estudo projetou que até 2100, o aumento das inundações devido ao aumento do nível do mar seria generalizado em toda a jurisdição do Porto e na área da Baía de San Diego, com muitas áreas previstas para serem afetadas além da jurisdição portuária. Todas as funções portuárias na maioria dos Distritos de Planejamento foram consideradas em risco elevado ou muito elevado até 2100 (Messner et al., 2013).

Estudos recentes têm evidenciado como as variáveis climáticas têm impactado os portos em diversas regiões do mundo, destacando as implicações financeiras desses eventos (Becker et al., 2014; Chatterton et al., 2016; Marengo, 2014). No contexto brasileiro, Marengo (2014) identificou que uma combinação de condições meteorológicas favoreceu o aumento das chuvas na região costeira de Santa Catarina em novembro de 2008. O autor estimou as perdas decorrentes desse evento de chuvas extremas, incluindo inundações e deslizamentos de terra, em cerca de US\$ 350 milhões, devido ao fechamento do porto de Paranaguá, um dos mais importantes da região Sul (INPE apud Marengo, 2014).

No mesmo sentido, analisando alguns países específicos do Reino Unido, Chatterton et al. (2016), relataram que as inundações ocorridas nos anos de 2013-2014 resultaram em danos à infraestrutura portuária destes países, totalizando £1,8 milhões. Outros autores, confirmaram em seus trabalhos as informações sobre a vulnerabilidade dos portos a eventos climáticos extremos que pode resultar em danos físicos às suas estruturas portuárias, ocasionando em despesas adicionais para reparos e manutenção. Além da interrupção dos serviços, os prejuízos econômicos substanciais podem atingir valores bilionários (Becker et al., 2013; Haveman e Shatz, 2006).

Na busca por entender o impacto das mudanças climáticas e a busca por medidas de adaptação dos portos na China, Yang et al. (2017) realizaram uma pesquisa técnica em 14 portos na Grande China, com uma abordagem Bayesiana difusa para estimar o risco climático, posteriormente aplicando o raciocínio evidencial (ER) para sintetizar as reduções de risco e os custos de adaptação.

Os autores categorizaram os dados em três grupos: avaliação de risco sem implementação de medidas de adaptação, avaliação de risco com a implementação de medidas de adaptação e avaliação de custos das medidas de adaptação. Os resultados destacaram que a aplicação das medidas de adaptação recomendadas pode resultar em uma redução significativa dos riscos das alterações climáticas nas operações portuárias, com as principais ameaças sendo inundações devido à elevação do nível do mar, tempestades extremas, ondas altas e erosão costeira (Yang et al., 2017).

Sobre o tema relacionado às mudanças climáticas, Christodoulou et al. (2018) evidenciaram que os eventos climáticos extremos têm a tendência de se tornarem mais frequentes e intensos, acarretando prejuízos adicionais para as operações. Em um estudo mencionado por Cao e Lam (2019) acerca do porto de Dalian, na China, foram observadas interrupções nas atividades portuárias devido a eventos climáticos, resultando em atrasos na movimentação de cargas e consideráveis perdas de receita. Um período de inatividade de cinco dias acarretou prejuízos estimados em US\$ 65 milhões para o porto de Dalian. Quanto ao porto de Shenzhen, também na China, pesquisas indicaram que eventos de neblina representam os principais desafios, afetando o tempo de operação e gerando significativas perdas econômicas mensais (Cao e Lam., 2019)

Em congruência com os outros estudos apresentados nessa seção, segundo Izaguirre et al. (2021), as projeções para o final do século XXI indicam que eventos climáticos extremos, como inundações costeiras, galgamentos e altas temperaturas, tendem a agravar as condições operacionais nos portos. Esses autores identificaram que certos portos serão particularmente afetados por uma série de perturbações, como ventos fortes, temperaturas elevadas, precipitação intensa, ondas altas, tempestades, aumento do nível do mar, maré astronômica ou uma combinação desses fatores, que excederão os limites operacionais.

Os impactos associados a esses eventos climáticos incluem limitações na manobrabilidade das embarcações, na atracação e nas operações de carga e descarga devido aos ventos fortes; restrições para o pessoal portuário trabalhar ao ar livre com segurança em razão das altas temperaturas; diminuição da visibilidade devido à intensidade das precipitações; dificuldades nas manobras de aproximação devido às alturas significativas das ondas; ocorrência de galgamentos; restrições causadas por inundações costeiras nas operações do terminal; e os impactos de ciclones tropicais (Izaguirre et al., 2021).

Na perspectiva da América do Sul, particularmente para os portos do Chile, os impactos econômicos das mudanças climáticas no tempo de inatividade operacional são motivo de grande preocupação. Segundo Campport (2021), observou-se um aumento significativo no número de paralisações portuárias devido a fenômenos meteorológicos e oceanográficos extremos, conforme evidenciado por registros históricos e recentes. Estes eventos incluem tempestades que restringem as operações de atracação, permanência e partida de navios nos portos do país. Apenas em 2020, as perdas econômicas decorrentes dessas paralisações atingiram a cifra de US\$ 345,4 milhões para todo o sistema portuário chileno. Além disso, análises locais realizadas na pesquisa indicam que os tempos de inatividade podem aumentar ao longo do presente século ao longo das costas chilenas, como consequência das mudanças climáticas (Campport, 2021; Winckler et al., 2022).

Ademais, Verschuur et al. (2023), corrobora com a literatura, através de um estudo global sobre análise de risco em infraestruturas portuárias. O trabalho relata a importância

da integração de análises de risco e mitigação de custos no setor portuário. Os autores destacaram a exposição a diversos perigos que representam desafios significativos para a segurança e continuidade operacional dos portos. Entre os principais perigos identificados estão ciclones, inundações costeiras, fluviais e pluviais, além de terremotos.

A análise do estudo é extensiva e sistemática dos riscos multirrisco enfrentados pelos portos em escala global, com a finalidade de quantificar os danos físicos aos ativos portuários e à infraestrutura crítica, bem como as perdas logísticas e comerciais decorrentes do tempo de inatividade portuária induzido por riscos naturais. O estudo concluiu que essa variedade de riscos aumenta a complexidade da gestão de riscos portuários, exigindo uma abordagem abrangente e integrada para garantir a resiliência das infraestruturas. Concluíram que 86,2% dos portos estão expostos a mais de três perigos climáticos (Verschuur et al., 2023).

Recentemente, Xia et al. (2024) conduziram uma análise visando examinar a adaptação dos portos frente às alterações climáticas, sob uma ótica de competição interportuária. O estudo propôs uma abordagem que vincula dois tipos de investimento: o primeiro direcionado à adaptação às mudanças climáticas para fortalecer a resiliência dos portos; o segundo voltado para a expansão da capacidade dos complexos portuários, a fim de atender à crescente demanda marítima. Mediante a interdependência desses eventos, os autores desenvolveram um modelo baseado na teoria dos jogos para determinar os investimentos estratégicos que os portos devem realizar em adaptação e capacidade, levando em conta a concorrência entre eles.

Os resultados revelaram que os portos expostos a um maior risco climático tendem a investir menos em capacidade, porém não necessariamente mais em adaptação. Adicionalmente, os portos tendem a investir mais em capacidade e adaptação quando seus concorrentes enfrentam um aumento no risco climático. Por fim, o estudo aponta que o cenário mais desfavorável para um porto ocorre quando seu concorrente se adapta às mudanças climáticas enquanto ele não o faz. Em conclusão, os autores enfatizam a importância de os portos investirem em adaptação às mudanças climáticas e em capacidade para garantir a operação contínua, aumentar a resiliência e permanecer competitivos a longo prazo. (Xia et al., 2024).

Para o Brasil destaca-se o estudo realizado pela Antaq sobre os impactos e riscos da mudança do clima nos portos públicos costeiros brasileiro. O objetivo do documento foi detectar os efeitos e perigos resultantes da variação climática nos terminais marítimos públicos ao longo da costa brasileira, e propor um conjunto de sugestões amplas referentes a medidas adaptativas viáveis para reforçar a capacidade de resposta dos portos frente aos impactos adversos na operação e nas estruturas portuárias.

Nesse sentido o relatório abordou, entre os portos analisados, o complexo portuário de São Francisco do Sul, e as consequências negativas são identificadas quando acontecem eventos extremos como os vendavais, as tempestades/chuva torrencial e a neblina que ocorrem ocasionalmente no inverno. Ainda, de acordo com a análise de impacto realizada no estudo, as ressacas também são uma ameaça climática relevante.

O relatório não identificou impactos nas estruturas, mas a operação de entrada/saída de navios foi impactada pelas tempestades/chuvas torrenciais em um grau moderado, ocorrendo a interrupção parcial/pontual de uma atividade. Referente a neblina, a operação de entrada/saída de navios foi impactada em um grau grave, ocorrendo a interrupção de duas ou mais atividades. Ressacas e vendavais não tiveram impactos significativos na operação de entrada e saída dos navios. (ANTAQ, 2021, p. 147)

No contexto abordado pela literatura exposta e considerando a relevância de pesquisas que elucidem a interação entre mudanças climáticas e a operação portuária, este estudo busca contribuir para a literatura ao examinar a relação direta entre variáveis

climáticas e as interrupções nas atividades portuárias nos portos de São Francisco do Sul-SC e Itapoá-SC. Além disso, visa apresentar uma metodologia consolidada que possa servir de referência para outros portos.

4 METODOLOGIA

Com a finalidade de conduzir uma avaliação de risco climático destinada ao setor portuário costeiro de São Francisco do Sul/SC e Itapoá/SC, levando em conta os elementos operacionais e estruturais, esta seção apresenta a descrição dos procedimentos metodológicos a fim de identificar os riscos climáticos por meio da determinação da probabilidade de ocorrência dos eventos extremos climáticos e da avaliação dos impactos que tais eventos exercem sobre as atividades operacionais dos portos, e após a identificação verificar cenários extremos e seus possíveis efeitos em termos de probabilidade de ocorrência.

4.1 Fonte e Descrição de Variáveis Utilizadas

Neste estudo, foram empregados dados secundários provenientes de fontes informativas, incluindo a Agência Nacional dos Transportes Aquaviários (ANTAQ) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Figura 2 - Processo de coleta, compilação e compatibilização dos dados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Utilizando o sistema estatístico da ANTAQ, foram obtidos os conjuntos de dados que abrangem a movimentação portuária detalhada por embarcação durante o seu tempo de permanência nos Portos de São Francisco do Sul/SC e Itapoá/SC, no período compreendido entre os anos de 2018 e 2021. Dessa maneira, foi possível compilar variáveis tais como: tipo de mercadorias e suas subclassificações, fluxo de mercadorias e serviços (embarque e desembarque), tipo de transporte (longo curso e cabotagem), dados por complexos portuários, terminais públicos e privados, origem e destino (rotas), tarifas, tempo médio para atracação (horas), tempo médio para início da operação (horas), tempo médio para desatracação (hora), tempo médio atracado (horas), tempo médio de operação (horas) e tempo médio de estadia (horas), do ano de 2018 a 2021.

As informações climáticas foram retiradas com base nos dados fornecidos pela EPAGRI, englobando informações sobre chuvas, ventos e níveis de umidade provenientes de três localidades (Joinville/SC, Barra/SC e Itapoá/SC) situadas nas proximidades dos Portos em análise, durante o intervalo temporal de 2018 a 2021.

Tabela I – Estatística descritiva das variáveis nos anos 2018 a 2021.

Variáveis	n	Mediana (d1)	Média (d2)	Mínimo	Máximo
<i>movimentacao</i>	4330	17.110	29.073	0,03	281.258
<i>t_atrac</i>	4330	7,10	47,26	0,00	724,10
<i>t_inicioop</i>	4330	0,90	1,43	0,00	24,25
<i>t_operac</i>	4330	19,27	38,44	0,00	286,30
<i>t_desatrac</i>	4330	1,00	2,08	0,00	24,42
<i>t_atracado</i>	4330	23,77	40,52	0,00	206,30
<i>t_estadia</i>	4330	37,90	88,10	0,00	762,60
<i>receita</i>	1810	73.304	134.413	0,00	1.308.000
<i>mm_joinville</i>	4330	11,80	39,01	0,00	856,60
<i>umid_joinville</i>	4310	91,61	90,76	42,10	100,00
<i>vmax_joinville</i>	4310	7,92	8,40	2,43	142,60
<i>mm_barra</i>	4330	4,80	17,45	0,00	405,60
<i>umid_barra</i>	4124	89,26	88,81	55,75	100,00
<i>vmax_barra</i>	4330	20,64	21,01	8,95	46,78
<i>mm_itapoa</i>	4330	0,60	14,83	0,00	629,20
<i>umid_itapoa</i>	3153	87,55	87,23	53,33	100,00
<i>vmax_itapoa</i>	2669	9,08	9,30	0,00	27,95
<i>mm_itapoa_e</i>	4330	3,00	18,68	0,00	354,40
<i>hs_medEst</i>	4318	0,58	0,59	0,13	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da Antaq e Epagri (2023).

A partir das variáveis presentes na base de dados, como ilustrado na Tabela I, foram criadas variáveis climáticas dicotômicas, divididas em categorias acima da mediana (d1) e acima da média (d2), abrangendo as métricas de chuva, vento e umidade. Com a inclusão destas novas variáveis, a base de dados foi unificada e tornou-se adequada para a construção do modelo econométrico a ser empregado para os propósitos da pesquisa.

4.2 Modelo Logit

Com o propósito de determinar a probabilidade ou possibilidade de ocorrência de indisponibilidade operacional de um navio durante sua permanência no porto devido a eventos climáticos, a literatura evidencia que o método mais recomendado para a análise de uma variável dependente dicotômica (navios afetados por interrupções devido a eventos climáticos ou não) é o modelo de regressão *Logit*.

De acordo com Greene (2017) a estimação via regressão logística permite avaliar a probabilidade de ocorrência de determinado evento com base no comportamento do vetor de variáveis explicativas. Desta forma, a variável de interesse Y tem distribuição Bernoulli em que a probabilidade do evento é dada por $\pi(x) = P(Y = 1|X)$. Devido sua natureza dicotômica a variável Y pode assumir apenas dois valores, 0 ou 1, onde 1 indica a ocorrência do evento (interrupção das operações portuárias) com probabilidade corresponde a $\pi(x)$ e 0 indica a não ocorrência do evento representada pela probabilidade $[1 - \pi(x)]$.

O modelo de regressão logística segue a seguinte expressão:

$$f(Z) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \quad (1)$$

Onde Z é definido como:

$$Z = \ln \left[\frac{\pi(x)}{1 + \pi(x)} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Na equação (2) temos o termo $\ln \left[\frac{\pi(x)}{1 + \pi(x)} \right]$ que é conhecido como *logit*, o vetor de variáveis explicativas X_n , categóricas ou contínuas, sendo $n = 1, 2, \dots, k$ e o conjunto de $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ que são os parâmetros estimados no modelo. O método de estimação dos parâmetros é o de máximo verossimilhança e permite encontrar a relevância de cada variável explicativa na probabilidade de ocorrência do evento de interesse. Logo, substituindo (2) em (1) temos que a função $f(Z)$, que pode ser interpretada como a probabilidade de ocorrência do evento, ou seja, $\pi(x)$, é representado como:

$$\pi(x) = f(Y = 1 | X_1, X_2, \dots, X_k) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \sum \beta_i X_i)}} \quad (3)$$

A partir das estimativas das probabilidades de ocorrência do evento é possível obter a razão de chance de ocorrência da interrupção das operações portuárias, “*odds ratio*” (OR), que expressam a relação entre a probabilidade de ocorrência $\pi(x)$ e a probabilidade de não ocorrência do evento $1 + \pi(x)$. Conforme a equação (4):

$$OR = \frac{\pi(x)}{1 + \pi(x)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k} \quad (4)$$

Assim, na intenção de realizar uma análise capaz de explicar as interrupções das operações portuárias a partir de um vetor X de variáveis climáticas (vento, chuva, umidade e onda) estimou-se alguns modelos estatísticos como forma de robustez, sendo eles: O modelo 1 conta com todas as informações do banco de dados durante o período analisado, e inclui as variáveis dicotômicas do clima, identificando quando estão acima da mediana e acima da média, utilizando-se a distribuição logística para a variável de interesse; O modelo 2 inclui todas as variáveis do modelo anterior, com a utilização da distribuição logística, só que os coeficientes analisados em termos de razões de chances (OR).

Com base nos desfechos provenientes do modelo global, delineado nos modelos 1 e 2, os modelos subsequentes foram calculados para os Portos Públicos e expressos em termos de *Odds Ratio* (OR). O modelo 3 foi elaborado para as mesmas variáveis prévias, com uma análise específica do recorte abrangendo os portos públicos em sua totalidade. Por outro lado, o modelo 4 e o modelo 5, seguindo o recorte para o porto público, porém foram estabelecidos para os tipos de Carga Geral e Granel Sólido, respectivamente.

Após a os modelos serem rodados e analisados, serão verificados os possíveis impactos das variáveis climáticas na atividade do porto, através de cenários extremos construídos, onde será possível identificar a probabilidade de haver uma parada na atividade portuária, mantendo todas as demais variáveis na média, e alterando apenas as variáveis climáticas, como:

- a) cenário 1 – chuvas acima da média (nas 3 localidades);
- b) cenário 2 – ventos acima da média (nas 3 localidades);
- c) cenário 3 – chuvas e ventos acima da média (nas 3 localidades).

Para realizar esta análise dos cenários, empregamos o comando *margins* após ajustar o modelo Logit. Isso permite interpretar os efeitos médios marginais das variáveis independentes (por exemplo, variáveis climáticas, de infraestrutura, etc.) sobre a probabilidade prevista da variável dependente (como a Parada da Atividade Portuária), considerando mudanças específicas nas variáveis independentes enquanto mantemos outras variáveis constantes. O desenvolvimento e análise dos modelos Logit, juntamente com a criação dos cenários, foram realizados utilizando o software Stata 15.

5 RESULTADOS

Com o propósito de elucidar as chances de ocorrer interrupções nas operações portuárias devido a condições climáticas desfavoráveis, como delineado na abordagem metodológica, foi realizado o cálculo de cinco modelos econômicos, empregando um modelo *Logit* que resultou em *Odds Ratio* (OR) para o modelo abrangente, assim como para os modelos específicos relativos aos Portos Públicos e aos diferentes tipos de cargas (Carga Geral e Granel Sólido).

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os efeitos das variáveis climáticas sobre a parada. Os dados relativos às condições climáticas acima da mediana (d1) e acima da média (d2) são destacados, visando determinar qual é a probabilidade de ocorrência de um evento climático adverso, ou seja, acima da média ou da mediana de cada variável. Essa análise busca identificar a probabilidade de inoperância (parada) da atividade portuária, particularmente relacionada às operações dos navios.

Tabela 1 - Razão de Chance de Inoperância da Atividade Portuária Diante de Condições Climáticas Adversas.

Variáveis	Geral		Porto Público		
			Total	Carga Geral	Granel Sólido
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
<i>d1mmjoiville</i>	0.483*** (0.115)	1.621*** (0.186)	1.424** (0.238)	1.777** (0.446)	1.517 (0.405)
<i>d2mmjoiville</i>	0.487*** (0.107)	1.628*** (0.175)	0.741** (0.113)	0.729 (0.206)	0.836 (0.182)
<i>d1umid_joiville</i>	-0.404*** (0.140)	0.668*** (0.0933)	0.996 (0.191)	0.754 (0.251)	1.353 (0.373)
<i>d2umid_joiville</i>	-0.0392 (0.140)	0.962 (0.135)	1.091 (0.214)	1.228 (0.404)	0.944 (0.265)
<i>d1vmax_joiville</i>	0.344*** (0.120)	1.410*** (0.169)	1.597*** (0.263)	1.214 (0.345)	2.141*** (0.504)
<i>d2vmax_joiville</i>	-0.332*** (0.118)	0.718*** (0.0848)	0.926 (0.150)	0.711 (0.198)	0.975 (0.222)
<i>d1mm_barra</i>	0.223** (0.112)	1.250** (0.141)	1.192 (0.194)	1.175 (0.283)	1.378 (0.359)
<i>d2mm_barra</i>	0.454*** (0.106)	1.574*** (0.168)	1.487*** (0.216)	2.311*** (0.635)	1.548** (0.330)
<i>d1umid_barra</i>	-0.240 (0.188)	0.787 (0.148)	1.201 (0.288)	0.829 (0.422)	1.056 (0.345)

Variáveis	Geral		Porto Público		
	Modelo 1	Modelo 2	Total	Carga Geral	Granel Solido
			Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
<i>d2umid_barra</i>	0.294 (0.189)	1.342 (0.254)	1.078 (0.258)	1.333 (0.648)	1.223 (0.410)
<i>d1vmax_barra</i>	0.203 (0.211)	1.224 (0.258)	1.094 (0.289)	1.048 (0.465)	0.970 (0.354)
<i>d2vmax_barra</i>	-0.380* (0.210)	0.684* (0.143)	1.027 (0.269)	0.804 (0.361)	1.067 (0.389)
<i>d1mm_itapoa</i>	0.151 (0.102)	1.163 (0.118)	1.202 (0.181)	1.581* (0.371)	1.335 (0.302)
<i>d2mm_itapoa</i>	0.00655 (0.111)	1.007 (0.112)	0.733** (0.112)	0.820 (0.208)	0.604** (0.132)
<i>d1umid_itapoa</i>	0.356 (0.257)	1.427 (0.366)	1.241 (0.414)	0.231 (0.239)	1.874 (0.837)
<i>d2umid_itapoa</i>	-0.379 (0.257)	0.685 (0.176)	0.879 (0.289)	3.473 -3.560	0.601 (0.262)
<i>d1vmax_itapoa</i>	-0.192 (0.352)	0.825 (0.290)	0.746 (0.309)	0.754 (0.569)	0.930 (0.522)
<i>d2vmax_itapoa</i>	-0.0131 (0.352)	0.987 (0.347)	1.428 (0.588)	1.042 (0.790)	1.145 (0.641)
<i>d1hs_medEst</i>	0.0762 (0.298)	1.079 (0.321)	1.009 (0.395)	0.585 (0.329)	1.733 (0.921)
<i>d2hs_medEst</i>	-0.0366 (0.298)	0.964 (0.287)	1.133 (0.445)	2.080 (1.171)	0.598 (0.319)
<i>d_ano2</i>	-0.120 (0.117)	0.887 (0.104)	0.954 (0.154)	0.592** (0.152)	1.756** (0.412)
<i>d_ano3</i>	0.0654 (0.119)	1.068 (0.127)	1.098 (0.184)	1.612* (0.449)	1.266 (0.308)
<i>d_ano4</i>	0.111 (0.125)	1.117 (0.139)	0.909 (0.164)	1.341 (0.405)	1.142 (0.297)
<i>Constant</i>	-1.332*** (0.115)	0.264*** (0.0303)	0.504*** (0.0883)	1.351 (0.366)	0.143*** (0.0390)
Observações	4.332	4.332	1.811	852	951

NOTA: Níveis de significância dos parâmetros de *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0$. Desvio Padrão entre parênteses.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados do estudo.

Os resultados do primeiro modelo, revelam as variáveis que estão associadas à interrupção das operações portuárias sem recortes no banco de dados, representando um modelo global do estudo. Verifica-se que níveis de precipitação acima da mediana e da média em Joinville (11,8 mm e 39 mm) e Barra (4,8 mm e 17,5 mm) estão correlacionados com um aumento na probabilidade de paralisação nos portos de São Francisco do Sul e Itapoá, bem como, ventos máximos acima da mediana em Joinville (7,9 km/h). Contudo, o tamanho desse efeito não pode ser deduzido diretamente a partir do modelo 1. No entanto, o segundo modelo, empregando *Odds Ratio* (OR), nos permite quantificar esse resultado.

Portanto, observa-se que a ocorrência de chuvas acima da mediana e da média em Joinville aumenta a probabilidade de paralisação nos portos analisados em cerca de 62%. Quando essas chuvas acima da mediana são identificadas na localidade da Barra, a probabilidade de paralisação aumenta em 25%, enquanto acima da média o aumento é de aproximadamente 57%.

Outra variável relevante para o aumento da probabilidade de paralisação portuária é a ocorrência de ventos máximos acima da mediana em Joinville, que está associada a

um incremento de cerca de 41% nessa probabilidade. As demais informações relacionadas aos ventos não apresentam significância estatística ou até mesmo sugerem uma relação inversa, reduzindo a chance de paralisação.

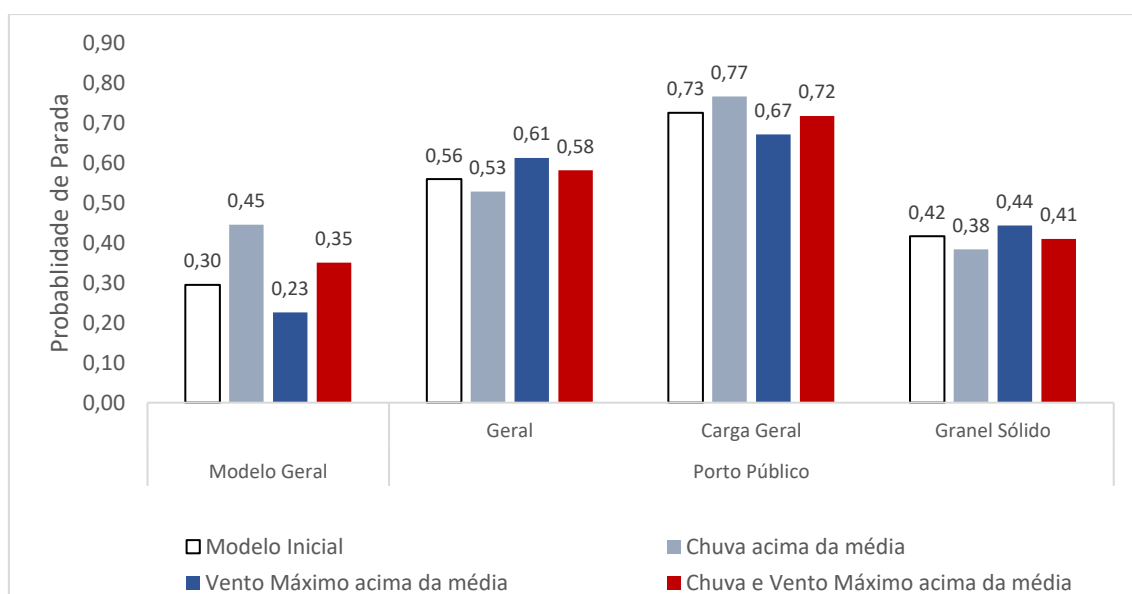
Após analisar os resultados do segundo modelo (Geral), foram desenvolvidos modelos subsequentes com um foco específico nas influências sobre o Porto Público. Ao examinar as conclusões desses modelos derivados, emerge a constatação de que a ocorrência de chuvas acima da mediana em Joinville possui um papel significativo no aumento da probabilidade de interrupção das operações portuárias. Essa probabilidade aumenta em aproximadamente 42% para o Porto Público em geral e em 77% especificamente para o segmento de Carga Geral.

Da mesma forma, a presença de chuvas acima da média na Barra também manifesta um efeito positivo sobre a probabilidade de paralisação, tanto para o Porto Público em geral quanto para os dois tipos de carga analisados, ou seja, Carga Geral e Granel Sólido. É particularmente notável o impacto sobre o segmento de Carga Geral, onde os resultados indicam um aumento de mais de 130% na probabilidade de parada.

Em consonância com os padrões observados no modelo abrangente, a influência do vento máximo segue uma trajetória similar. Para o Porto Público, os resultados sugerem que a ocorrência de ventos máximos acima da mediana em Joinville está associada a um aumento de cerca de 59% na probabilidade de paralisação. Ao considerar o tipo de carga de granel sólido, a análise revela um incremento de 114% na probabilidade de parada em situações similares. Outras conclusões relacionadas a essa variável não atingiram níveis estatisticamente significativos.

A partir dos resultados gerados e analisados, pôde ser verificado os possíveis impactos das variáveis climáticas nas atividades portuárias através de 03 cenários extremos construídos, onde percebe-se a mudança de probabilidade de correr uma parada devido as mudanças de cenário.

Figura 2 – Mudanças na Probabilidade de Ocorrência de Parada nas Atividades Portuárias Devido a Eventos Climáticos Extremos - Cenários.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados do estudo.

Conforme exemplificado na Figura 2, as probabilidades de ocorrência de interrupções nas atividades portuárias, considerando o modelo geral sem distinção de tipos de portos e cargas, demonstram valores menores em comparação com os recortes

mais específicos do modelo, que consideram diferentes tipos de portos e cargas. No modelo inicial, a probabilidade de interrupção é de 30%. No entanto, essa probabilidade aumenta para 45% em cenários de chuvas acima da média e para 35% quando há simultaneidade de ventos e chuvas acima da média. Estes resultados destacam a influência significativa da aplicação de diferentes cenários sobre as probabilidades estimadas de parada das atividades portuárias.

Outro aspecto relevante ao analisar os cenários é a importância de considerar as características específicas do porto e das cargas. Essa consideração foi identificada nos modelos analisados anteriormente e se reforça nos resultados apresentados na Figura 2. Torna-se evidente que as maiores probabilidades de interrupção das atividades devido a eventos climáticos extremos (acima da média) nos portos analisados estão associadas às cargas gerais em portos públicos. No modelo inicial, a probabilidade de interrupção é de 73%. No entanto, em condições de chuvas acima da média em todas as três localidades simultaneamente, essa probabilidade aumenta para 77%. Da mesma forma, a ocorrência simultânea de ventos máximos acima da média resulta em uma probabilidade de interrupção de 67%. Estes resultados ressaltam a importância da análise contextualizada das características específicas dos portos e das condições climáticas na avaliação dos riscos associados às atividades portuárias.

Em resumo, essa análise reforça a importância das condições climáticas, em particular chuvas e ventos nas regiões portuárias de São Francisco do Sul/SC e Itapoá/SC, como fatores determinantes na operação portuária e na probabilidade de sua interrupção. Os resultados fornecem uma base sólida para a tomada de decisões informadas na gestão e planejamento dessas atividades, permitindo que as partes interessadas adotem medidas proativas para mitigar os impactos adversos e garantir um funcionamento mais eficiente e resiliente dos portos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas têm se mostrado uma preocupação crescente em escala global devido aos seus impactos significativos em diversos setores, incluindo a atividade portuária. Os portos desempenham um papel fundamental no transporte e comércio globais, tornando-se suscetíveis aos efeitos adversos das alterações climáticas, como tempestades intensas, elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos. Esses fenômenos podem resultar em interrupções operacionais e perdas econômicas substanciais para o sistema portuário global, ampliando os desafios enfrentados por essa infraestrutura crucial.

No contexto específico dos portos de São Francisco do Sul e Itapoá, localizados em Santa Catarina, Brasil, este estudo se propôs a investigar os impactos dos eventos climáticos extremos na probabilidade de interrupções operacionais. Os resultados obtidos destacam a influência direta das condições climáticas, especialmente chuvas intensas e ventos fortes, na probabilidade de parada das atividades portuárias. A análise revelou que eventos como chuvas acima da mediana e da média em localidades como Joinville e Barra estão fortemente associados a um aumento substancial na probabilidade de interrupção, ressaltando a importância da localização geográfica e intensidade das variáveis climáticas na avaliação dos riscos portuários.

Além da identificação dos fatores climáticos mais impactantes, este estudo também quantificou os efeitos dessas variáveis por meio de modelos estatísticos, como o modelo Logit. Os resultados indicaram que a presença de chuvas acima da mediana em Joinville

aumenta a probabilidade de interrupção em aproximadamente 62%, enquanto nas localidades da Barra, os aumentos foram de 25% e 57% para chuvas acima da mediana e da média, respectivamente. Da mesma forma, a ocorrência de ventos máximos acima da mediana em Joinville mostrou um efeito positivo, elevando a probabilidade de paralisação em cerca de 41%.

Os resultados também destacaram a importância de considerar as características específicas dos portos e das condições climáticas ao analisar os riscos associados às atividades portuárias. Em particular, observou-se que as cargas gerais em portos públicos são mais suscetíveis a interrupções devido a eventos climáticos extremos. Por exemplo, a probabilidade de interrupção inicialmente estimada em 73% pode aumentar para 77% com chuvas acima da média em todas as localidades analisadas simultaneamente, e para 67% com a ocorrência simultânea de ventos máximos acima da média.

A complexidade das relações entre as variáveis climáticas e a probabilidade de interrupções nas operações portuárias ressalta a necessidade de abordagens holísticas e orientadas por dados na gestão portuária. Compreender os padrões climáticos específicos e seus impactos locais é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de adaptação e mitigação. Nesse sentido, este estudo contribui significativamente ao fornecer *insights* detalhados sobre os fatores climáticos críticos que afetam os portos de São Francisco do Sul e Itapoá, permitindo a formulação de medidas proativas para garantir a resiliência e sustentabilidade das atividades portuárias frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório de Gestão 2022**. Disponível em: https://www.gov.br/antq/pt-br/aceso-a-informacao/prestacao_de_contas/relatorio-de-gestao/relatorio_de_gestao_2022__v-final.pdf . Acesso em: 22/04/2024. Brasília, abril de 2023

ANTAQ. **Desempenho Portuário 2021: Anuário estatístico**. Disponível em: <https://abtra.sharepoint.com/sites/Dados/Documentos/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FDados%2FDocumentos%2FAdministra%C3%A7%C3%A3o%2FInfoporto%2F2022%2FCom%C3%A9rcio%20exterior%2FAnu%C3%A1rio%20ANTAQ%202021%2Epdf&parent=%2Fsites%2FDados%2FDocumentos%2FAdministra%C3%A7%C3%A3o%2FInfoporto%2F2022%2FCom%C3%A9rcio%20exterior&p=true&ga=1>. Acesso em: 20/04/2024.

ANTAQ. **Impactos e riscos da mudança do clima nos portos públicos costeiros brasileiros**. Brasília: Brasil. 2021.

Balta, Y., & Günaydın, M. **Impact of climate change on port operations: A review**. *Journal of Cleaner Production*, 228, 489-500. 2019.

Becker, A., Acciaro, M., Asariotis, R., Carera, E., Cretegnny, L., Crist, P., Velegrakis, A. F. **A note on climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society**. *Climatic Change*, 120, 683–695. 2013.

Becker, A., Matson, P., Fischer, M., & Mastrandrea, M. **Towards seaport resilience for climate change adaptation: Stakeholder perceptions of hurricane impacts in Gulfport (MS) and Providence (RI)**. *Progress in Planning*, 99, 1–49. (2014).

- Becker, A., Inglis, A., Fisher, R., Spencer, M., & Almeida, L. Climate Change and Coastal Infrastructure: A Review of Current Practices for Port Adaptation. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(36), 46. 2018.
- CAMPORT Las marejadas llegaron para quedarse. ¿Qué estamos haciendo? 2021. Disponível em: <https://www.camport.cl/informe-marejadas-y-su-impacto-en-los-puertos/>. Acesso em: 16 de ago. 2023.
- Cao, Xinhui; Lam, Jasmine Siu Lee. **Simulation-based severe weather-induced container terminal economic loss estimation**. *Maritime Policy & Management*, v. 46, n. 1, p. 92-116, 2019.
- Christodoulou, A., & Demirel, H. **Impacts of climate change on transport. A Focus on Airports**. Seaports, and Inland Waterways. 2018.
- Chatterton, J., Clarke, C., Daly, E., Dawks, S., Elding, C., Fenn, T., Salado, R. **The costs and impacts of the winter 2013 to 2014 floods**. Report SC140025, 1. 2016.
- Confederação Nacional do Transporte (CNT). Anuário CNT do transporte. Estatísticas consolidadas 2019 Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/6e8e6f35-2105-4151-82f3-5eb0300e0b25.pdf>. Acesso em: 21/04/2024.
- Greene, W. H. **Econometric Analysis**, Global Edition. Pearson Education Canada, 2017.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), E2415-E2423. 2012.
- Haveman, JD; Shatz, HJ. **Protecting the nation's seaports: Balancing security and cost**. (2006).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. ISBN 978-92-9169-143-2.
- Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. **Climate change risk to global port operations**. *Nature Climate Change*, 11(1), 14-20.2021.
- Marengo, José A. **Climate change and Extreme Events in Brazil**. *Revista USP*, n. 103, p. 25-32, 2014.
- Masozera, M., Bailey, M., & Kerchner, C. (2007). **Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case study of New Orleans**. *Ecological Economics*, 63(2-3), 299–306. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.06.013.
- Messner, S., Moran, L., Reub, G., & Campbell, J. **Climate change and sea level rise impacts at ports and a consistent methodology to evaluate vulnerability and risk**. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 169. ENVIRON International Corp, USA.2013.
- Ng, A. K. Y., Chen, S.-L., Cahoon, S., Brook, B., & Yang, Z. **Climate change and the adaptation strategies of ports: The Australian experiences**. *Research in Transportation Business & Management*.2013.
- Verschuur, J., Koks, E. E., Li, S., & Hall, J. W. **Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses**. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 5. 2023.
- Winckler, P., Esparza, C., Mora, J., Melo, O., Bambach, N., Contreras-López, M., & Sactic, M. I. **Impacts in ports on a tectonically active coast for climate-driven projections under the RCP 8.5 scenario: 7 Chilean ports under scrutiny**. *Coastal Engineering Journal*, 64(3), 387-405. 2022.

Wang, X., Yuan, J., & Deng, S. Effects of Climate Change on Port Operations: A Review. *Journal of Coastal Research*, 85(sp1), 1311-1315. doi:10.2112/SI85-263.. 2018

Xia, W., Mishra, J., & Adulyasak, Y. **Seaport adaptation and capacity investments under inter-port competition and climate-change uncertainty.** *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 130, 104183. ISSN 1361-9209. (2024).

Yang, Z., et al. **Avaliação de riscos e custos de medidas de adaptação portuária aos impactos das alterações climáticas.** *Transporte. Res. Parte D* .2017.