

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Departamento de Economia
Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados



Tese

**Cabotagem no Brasil: Análise Estrutural e Avaliação dos Impactos
Econômicos e Ambientais da Lei BR do Mar**

Carolina de Lima Simões

Pelotas, 2025

Carolina de Lima Simões

**Cabotagem no Brasil: Análise Estrutural e Avaliação dos Impactos
Econômicos e Ambientais da Lei BR do Mar**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia.

Orientador: Dr. Gabrielito Rauter Menezes
Coorientador: Dr. Rodrigo da Rocha Gonçalves
Coorientador: Dr. Cícero Zanetti de Lima

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S593c Simões, Carolina de Lima

Cabotagem no Brasil [recurso eletrônico] : análise estrutural e avaliação dos impactos econômicos e ambientais da Lei BR do Mar / Carolina de Lima Simões ; Gabrielito Menezes, orientador ; Rodrigo da Rocha Gonçalves, Cícero Zanetti de Lima, coorientadores. — Pelotas, 2025.

142 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Cabotagem. 2. Transporte. 3. BR do Mar. 4. Redes Complexas. 5. Equilíbrio Geral Computável. I. Menezes, Gabrielito, orient. II. Gonçalves, Rodrigo da Rocha, coorient. III. Lima, Cícero Zanetti de, coorient. IV. Título.

CDD 330

Carolina de Lima Simões

**Cabotagem no Brasil: Análise Estrutural e Avaliação dos Impactos
Econômicos e Ambientais da Lei BR do Mar**

**Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor(a) em
Economia, Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados,
Universidade Federal de Pelotas.**

Data da Defesa: 31/03/2025

Banca examinadora:

**Prof. Dr. Gabrielito Rauter Menezes (Orientador) - UFPEL
Doutor em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Prof. Dr. Rodrigo Nobre Fernandez - UFPEL
Doutor em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Prof. Dr. Márcio Nora Barbosa - FURG
Doutor em Economia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos**

Agradecimentos

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão à minha família, especialmente ao meu marido e aos meus filhos, Gustavo e Pedro Henrique, por estarem ao meu lado durante toda essa jornada, sempre me incentivando e apoiando.

Ao meu orientador, professor Gabrielito Rauter Menezes, registro meu sincero agradecimento pelo acolhimento, pela disponibilidade, pela motivação constante e pelos valiosos conselhos, além da amizade construída ao longo desses anos.

Também sou muito grata ao meu coorientador, professor Rodrigo da Rocha Gonçalves, por me incentivar a ingressar no doutorado na UFPEL e por compartilhar seus conhecimentos comigo.

Da mesma forma, agradeço ao professor Cícero Zanetti de Lima por sua dedicação e por transmitir seus ensinamentos.

Ao professor Mario Canever, minha gratidão pelo acolhimento no projeto "Avaliação do Impacto da Taxação de Bebidas Adoçadas no Brasil", que contribuiu significativamente para meu aprendizado no início do curso.

Agradeço também ao Greike Aguiar pelo auxílio essencial na metodologia de Redes.

Sou grata aos professores do Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados da Universidade Federal de Pelotas (PPGOM/UFPEL) pelos ensinamentos e pela recepção ao longo do curso.

Por fim, agradeço ao Instituto Cátedra Escolhas pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa, que foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Resumo

Simões, Carolina de Lima. **Cabotagem no Brasil: Análise Estrutural e Avaliação dos Impactos Econômicos e Ambientais da Lei BR do Mar**. Orientador(a): Gabrielito Rauter Menezes. 2025. 142 f. Tese (Doutorado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Organizações e Mercados, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

Esta tese tem como objetivo analisar a navegação de cabotagem no Brasil sob duas abordagens complementares: a estrutura da rede logística e os impactos econômicos e ambientais da política pública instituída pela Lei nº 14.301/2022 (BR do Mar). Na primeira etapa, emprega-se a teoria das redes complexas para avaliar a conectividade entre os portos brasileiros, com base em indicadores topológicos aplicados aos fluxos marítimos de curta distância. Os resultados indicam a existência de uma rede densa, porém concentrada, com predominância de alguns hubs logísticos, o que sugere a necessidade de ampliação da capilaridade portuária. Na segunda etapa, utiliza-se a metodologia de Equilíbrio Geral Computável (EGC), por meio do modelo multirregional e multissetorial Brazilian Economic Analysis (BREA), para simular cenários de aumento da produtividade da cabotagem (5%, 15% e 30%). Os efeitos estimados abrangem o PIB, o bem-estar da população, o consumo, a produção setorial, as emissões de CO₂ e a oferta de transporte inter e intrarregional. Os resultados demonstram ganhos econômicos moderados, redução de desigualdades regionais e diminuição das emissões em regiões dependentes do modal rodoviário. A análise de sensibilidade confirma a robustez dos resultados. A tese contribui ao integrar metodologias de redes e de simulação econômica, oferecendo evidências empíricas para o aprimoramento das políticas públicas de transporte e logística no Brasil.

Palavras – Chave: Cabotagem; Transporte; BR do Mar; Redes Complexas; Equilíbrio Geral Computável.

Abstract

Simões, Carolina de Lima. **Cabotage in Brazil: Structural Analysis and Assessment of the Economic and Environmental Impacts of the BR do Mar Law**. Advisor: Gabrielito Rauter Menezes. 2025. 142 f. Thesis (PhD in Economics) – Postgraduate Program in Organizations and Markets, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

This dissertation aims to analyze coastal shipping (cabotage) in Brazil through two complementary approaches: the structure of the maritime logistics network and the economic and environmental impacts of public policy established by Law No. 14.301/2022 (BR do Mar). In the first part, complex network theory is applied to evaluate the connectivity among Brazilian ports, using topological indicators based on short-distance maritime flows. The results reveal a dense but highly concentrated network, dominated by key logistical hubs, highlighting the need for improved port decentralization. In the second part, a Computable General Equilibrium (CGE) model is employed—specifically the multiregional and multisectoral Brazilian Economic Analysis (BREA) model—to simulate productivity increase scenarios in cabotage (5%, 15%, and 30%). The estimated impacts include changes in GDP, welfare, household consumption, sectoral output, CO₂ emissions, and regional transport supply. The findings indicate moderate economic gains, regional inequality reduction, and significant emission decreases in areas heavily reliant on road freight. Sensitivity analysis confirms the robustness of the results. This dissertation contributes by integrating network analysis with economic modeling, offering empirical evidence to support the development of more effective and sustainable transport policies in Brazil.

Keywords: Cabotage; Transport; BR do Mar; Complex Networks; Computable General Equilibrium.

Lista de Figuras

Figura 1: Portos Organizados Brasileiros.	20
Figura 2: Mapa de fluxo de transporte por Cabotagem – 2021.	30
Figura 3: Rede Marítima da Cabotagem Brasileira entre portos organizados, 2016-2022.	47
Figura 4: Portos da navegação de cabotagem.	63
Figura 5: Fluxograma da metodologia proposta.	74
Figura 6: Regiões do BREA.	75
Figura 7: Estrutura Econômica do modelo BREA.	77
Figura 8: Tecnologia de transporte no modelo BREA.	78
Figura 9: Consumo das famílias no modelo BREA.	79
Figura 10: Consumo intermediário no modelo BREA.	80
Figura 11: Estrutura dos setores de produção do modelo BREA.	82
Figura 12: Estrutura dos setores de produção do modelo BREA com o setor de transportes.	83
Figura 13: Resultados esperados com o BR do Mar.	91

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Evolução das principais mercadorias movimentadas em 2016-2022 no Porto de Santarém (milhões de toneladas).....	22
Gráfico 2: Principais mercadorias movimentadas nos portos públicos (toneladas) 2016 -2022.....	23
Gráfico 3: Movimentação por tipo de Instalação Portuária (toneladas).....	27
Gráfico 4: Evolução da Movimentação de Cabotagem (milhões de toneladas) – Perfil de carga.....	28
Gráfico 5: Principais mercadorias movimentadas na Cabotagem (toneladas) 2016-2022.....	29
Gráfico 6: Emissão de dióxido de carbono – Setor transporte (% participação).....	71
Gráfico 7: Taxa de crescimento médio acumulado 2016-2019 (%)......	88
Gráfico 8: Comparação de resultados do PIB.....	89
Gráfico 9: Variação das emissões de CO ₂ e no setor de Transportes no experimento 3.....	109

Lista de Tabelas

Tabela 1: Principais Portos Públicos em Movimentação.	21
Tabela 2: Principais Instalações portuárias na movimentação de Contêineres na cabotagem (TEU) – 2022.	31
Tabela 3: Matriz origem e destino da movimentação de cargas via cabotagem entre portos organizados de 2016 a 2022 - Gephi 0.10.1.	46
Tabela 4: Índices para a Rede Marítima Geral e centralidade dos vértices que mais se destacaram.	49
Tabela 5: Cenários simulados com base nas propostas da lei BR do Mar.	90
Tabela 6: Variações no Bem-Estar.	92
Tabela 7: Variações no PIB real.	95
Tabela 8: Efeitos sobre os componentes do PIB pela ótica da demanda.	97
Tabela 9: Variação da produção nos setores nas regiões brasileiras.	100
Tabela 10: Variação percentual da oferta de cabotagem em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.	104
Tabela 11: Variação percentual da oferta de cabotagem inter-regional em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.	105
Tabela 12: Variação percentual da oferta total de cabotagem (regional e inter-regional) em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.	107
Tabela 13: Análise de sensibilidade do PIB Real.	112
Tabela 14: Análise de sensibilidade dos componentes do PIB.	113
Tabela 15: Análise de sensibilidade do Bem-estar.	115
Tabela A 1: Comparação entre os modais, segundo indicadores de eficiência.	119
Tabela A 2: Variação das emissões de CO2e nos setores do BREA.	119

Sumário

1. Introdução Geral.....	10
2. Redes de transporte marítimo no Brasil: uma análise da conectividade dos portos.....	12
2.1. Introdução	14
2.2. Estrutura portuária brasileira e as Redes marítimas	16
2.3. Metodologia.....	38
2.4. Resultados	46
2.5. Considerações Finais.....	51
3. Cabotagem no Brasil e seus Efeitos Econômicos e Ambientais: Uma Análise com Modelo de Equilíbrio Geral Computável.....	54
3.1. Introdução	56
3.2. Cabotagem e seus desdobramentos ambientais	61
3.3. Emissão de poluentes	68
3.4. Metodologia.....	71
3.5. Resultados	91
3.6. Considerações Finais.....	116
Anexos	119
4. Considerações finais	121
Referências	124

1.Introdução Geral

O sistema de transporte exerce papel estratégico no desenvolvimento econômico e social dos países, uma vez que viabiliza o escoamento da produção, a integração regional e a conexão com os mercados globais. No caso brasileiro, as dimensões continentais do território, aliadas à significativa concentração populacional e industrial na faixa litorânea, conferem à navegação de cabotagem um papel essencial na construção de uma matriz de transportes mais eficiente, equilibrada e sustentável. No entanto, apesar da extensa costa marítima e do expressivo volume de cargas transportadas por via marítima, o Brasil ainda apresenta elevado grau de dependência do modal rodoviário, cuja predominância está associada a altos custos logísticos, elevados níveis de emissão de poluentes e baixa eficiência energética.

Diante desse cenário, observa-se um crescente interesse, tanto acadêmico quanto governamental, pelo fortalecimento da navegação de cabotagem. Nesse contexto, a Lei nº 14.301/2022, conhecida como BR do Mar, foi sancionada com o objetivo de incentivar o uso desse modal, promovendo maior oferta de transporte, aumento da concorrência, redução de custos e estímulo à intermodalidade. Essa política pública tem como premissa central a valorização do transporte marítimo de curta distância como alternativa mais eficiente e sustentável ao modal rodoviário, com potenciais efeitos positivos sobre a economia, a logística e o meio ambiente.

A presente tese insere-se nesse debate ao propor uma abordagem metodológica inovadora para o estudo da cabotagem no Brasil, combinando ferramentas da teoria das redes complexas e de modelos de equilíbrio geral computável (EGC). Na primeira etapa do trabalho, é realizada uma análise da estrutura da rede de transporte marítimo por cabotagem, com base na conectividade entre os portos brasileiros. A partir do uso de indicadores topológicos, busca-se compreender a organização da rede logística, identificar os principais *hubs* e avaliar o grau de concentração ou dispersão das conexões marítimas, fornecendo subsídios para o planejamento de políticas portuárias e logísticas mais eficientes.

Na segunda etapa, avaliam-se os impactos econômicos e ambientais da Lei BR do Mar por meio do modelo *Brazilian Economic Analysis* (BREA), com estrutura multirregional e multissetorial. São simulados diferentes cenários de aumento da

produtividade da cabotagem (5%, 15% e 30%), com o objetivo de estimar os efeitos sobre o Produto Interno Bruto (PIB), o bem-estar da população, o consumo das famílias, a produção setorial, as emissões de CO₂ e a oferta de transporte, tanto regional quanto inter-regional. A robustez dos resultados é avaliada por meio de análise de sensibilidade com diferentes valores de elasticidade.

Ao integrar essas duas abordagens — uma estrutural, voltada à conectividade da rede portuária, e outra macroeconômica, voltada aos efeitos agregados e distributivos de políticas públicas —, esta tese oferece uma contribuição original à literatura sobre logística, transporte marítimo e desenvolvimento regional. A análise em redes complexas permite compreender a lógica espacial e funcional da cabotagem no Brasil, enquanto a simulação dos impactos da BR do Mar via modelo EGC permite quantificar seus efeitos econômicos e ambientais de forma desagregada por setor e região.

Além de contribuir para a compreensão dos impactos da cabotagem na economia brasileira, o trabalho fornece evidências empíricas para o desenho de políticas públicas mais eficazes, que promovam uma matriz de transportes mais equilibrada e integrada. Ao evidenciar os benefícios econômicos, logísticos e ambientais da cabotagem, bem como suas assimetrias regionais, a tese reforça a necessidade de estratégias específicas para regiões menos conectadas ao modal marítimo, como o Centro-Oeste, e aponta caminhos para uma transição logística mais eficiente, sustentável e inclusiva.

Portanto, esta pesquisa se justifica tanto pela relevância do tema no contexto das políticas públicas de infraestrutura e transporte, quanto pela escassez de estudos que combinem análise de rede e simulação econômica em escala regional. Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento na área e oferecem subsídios para o aperfeiçoamento da política BR do Mar, reafirmando o papel da cabotagem como elemento-chave para o desenvolvimento logístico e socioeconômico do Brasil.

2. Redes de transporte marítimo no Brasil: uma análise da conectividade dos portos

Resumo

O transporte é essencial para o desenvolvimento socioeconômico do Brasil, promovendo a conectividade entre diversos setores, a mobilidade de pessoas, insumos e bens, além de ampliar o acesso a mercados. A navegação de cabotagem desempenha um papel fundamental no escoamento de cargas ao longo do território brasileiro e na busca por uma matriz de transportes mais equilibrada. Este artigo aplica a teoria de redes complexas ao transporte aquaviário, com foco específico no modal de cabotagem. Foi elaborada uma matriz da cabotagem brasileira para o período de 2016 a 2022, possibilitando a identificação de diversas métricas de redes, como grau, coeficiente de aglomeração e intermediação. Verificou-se que os portos de Santos (SP) e Suape (PE) apresentam os maiores graus de entrada e saída, consolidando-se como *hubs* da cabotagem brasileira. Os resultados indicam um excesso de movimentação de cargas nos *hubs* e um grande número de portos com baixa movimentação. Em linhas gerais, o estudo evidencia a necessidade de políticas públicas voltadas para uma maior participação de portos com menor movimentação, o que contribuiria para dinamizar as economias regionais e melhorar a competitividade logística nacional. Portanto, é crucial realizar uma análise atualizada da cabotagem no Brasil e de seu progresso, de modo a orientar políticas públicas e fornecer uma base técnica para decisões que estimulem e expandam o uso desse modal.

Palavras chaves: Portos, Redes, Conectividade.

Abstract

Transportation is essential for the socioeconomic development of Brazil, as it promotes connectivity across various sectors, facilitates the mobility of people, inputs, and goods, and expands market access. Cabotage plays a crucial role in moving goods along the Brazilian territory and achieving a more balanced transportation matrix. This article applies complex network theory to maritime transportation, specifically focusing on the cabotage sector. A Brazilian Cabotage Matrix for the period 2016 to 2022 was developed, allowing for the identification of various network metrics, such as degree, clustering coefficient, and betweenness. It was found that the ports of Santos (SP) and Suape (PE) have the highest degrees of entry and exit within the network, establishing themselves as the main *hubs* of Brazilian cabotage. The results also indicate an excessive concentration of cargo movement in these *hubs* and a significant number of ports with low cargo volumes. Overall, the study demonstrates the need for public policies aimed at increasing the participation of ports with lower volumes, thereby fostering regional economic dynamism and enhancing national logistics competitiveness. Therefore, it is crucial to conduct an updated analysis of Brazilian cabotage and its progress to guide public policies and provide a technical basis for decisions aimed at stimulating and expanding the use of this mode.

Keywords: Ports, Networks, Connectivity.

2.1. Introdução

O transporte é imprescindível para o desenvolvimento socioeconômico do país, promovendo a conectividade entre diversos setores e agentes econômicos, viabilizando a mobilidade de pessoas, insumos e bens e ampliando o acesso a mercados. A promoção de sua eficiência, fluidez e alcance contribui para a construção de uma base sólida para a retomada do crescimento e desenvolvimento econômico, especialmente para um país de dimensões continentais, como o Brasil (CNT, 2022).

Dessa forma, o alto nível de crescimento econômico, a rápida urbanização, o aumento da renda disponível, a diversificação das atividades sociais e de lazer, o rápido crescimento do número de veículos particulares e a distribuição desigual de materiais e recursos energéticos aumentam a demanda por transporte (NICOLAU *et al.*, 2020; SABOORI *et al.*, 2014). A partir da necessidade de transportar as produções surgem os modos de transporte, dependendo da localização esse transporte terá que ser feito por terra, ar ou água. Para o transporte de cargas, esses modais são classificados em cinco categorias: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aeroviário.

O transporte aquaviário pode ser definido como aquele que movimenta cargas e/ou passageiros por meio de embarcações (tais como navios e barcas) utilizando-se, como “vias”, os corpos d’água: oceanos, mares, rios, lagos, lagoas e canais artificiais (CNT, 2019A). O mar é como uma grande rodovia que liga os continentes, visto que, diferentemente das rotas terrestres, não possui condições geográficas consideradas obstáculos, ou seja, é simplesmente uma planície aberta que permite o acesso a todas as direções do globo (FERREIRA *et al.*, 2020). O Brasil destaca-se por possuir 8,5 mil quilômetros de costa navegável, 19,5 mil quilômetros de hidrovias economicamente navegáveis e cerca de 58% da população concentrada em uma faixa de até 200 quilômetros do litoral (CNT, 2018). Somado a esse perfil, existem centenas de instalações portuárias, públicas ou privadas, localizadas ao longo da costa demonstrando o imenso potencial marítimo brasileiro (ANTAQ, 2022A).

Essas características geográficas e espaciais são bastante favoráveis ao desenvolvimento do transporte aquaviário, mas o potencial brasileiro não tem sido

devidamente explorado (CNT, 2019). Já que, atualmente, a matriz de transporte brasileira apresenta um desequilíbrio entre os seus diversos modais, apresentando muita dependência do transporte rodoviário (EPL, 2015). Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), enquanto o modal rodoviário é responsável por cerca de 64,9% de todas as cargas transportadas no país, o modal aquaviário responde por apenas 15,72%, do volume transportado no país (CNT, 2023).

Em relação à operação do transporte aquaviário, de acordo com as características geográficas da via utilizada, têm-se o transporte hidroviário (também denominado de navegação interior, transporte fluvial, transporte lacustre) e o transporte marítimo (CNT, 2019A). A navegação marítima engloba a navegação de longo curso, realizada entre países, e a navegação de cabotagem, realizada entre portos ou pontos do território nacional, utilizando vias marítimas ou uma combinação de vias marítimas e hidrovias navegáveis (CNT, 2019).

Sendo assim, a navegação de cabotagem é de extrema importância para o escoamento de cargas ao longo do território brasileiro, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país e para a obtenção de uma matriz de transportes mais equilibrada (ANTAQ, 2022A). Em 2022, foi responsável pelo transporte de 205.553.702 milhões de toneladas de cargas, deste montante aproximadamente 77,6% são correspondentes a petróleo e derivados e 9% de contêineres, equivalentes a 1,870 milhões de contêineres transportados (ANTAQ, 2023).

Desse modo, a cabotagem é um modal cada vez mais utilizado dentro do país (ABAC, 2020). Isso vem, principalmente, devido as grandes vantagens apresentadas quando comparadas aos outros modais, entre elas as reduções do consumo energético por toneladas por quilômetro útil (TKU); redução de caminhões nas estradas, que resulta na minimização de impactos ambientais (redução de emissões de poluentes, de ruídos, de acidentes rodoviários e dos custos de manutenção das estradas); aumento da segurança da carga (menor risco de roubos e desvios de carga, quando comparado com o transporte nas rodovias); e prática de menor frete (em torno de 30%), contribuindo com a redução do custo Brasil (QUINTELLA; SUCENA, 2020).

Nesse sentido, torna-se essencial elaborar um panorama recente da cabotagem no Brasil e sua evolução, com o objetivo de direcionar as políticas

públicas e embasar tecnicamente as tomadas de decisões voltadas para o incentivo e a ampliação do uso desse modal. Por isso, visando contribuir para o contexto nacional e a literatura empírica, este artigo tem como objetivo inferir análises estatísticas por meio da construção de uma rede marítima da cabotagem brasileira e mapear o cenário atual dessa atividade, estabelecendo um panorama recente propício para tomadas de decisões mais assertivas e adequadas às demandas do modal de cabotagem no Brasil.

Com o propósito de analisar a estrutura portuária brasileira e o transporte de cabotagem, este estudo foi organizado em cinco seções. A introdução apresenta a motivação e os objetivos da pesquisa. A seção subsequente aborda a estrutura portuária do Brasil, abrangendo as instalações portuárias e o transporte de cabotagem. Na terceira seção, é descrita em detalhes a metodologia utilizada para a análise dos dados. Na quarta seção, são discutidos os resultados obtidos e suas implicações para o transporte de cabotagem no país. Por fim, na seção de considerações finais, são apresentadas as principais conclusões do estudo, bem como sugestões para pesquisas futuras.

2.2. Estrutura portuária brasileira e as Redes marítimas

A presente subseção tem por objetivo fornecer uma visão geral da infraestrutura portuária brasileira e do sistema de transporte de cabotagem no país, além de abordar os tópicos estudados para a fundamentação da pesquisa. Serão abordados os principais portos do Brasil, destacando sua capacidade e movimentação de cargas, além de fornecer informações sobre o sistema de cabotagem, suas características e importância para a logística nacional. A compreensão da estrutura portuária e do sistema de cabotagem é essencial para o entendimento das dinâmicas logísticas no Brasil e para o aprimoramento da gestão e operação dos portos e do transporte marítimo em território nacional.

2.2.1. Instalações Portuárias

Em um país de grande território como o Brasil, com extensa costa marítima e rico em bacias hidrográficas, o sistema aquaviário tem papel estratégico na

integração regional, para o transporte de mercadorias e passageiros (CNT, 2006). Seja costeiro, de cabotagem ou de longo curso, atualmente o transporte marítimo é responsável por, aproximadamente 95% do comércio exterior (em toneladas) (ANTAQ, 2022A).

Quanto à sua composição, o sistema aquaviário constitui-se de vias marítimas, fluviais e lacustres utilizadas para a realização do transporte e de terminais portuários. Compreende, ainda, os operadores do transporte e suas embarcações, as infraestruturas de apoio e os agentes públicos e privados que atuam sobre o setor, entre outros elementos (CNT, 2019A).

Salienta-se que os portos têm um importante papel na cadeia logística, sendo assim o nível de eficiência portuária influencia, enormemente, a competitividade de um país. Por conseguinte, uma alta eficiência portuária conduz a baixas tarifas de exportações que, por sua vez, favorecem a competitividade dos produtos nacionais em mercados internacionais (BRUMATTI *et al.*, 2019).

Sendo assim, os terminais de contêineres desempenham um papel importante na cadeia de suprimentos global e fornecem uma interface entre o transporte marítimo e terrestre (LU *et al.*, 2016). Neto *et al.* (2009) sustentam que a atuação portuária é essencial para a performance do processo logístico de um país ou região, sendo determinante nas relações comerciais de importação e exportação.

Já que, também proporcionam um custo mais baixo quando comparado aos outros modais de transporte (EPE, 2019). Visto que, uma das maiores vantagens desta modalidade está na capacidade de se transportar grandes volumes de produtos por longas distâncias a um preço reduzido. Isso ocorre pois, ao se aumentar o volume transportado, dilui-se o custo final do frete por quilômetro percorrido. Dessa maneira, o custo médio de transporte pode ser até cinco vezes menor do que o custo para se realizar o transporte de um mesmo volume de mercadorias por meio do modal rodoviário (CNT, 2022).

Nesse sentido, os portos nacionais são as principais portas de entrada e saída para importações e exportações brasileiras (DANTAS, 2013). No Brasil, o setor portuário movimentou no ano de 2022, 1,206 bilhão de toneladas de cargas, essa é a segunda maior movimentação portuária registrada desde 2010. A movimentação ficou somente 0,60% abaixo do ano de 2021, quando o setor

portuário teve o seu recorde de movimentação, 1,214 bilhão de toneladas transportadas (ANTAQ, 2023).

Com relação as exportações brasileiras, estima-se que no ano de 2022 foi exportado um total de US\$ 335 bilhões, maior valor da série histórica, crescimento de 19,3% na média diária exportada em relação a 2021. O preço dos bens exportados se expandiu em 13,6% e o volume embarcado aumentou 5,5%. (MDIC, 2023). As importações também apresentaram o maior valor histórico ao somarem US\$ 272,7 bilhões, aumento de 24,3% em relação a 2021 (MDIC, 2023).

Salienta-se que a balança comercial por via marítima fechou o terceiro trimestre de 2022 com superávit de 18,9 bilhões de dólares. As exportações por via marítima chegaram a 79,1 bilhões de dólares, com um crescimento de 15,1% em relação ao mesmo período de 2021. Já as importações somaram 60,2 bilhões de dólares, crescendo 41,71% (IRAJÁ, 2022).

Nessa perspectiva, os terminais portuários são as instalações utilizadas na movimentação de passageiros e na movimentação ou armazenagem de mercadorias, destinadas ou provenientes do transporte aquaviário (CNT, 2019A). Como explica Chang *et al.* (2014) portos são meios de integração na economia mundial, onde ocorrem transferências de passageiros e/ou cargas entre hidrovias e estradas, geralmente localizados em costas que contêm um ou mais ancoradouros em que navios e barcos podem atracar (YANG; CHEN, 2016; SONG; GEENHUIZEN, 2014). Eles são importantes elos da cadeia logística, pois permitem a integração entre os modais e, com isso, tornam mais eficiente o transporte de cargas e passageiros (CNT, 2019A).

Os portos podem ser classificados quanto ao tipo de transporte que é realizado, como: porto de carga (trata-se apenas da transferência de carga), porto de passageiros (trata-se apenas da transferência de passageiros) ou uma combinação carga/passageiro (manipulando a transferência de ambos) (TALLEY, 2017). E quanto a sua administração, como: Porto organizado, bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária ou Porto Privado, instalações portuárias exploradas mediante autorização e localizadas fora da área do porto organizado (CNT, 2019A).

Salienta-se que os Portos Privados correspondem, principalmente, aos Terminais de Uso Privado (TUP), Estação de Transbordo de Cargas (ETC) e Instalação Portuária Pública de Pequeno Porte (IP4). No qual, conceitua-se TUP como uma instalação portuária explorada mediante autorização e localizada fora da área do porto organizado; ETC como uma instalação portuária explorada mediante autorização, localizada fora da área do porto organizado que é utilizada exclusivamente para operação de transbordo de mercadorias em embarcações de navegação interior ou cabotagem e IP4 como uma instalação portuária explorada mediante autorização, localizada fora do porto organizado e utilizada em movimentação de passageiros ou mercadorias em embarcações de navegação interior (CNT, 2019A).

Um Porto Organizado deve ser construído e explorado pela União, ou operar sob um regime de concessão, sua operação está sujeita a uma Autoridade Portuária, e o administrador do porto se relaciona com os usuários através da prestação de serviço público mediante pagamento de tarifas. Ressalta-se que os serviços prestados no Porto Organizado, apesar de tarifado, têm a natureza de serviço público e não podem ser excepcionados a qualquer usuário independente de sua natureza legal (FONSECA, 2015).

Na figura 1 é apresentado os Portos Organizados brasileiros. Atualmente, existem 36 Portos Organizados, 171 Terminais de Uso Privado e 40 Estações de Transbordo de Carga no país. Além de 38 Instalações Portuárias Públicas de Pequeno Porte (CNT, 2023).

Figura 1: Portos Organizados Brasileiros.



Fonte: Atlas do Transporte CNT (2019).

Segundo o Anuário Estatístico Aquaviário de 2023 da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), durante o período de 2016 a 2022, a movimentação nos portos brasileiros cresceu 21%, passando de 1 bilhão de toneladas (ano de 2016) para, aproximadamente, 1,2 bilhão de toneladas (ano de 2022). Nesse período, a movimentação em portos privados cresceu 20,8%, enquanto a movimentação em portos organizados apresentou crescimento de 23,15%. Da movimentação total portuária de 2022, os portos privados responderam por 65% e os portos organizados, por 35%.

Diante dessa perspectiva, durante o ano de 2022 os portos organizados movimentaram cerca de 422,2 milhões de toneladas de peso bruto total, o que corresponde a um acréscimo de 12,8 milhões de toneladas ao total movimentado durante o ano de 2021, uma variação percentual direta de 3,13%. Esse bom desempenho apresentado pelos portos públicos no período foi devido, principalmente, pelo aumento na tonelagem total operada de milho (+115,1%), assim

como de pasta de celulose (+45,1%), resíduos da extração do óleo de soja (+21,2%) e etanol (+16,9%) (ANTAQ, 2023).

Com relação ao período que compreende a 2016 – 2022, é importante salientar que os dez principais portos públicos em termos de movimentação geral, conforme listados na tabela 1, registraram uma movimentação de aproximadamente 2305,81 milhões de toneladas, o que representou 86,09% do total de movimentação dos 33 portos públicos que operaram durante o período em questão. Entre os principais portos que apresentaram crescimento na movimentação, destacam-se o Porto de Santarém (+171,27%), o Porto de Vila do Conde (+85,30%) e o Porto do Rio de Janeiro (+45,88%). Por outro lado, em relação aos portos que apresentaram uma diminuição na carga bruta movimentada, destacam-se o Porto de Itaguaí, com uma redução de 11,78%, e o Porto de Rio Grande, com uma queda de 1,83% (ANTAQ, 2023).

Tabela 1: Principais Portos Públicos em Movimentação.

Portos Públicos	Movimentação 2016 - 2022*	Variação % 2016/2022
Porto de Santos	770,61	41,04%
Porto de Itaguaí	360,11	-11,78%
Porto de Paranaguá	338,30	29,10%
Porto de Rio Grande	180,28	-1,83%
Porto de Itaquí	173,67	20,41%
Porto de Suape	166,21	6,54%
Porto de Vila do Conde	107,00	85,30%
Porto de São Francisco do Sul	82,34	24,76%
Porto de Santarém	72,73	171,27%
Porto do Rio de Janeiro	54,56	45,88%
Outros Portos	372,51	21,60%
TOTAL	2678,32	23,18%

Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

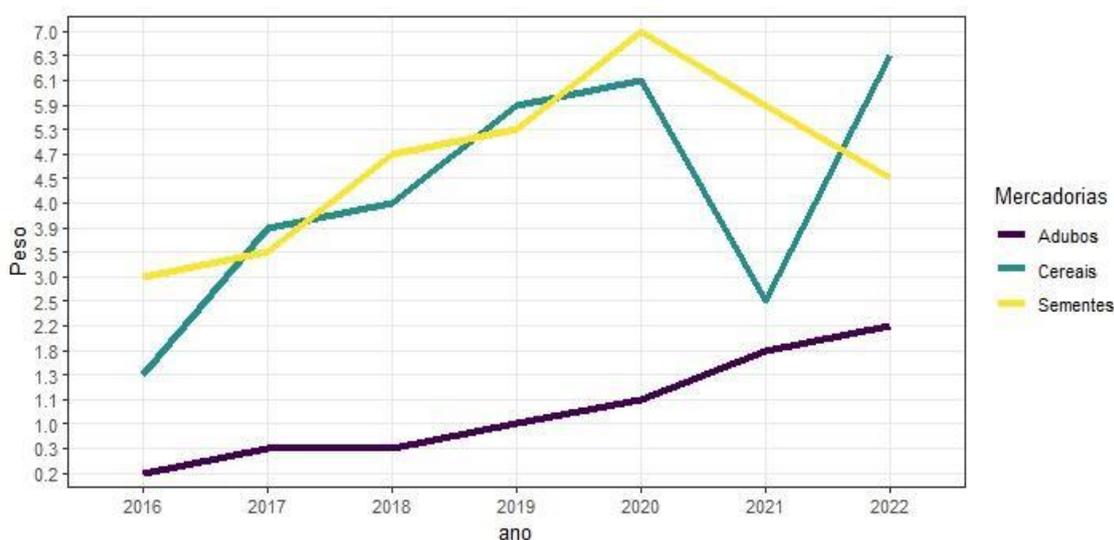
***nota:** A movimentação 2016 – 2022 corresponde à carga movimentada em milhões de toneladas.

Ao analisar o gráfico 1, é possível constatar que o Porto de Santarém, localizado no Pará, teve um aumento significativo na movimentação durante o período de 2016 a 2022 (+171,27%). Esse crescimento foi grandemente impulsionado pela movimentação de sementes, cereais e adubo. A movimentação de sementes representou aproximadamente 46,63% do total movimentado entre o

período de 2016 a 2022. O porto paraense registrou a movimentação de mais de 33,9 milhões de toneladas de sementes, sendo considerado a principal mercadoria em movimentação. (ANTAQ, 2023).

Também como mercadoria de destaque em movimentações encontra-se os cereais e adubos. Os cereais representaram 41,27% de toda a movimentação no período compreendido entre 2016 a 2022, enquanto os adubos representaram 9,54%. Dessa forma, pode-se verificar que, juntas, as três principais mercadorias corresponderam a um total de 97,44% da movimentação em questão.

Gráfico 1: Evolução das principais mercadorias movimentadas em 2016-2022 no Porto de Santarém (milhões de toneladas).



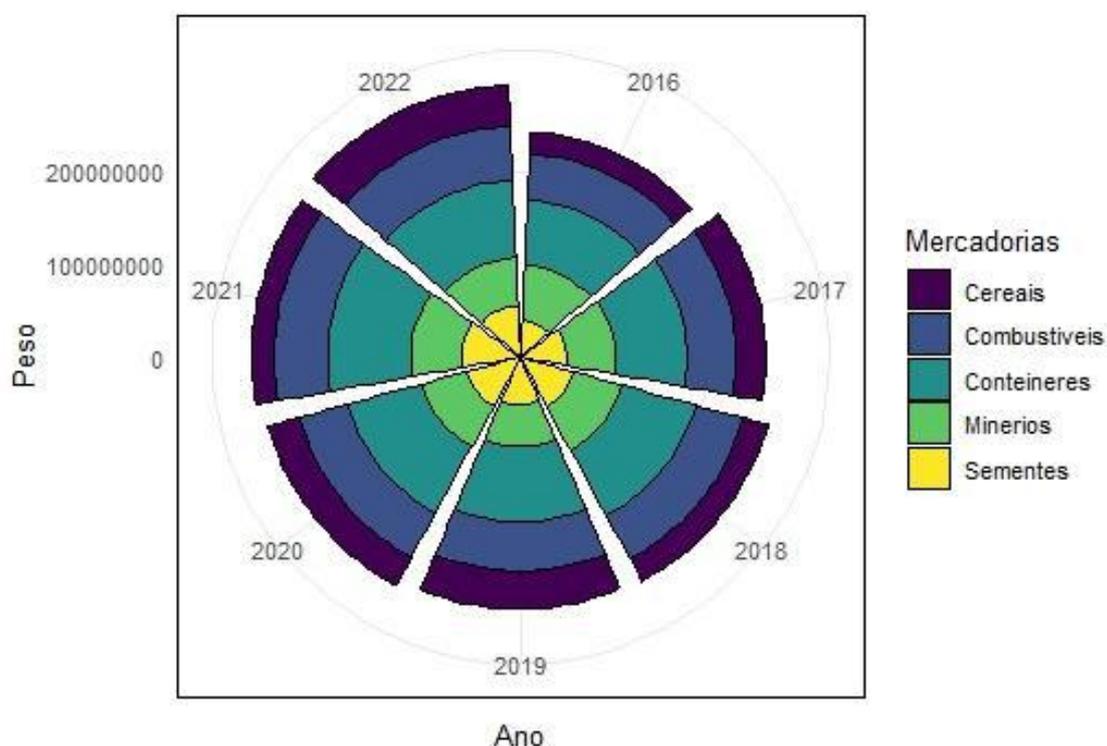
Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

Ao analisar as principais mercadorias movimentadas nos portos públicos em geral, podemos destacar alguns desempenhos significativos. Destaca-se como principais mercadorias os contêineres, sementes, combustíveis, minérios e cereais. A movimentação de contêineres por parte dos portos públicos foi de 562,4 milhões de toneladas o que representa 21% do total movimentado entre todas as mercadorias. Em seguida, destaca-se as Sementes com um total de 377,5 milhões de toneladas movimentadas durante o período observado, o que representa 14,1% do total movimentado entre todas as mercadorias. Dessa forma, ao analisar a

participação dessas mercadorias durante o período, observa-se que elas correspondem a 71,24% do total de mercadorias movimentadas.

Salienta-se que durante esse período houve um crescimento de 18,45% na movimentação de contêineres, bem como um aumento de 38,97% na movimentação de Sementes, além de um aumento de 17,6% na movimentação de Combustíveis e de 88,05% na movimentação de Cereais. Por outro lado, foi observado uma queda nas movimentações de Minérios, apresentando um recuo de -11,86% nos comparativos entre o ano de 2016 e 2022.

Gráfico 2: Principais mercadorias movimentadas nos portos públicos (toneladas) 2016 -2022.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

Durante o ano de 2022, os portos públicos movimentaram aproximadamente 82,9 milhões de toneladas de carga em contêineres, registrando uma queda de -6,5% em relação a 2021. Quando essa movimentação é medida em *Twenty Foot Equivalent Unit* (TEU), que é a unidade padrão para mensuração das operações com contêineres, a variação apresentada para o mesmo período foi de -3,53%, com mais de 7 milhões de TEUs movimentados.

Ao analisar essa variação entre TEUs e toneladas, é observado que, embora o peso total da carga containerizada tenha sido menor em 2022 em comparação direta com 2021, a quantidade de contêineres, medida em sua unidade padrão, teve uma queda menor. Isso pode indicar um maior número de contêineres vazios operados durante esse período. É importante destacar que a operação de contêineres vazios não significa necessariamente a falta de mercadorias para transporte, uma vez que os contêineres vazios muitas vezes são embarcados para retornar ao seu proprietário ou ponto de origem, e frequentemente são realocados entre portos para atender às demandas logísticas das cargas aguardando embarque (ANTAQ, 2022).

Diante dessas considerações, e conforme já mencionado, os portos representam um meio de transporte eficiente e de baixo custo que pode contribuir para reduzir a sobrecarga nas estradas rodoviárias. Assim, é fundamental explorar cada vez mais o potencial dos portos no país, visando garantir o desenvolvimento econômico, a manutenção da balança comercial e a geração de empregos para o progresso do Brasil.

2.2.2. Cabotagem

O transporte de mercadorias por via marítima ocupa posição de destaque no cenário internacional, sendo responsável por 90% do comércio global e conectando países e culturas de diversas partes do mundo (NEVES, 2022). Esse modal abrange a navegação interior (realizada em vias navegáveis interiores) e o transporte marítimo (realizado em mar aberto). O transporte marítimo, por sua vez, subdivide-se em quatro modalidades: longo curso, cabotagem, apoio marítimo e apoio portuário (EPE, 2019).

Conforme o inciso IX do Artigo 2º da Lei nº 9.432, de 8 de janeiro de 1997, a navegação de cabotagem é definida como aquela realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima e as vias navegáveis interiores (BRASIL, 1997). Segundo a Resolução Normativa nº 5 da ANTAQ, de 23 de fevereiro de 2016, cabotagem refere-se à navegação costeira entre portos do mesmo país ou entre esses portos e pontos interiores, caracterizando-se pela movimentação de cargas nacionais por via marítima (BRASIL, 2016).

A navegação de cabotagem no Brasil tem uma profunda ligação com a história nacional, cuja origem remonta à chegada dos portugueses. Está intrinsecamente associada à extensa costa marítima e ao processo de colonização, que foi realizado a partir do povoamento do litoral em direção ao interior, com o estabelecimento de feitorias e, posteriormente, de capitânicas hereditárias (CNT, 2013).

Do século XVI ao início do século XX, período em que os meios aquaviários eram a única opção para o transporte de cargas a longas distâncias, a cabotagem desempenhou um papel preponderante na interligação entre portos brasileiros e na consecução das atividades comerciais (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Oliveira e Pinheiro (2016) destacam que a importância da cabotagem para o Brasil remonta ao período colonial, sendo crucial para o desenvolvimento comercial interno do país.

Entretanto, conforme dados da CNT, a relevância da cabotagem diminuiu consideravelmente nos últimos cem anos, à medida que o transporte rodoviário e a indústria automobilística foram incentivados (CNT, 2019). Teixeira *et al.* (2018) indicam que essa mudança se intensificou a partir do governo de Washington Luiz, no final da Primeira República, entre 1926 e 1930, inaugurando uma era de priorização do transporte rodoviário. Essas políticas de incentivo geraram um desequilíbrio estrutural na matriz de transportes brasileira, causando ineficiências e aumentando os custos logísticos (JUNIOR *et al.*, 2015).

O desequilíbrio na utilização dos modais de transporte prejudica o Brasil, uma vez que dificulta o escoamento da produção, causando perdas significativas ao longo do processo (COLAVITE; KONISHI, 2015). Estima-se que os custos logísticos evitáveis, caso a matriz de transportes fosse mais equilibrada, somariam aproximadamente US\$ 2,5 bilhões por ano. A racionalização dos custos de transporte poderia produzir efeitos significativamente benéficos, considerando que,

em determinadas condições, os fretes hidroviários e ferroviários podem ser 62% e 37% mais baratos, respectivamente, do que os fretes rodoviários (MINISTÉRIOS DA DEFESA E DOS TRANSPORTES, 2007).

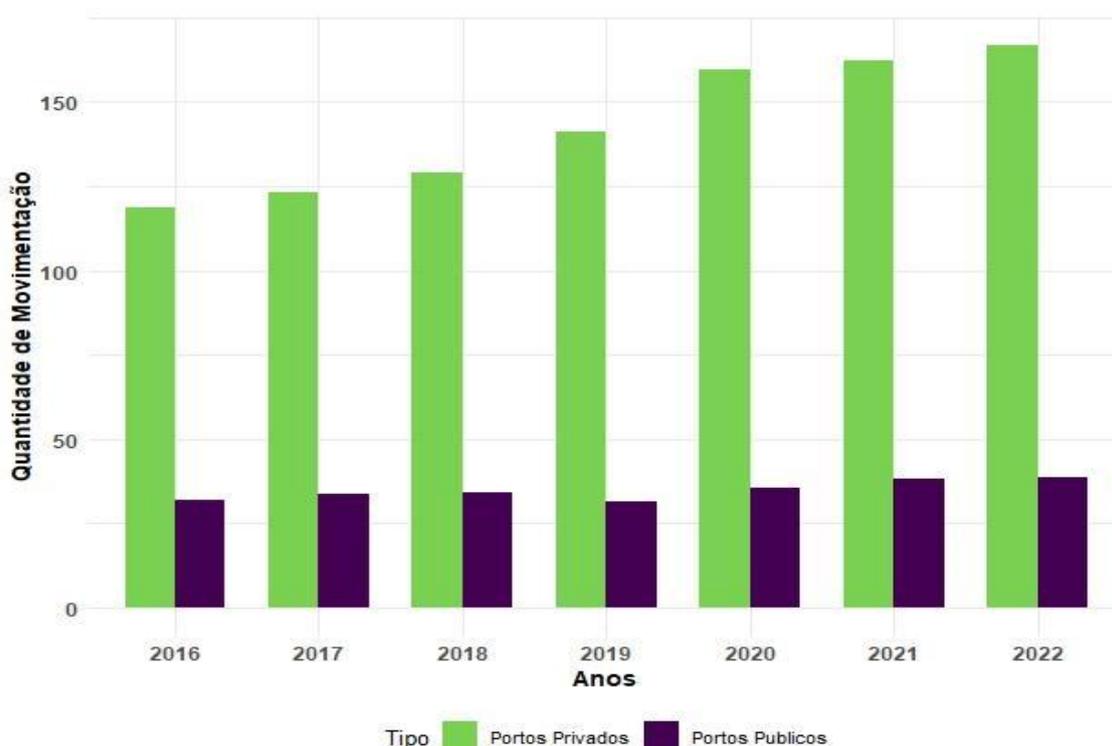
Apesar desse desequilíbrio, a cabotagem é amplamente utilizada no Brasil e se insere em um novo padrão de organização territorial, impulsionado pelas transformações econômicas, políticas e sociais ocorridas nas últimas décadas. Esse padrão é caracterizado pela busca de maior fluidez territorial, necessária para intensificar os fluxos materiais e imateriais resultantes da integração do país ao mercado global (FONSECA, 2015A).

Atualmente, as empresas brasileiras e globais buscam vantagens competitivas, adequação às expectativas dos clientes, desenvolvimento econômico e transformação cultural (BORGES *et al.*, 2018). A navegação de cabotagem apresenta vantagens operacionais, econômicas e ambientais em relação a outros modais de transporte (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Nesse contexto de intensas transformações, a cabotagem se destaca como uma estratégia empresarial para agregar valor ao cliente e fortalecer a competitividade no mercado (BORGES *et al.*, 2018).

De acordo com o Anuário Estatístico Aquaviário da ANTAQ, a navegação de cabotagem no Brasil registrou um aumento de 2,68% na movimentação de cargas em 2022 em comparação com o ano anterior, totalizando 205,5 milhões de toneladas. Destas, 81,2% foram movimentadas por portos privados e 18,8% por portos públicos.

Entre 2016 e 2022, a movimentação de cargas por cabotagem aumentou significativamente. Nos portos privados, o crescimento foi de 40,91%, enquanto nos portos públicos a variação positiva foi de 20,23%, evidenciando a importância crescente desse modal no cenário logístico brasileiro.

Gráfico 3: Movimentação por tipo de Instalação Portuária (toneladas).



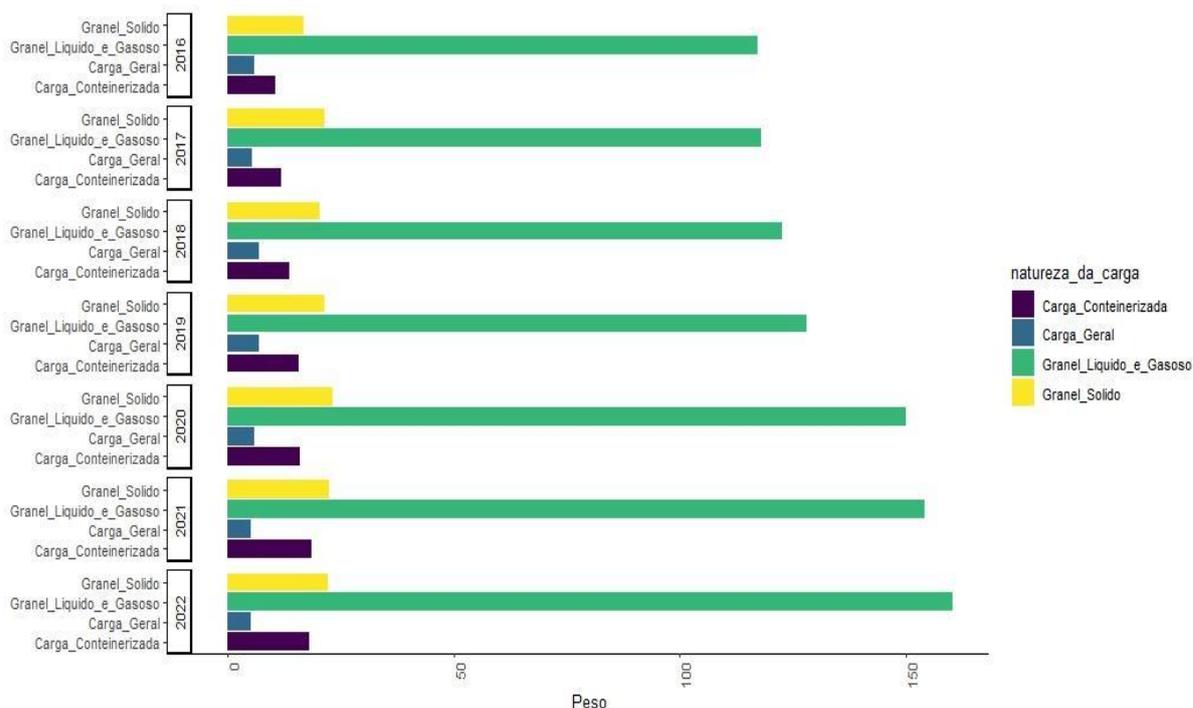
Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

Ao analisar o gráfico 4, que apresenta o histórico dos últimos sete anos da movimentação de cargas pela navegação de cabotagem, observa-se um detalhamento dos perfis de cargas movimentadas. Nota-se uma evolução expressiva no transporte de contêineres, cujo volume praticamente dobrou nesse período, passando de 10,5 para 18,1 milhões de toneladas. Em contrapartida, uma análise acumulada do transporte de carga geral revela uma queda superior a 16% no volume transportado, com destaque para os anos de 2018 e 2019, quando o crescimento em relação ao ano base de 2016 alcançou 15% e 17%, respectivamente, seguido de uma desaceleração em 2020.

Atualmente, no Brasil, a cabotagem está fortemente concentrada no transporte de granéis sólidos e líquidos, embora o transporte de contêineres também tenha registrado um crescimento notável em comparação com anos anteriores (SOUZA; LEITE, 2023). Em relação ao transporte de granel líquido e gasoso, entre 2016 e 2022, houve um aumento de aproximadamente 27%, enquanto o transporte de granel sólido cresceu cerca de 23,6%. Especificamente no ano de 2022, o

transporte de granel líquido e gasoso alcançou uma participação significativa de 77,98% no mercado de cabotagem, seguido pelos granéis sólidos (10,74%), carga containerizada (8,82%) e carga geral (2,45%).

Gráfico 4: Evolução da Movimentação de Cabotagem (milhões de toneladas) – Perfil de carga.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

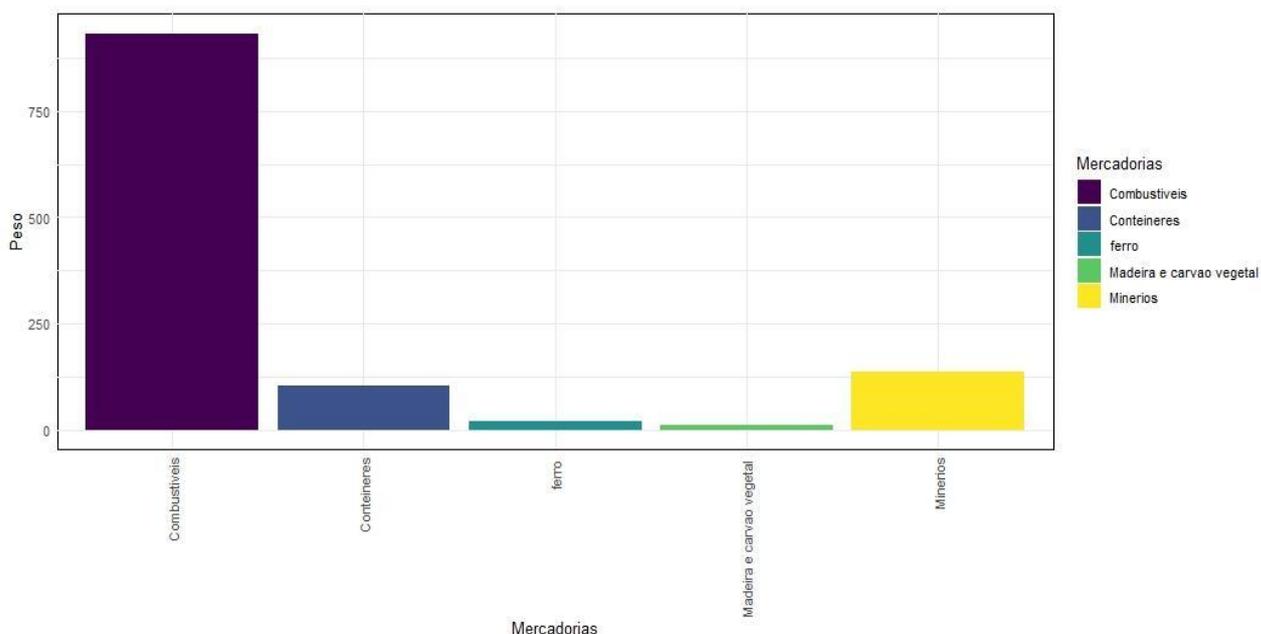
Portanto, após esse panorama geral, observa-se que a cabotagem no Brasil está fortemente voltada para o transporte de granéis líquidos e gasosos, cuja participação anual supera consistentemente 75% da movimentação total. Carvalho (2023) destaca que a carga predominante na cabotagem é composta por granéis líquidos, com destaque para produtos relacionados ao petróleo e seus derivados, que representam impressionantes 96,6% de todo o volume de carga movimentado nesse modal.

2.2.2.1. Mercadorias e Principais Portos

O desempenho da movimentação de cargas no modal aquaviário, especificamente na cabotagem, pode ser analisado não apenas em termos das operações das instalações portuárias, mas também sob a perspectiva das mercadorias mais movimentadas e dos portos com maior volume de movimentação. Esse enfoque permite uma visão mais abrangente do panorama do mercado nacional e das relações regionais de comércio, facilitando o mapeamento das rotas do transporte aquaviário e proporcionando uma melhor compreensão da diversidade nas correntes de comércio de mercadorias.

Ao examinar o gráfico 5, observa-se que as principais mercadorias movimentadas pela cabotagem, entre 2016 e 2022, foram: combustíveis (74,96%), minérios (11%), contêineres (8,4%), ferro (1,5%) e madeira e carvão vegetal (0,9%). Os combustíveis se destacam como o principal produto em termos de participação, totalizando 932,6 milhões de toneladas movimentadas nesse período e alcançando, em 2022, um recorde de 157,8 milhões de toneladas movimentadas.

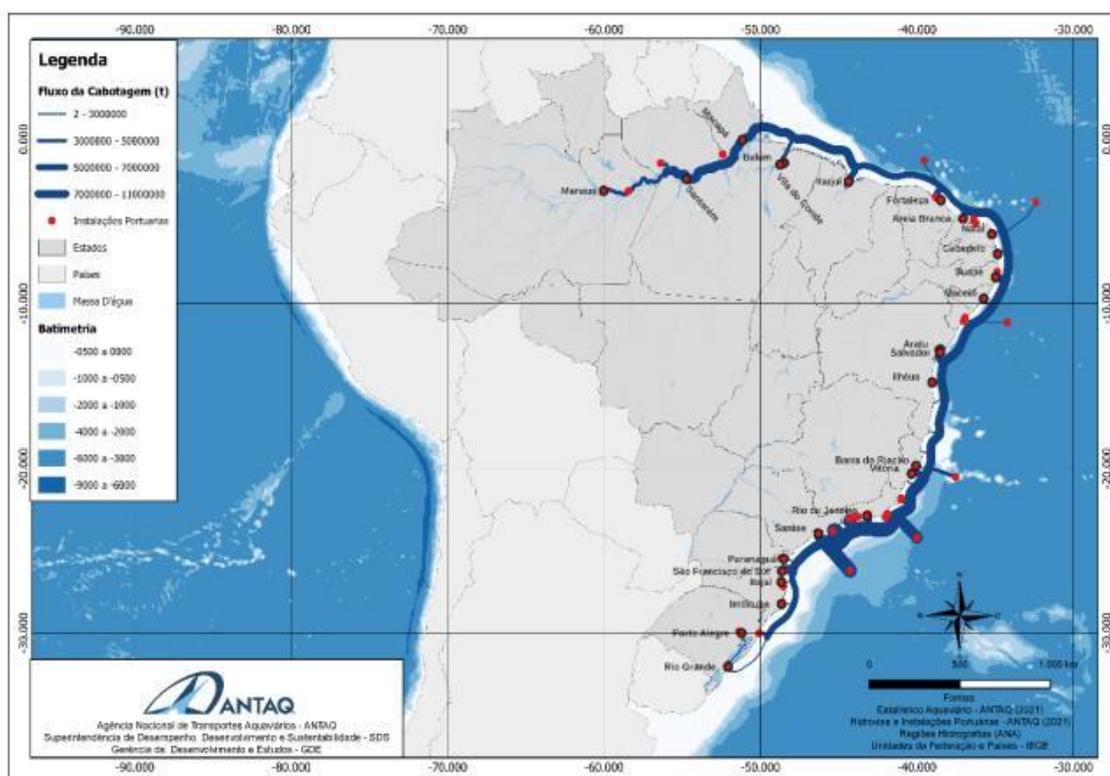
Gráfico 5: Principais mercadorias movimentadas na Cabotagem (toneladas) 2016-2022.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

A figura 2 ilustra os fluxos de transporte por cabotagem ao longo da costa brasileira e nas vias interiores no ano de 2021. A densidade desses fluxos é representada pela espessura das linhas, que é proporcional ao volume total de cargas movimentadas, em toneladas, em cada segmento entre pontos indicativos de instalações portuárias ou plataformas marítimas de petróleo.

Figura 2: Mapa de fluxo de transporte por Cabotagem – 2021.



Fonte: TKU 2021: TKU da navegação interior, de cabotagem e longo curso em vias interiores – Antaq (2022B).

Conforme a ANTAQ (2022B), o transporte de contêineres pela cabotagem geralmente é realizado em linhas regulares. O principal eixo de transporte conecta as regiões Norte e Nordeste às regiões Sul e Sudeste, formando diversos pares de origem e destino por meio de escalas em pontos intermediários. Em 2021, observou-se uma expressiva redução de 42,8% no transporte de contêineres na rota entre Espírito Santo e São Paulo (principal rota em 2020), com um total de 753,6 mil toneladas e 728,9 milhões de toneladas-quilômetro. Em contrapartida, a rota entre Amazonas e São Paulo, que se tornou a principal em 2021, apresentou um aumento de 25,4%, totalizando 1,3 milhão de toneladas e 8,7 bilhões de toneladas-quilômetro.

No ano de 2022, conforme apresentado na tabela 2, a movimentação de contêineres (TEU) na cabotagem superou 1,8 milhão de unidades. Entre as principais instalações portuárias que movimentaram esse tipo de carga, destacam-se o Porto de Santos, o Terminal Portuário do Pecém, o Porto de Suape, o Porto do Chibatão e o DP World Santos. Esses portos, em conjunto, responderam por mais de 55,65% de toda a movimentação de contêineres na cabotagem ao longo do ano.

Tabela 2: Principais Instalações portuárias na movimentação de Contêineres na cabotagem (TEU) – 2022.

Nome da Instalação	Total Transportado Cabotagem (TEU)
Santos	284.472
Terminal Portuário do Pecém	193.712
Suape	189.863
Porto do Chibatão	167.438
DP World Santos	166.436

Fonte: Elaborado pela autora com base em Anuário Estatístico Aquaviário da Antaq (2023).

Os dados apresentados na tabela 2 destacam o papel preponderante de alguns portos brasileiros na movimentação de cargas de cabotagem, com uma concentração significativa nos portos de Santos e Suape. Esses portos têm uma presença dominante nas rotas de cabotagem, evidenciando sua importância como nós centrais da rede marítima. Observa-se que a alta participação desses portos é resultado de fatores como a infraestrutura robusta e a localização estratégica, que facilitam a movimentação de grandes volumes de carga e o atendimento a navios de grande porte. Essa centralização de atividades, conforme apontado por Bondezan *et al.* (2014), promove uma maior eficiência nas operações portuárias, mas também levanta questões sobre a necessidade de políticas públicas que incentivem uma distribuição mais equilibrada do tráfego. A ampliação da capacidade de portos secundários pode não apenas reduzir a pressão sobre os *hubs* principais, mas também fomentar o desenvolvimento econômico regional e aprimorar a resiliência da rede de cabotagem como um todo.

2.2.3. Redes Marítimas

Os portos marítimos são um dos principais elementos de transporte em todo o mundo, atuando como pontos que permitem o escoamento de cargas nas cadeias de abastecimento globais (BURNS, 2018). De fato, como as cargas têm origem e destino de um número quantificável de fretes, a rede de transporte marítimo pode ser entendida como uma rede direcionada com arestas ponderadas (DOROGOVTSEV; MENDES, 2013).

Ducruet *et al.* (2010) afirma que se pode supor que as redes marítimas geram “pequenos mundos” cujo conteúdo pode variar no espaço e no tempo sob a influência de padrões de comércio e transporte, enquanto na geografia portuária e marítima tais unidades espaciais não são bem definidas e delimitadas, como região portuária, sistema portuário, faixa portuária ou fachada marítima. Dessa forma, com a evolução das redes marítimas é gerado “pequenos mundos” definidos como grupos regionais ou especializados que são definidos como *clusters* específicos onde os portos observam uma elevada dependência de um ou de um grupo de outros portos (DUCRUET *et al.*, 2010).

A modelação do tráfego marítimo como uma rede em que os portos são equivalentes a nós de rede e os movimentos de navios correspondem a arestas, provou ser uma ferramenta eficaz para a representação do tráfego marítimo desde a primeira abordagem documentada há mais de cinquenta anos (ROBINSON, 1968). Desde então, muitos exemplos na literatura comprovam o princípio do modelo de rede, e mais especificamente da rede complexa, para entender os fluxos marítimos (ÁLVAREZ *et al.*, 2021). No entanto, a pesquisa em transporte marítimo está longe de ser tão amplamente estudada quanto outros modos de transporte (DUCRUET, 2015; Ducruet *et al.*, 2010).

Ducruet *et al.* (2010) aponta que essa escassez se deve a raridade de informações detalhadas sobre a circulação marítima, incluindo vértices (portos), arestas (rotas marítimas) e fluxos (de trânsito). Historiadores e geógrafos tendiam a representar padrões de circulação de uma forma muito ampla com base em fontes qualitativas (WESTERDAHL, 1995). O tempo necessário para coletar e codificar dados de várias fontes baseadas em papel sobre movimentos de embarcações

(JOLY, 1999), bem como o custo da informação numérica existente, explicam facilmente a relutância dos geógrafos de transporte em enfrentar tal questão.

Mesmo com o registro das primeiras análises cartográficas e teóricas de gráficos dos fluxos marítimos nas décadas de 1940 e 1960, foi somente a partir dos anos 2000 que a análise de redes marítimas cresceu rapidamente, apoiada por novos dados de navegação disponíveis, maior poder computacional e estruturas conceituais renovadas para o estudo de redes em geral (DUCRUET, 2020).

Ducruet (2020) afirma que a evolução da análise de redes marítimas, na geografia e outras ciências, é marcada por uma grande diversidade de métodos e temas, que podem ser classificados em três partes principais. Primeiramente, estudos que analisam os fluxos marítimos em um espaço abstrato, com foco em aspectos operacionais, estatísticos ou gerenciais, onde a navegação, a estrutura gráfica e as estratégias das empresas são as principais preocupações. Em segundo lugar, pesquisas em que os fluxos e redes marítimas são marcadores e vetores de estruturas e dinâmicas geoeconômicas mais amplas, como desigualdades regionais e áreas de dominância. Por fim, as redes marítimas também foram consideradas como partes integrantes de territórios e sistemas encadeados mais amplos, como redes urbanas, redes regionais e redes acopladas.

Dessa forma, Ducruet (2020) salienta que o número total de publicações relacionadas à rede por meio de transporte marítimo, entre 1950 e 2020, manteve-se à sombra das outras redes de transporte, passando de 0,31% para 2,26% do total de publicações. A importância dos sistemas de comunicação terrestres (rodoviária, ferroviária e fluvial) e das telecomunicações é avassaladora e constante ao longo do tempo, seguida da rede aérea. Apesar da quase ausência de estudos da rede marítima nas primeiras décadas e do seu menor peso, atualmente, esta categoria registou a maior taxa de crescimento entre as duas últimas décadas (de 2000 a 2009 – 0,52% e de 2010 a 2020 – 2,26%).

As redes complexas são capazes de capturar a interação entre as entidades que as compõem (ÁLVAREZ *et al.*, 2021). Elas evidenciam propriedades que não são óbvias quando se considera cada uma das partes de forma independente, sendo o seu caráter de rede uma das características da estrutura destes sistemas (ESTRADA, 2012). Por esta razão, diferentes modos de transporte têm sido estudados a partir da perspectiva das redes complexas nos últimos anos. Alguns

exemplos podem ser encontrados ao modelar redes de tráfego urbano (DING *et al.*, 2019); demanda de viagens urbanas (SABERI *et al.*, 2018); o transporte público na Grã-Bretanha (REGT *et al.*, 2019) e Cingapura (SOH *et al.*, 2010); redes de transporte aéreo da China (WANG *et al.*, 2011) e dos EUA (XU; HARRISS, 2008); redes de rotas aéreas (Lordan *et al.*, 2014); estrutura da rede rodoviária (Deng *et al.*, 2010); Australian Airport Network (HOSSAIN; ALAM, 2017); redes ferroviárias (YANG *et al.*, 2015), (QING, 2012) ou (OUYANG *et al.*, 2014), entre outras. Outros exemplos do estudo da vulnerabilidade em diferentes modais de transporte podem ser encontrados em Cats e Jenelius (2014) para redes de transporte público e O'Kelly (2015) para o setor de transporte aéreo.

Álvarez *et al.* (2021) ressalta que, no caso do transporte marítimo, como nos casos descritos para os outros modos de transporte, uma abordagem de rede complexa para modelar a rede pode ajudar a entender melhor os pontos fortes (robustez) ou fracos (vulnerabilidade) da rede. Portanto, não há dúvida de que o transporte marítimo em particular, mais do que os sistemas globais de transporte em geral, podem se enquadrar nessa representação, e a literatura publicada confirma essa afirmação.

As redes marítimas são consideradas grafos não planares, uma vez que suas arestas podem se cruzar sem criar um nó (RODRIGUE, 2020). A primeira aplicação da teoria dos grafos ao transporte marítimo foi realizada por Robinson (1968) em seu estudo sobre as conexões de Vancouver com outros portos da Colúmbia Britânica, baseando-se profundamente na análise espacial da geografia quantitativa. Sua análise foi motivada pela busca de compreender a organização espacial das funções portuárias dentro de uma rede composta por "rotas imaginárias". A maioria dos estudos estava centrada em gráficos planares, e a abordagem de Robinson se destaca por ter adotado uma perspectiva diferente ao explorar a complexidade das redes marítimas (DUCRUET; BEAUGUITTE, 2014).

Com o surgimento do campo de pesquisa de redes complexas no final dos anos 1990, foi observado um aumento do interesse por redes de todos os tipos, incluindo redes marítimas (DUCRUET, 2020). Enquanto as redes sem escala contêm poucos nós de grande grau e muitos nós de baixo grau (BARABASI; ALBERT, 1999), as redes de pequeno mundo, além disso, incluem áreas de interação densa ou "comunidades" (WATTS; STROGATZ, 1998). Esta nova

estrutura foi particularmente adaptada para analisar grandes redes, em um contexto de novos dados marítimos disponíveis e maior poder computacional.

O presente estudo realizou análises com relação a posição relativa dos portos dentro de uma determinada rede, evidenciando os *hubs ports* da cabotagem brasileira e seus vértices de centralidade. Além de representar suas conectividades dentro da rede. Essas propriedades da rede foram ativamente pesquisadas em escala global no caso do transporte de contêineres (DENG *et al.*, 2009; HU; ZHU, 2009), bem como graneleiros sólidos e petroleiros (KALUZA *et al.*, 2010; CUI, 2014), na maioria das vezes concluindo pela existência de características de lei de potência na distribuição de centralidade de grau, condição necessária para que a rede seja livre de escala.

Ducruet *et al.* (2010), Ducruet; Notteboom (2012), Laxe *et al.* (2012) fornecem mais evidências da eficácia da centralidade portuária na determinação de uma hierarquia portuária e na indicação de todos os atributos que a sustentam. A centralidade portuária pode ser vista como uma qualidade espacial dentro da arena de mercado que o porto atende e, portanto, indica como os portos estão estrategicamente localizados dentro do sistema de transporte. A análise das redes marítimas globais usando tais métodos revelou importantes informações ocultas, como a hierarquia da centralidade do porto (ZHAO *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2019), em diferentes níveis de conectividade (YU *et al.*, 2017) e com base em vértices em vez de nós (ZHANG *et al.*, 2018).

Ducruet (2022) aponta que as relações entre conectividade portuária e especialização foram exploradas mais recentemente através da análise da situação dos portos dentro de redes marítimas compostas por diferentes camadas. A maioria dos estudos concentrou-se em apenas um segmento do transporte marítimo, principalmente o transporte de contêineres, enquanto outros analisaram diferentes segmentos tomados separadamente.

Salienta-se que no presente estudo foi proposto uma análise em nível agregado de especializações ao incluir todos os tipos de carga (geral, graneis e contêineres), na mesma rede, sendo essa rede apenas do transporte via cabotagem. Kaluza *et al.* (2010), por exemplo, comparou a estrutura da rede global e a distribuição comunitária de redes globais de petroleiros, contêineres e graneis secos, enquanto Montes *et al.* (2012) comparou redes de carga geral e de contêineres.

Outros estudos analisaram, por exemplo, redes de cruzeiros (RODRIGUE; NOTTEBOOM, 2013), redes de gás liquefeito (PENG *et al.*, 2020) e redes de petróleo (PENG *et al.*, 2019). No entanto, tais trabalhos não investigaram como as diferentes camadas de circulação marítima estão interconectadas nem como a centralidade dos portos varia entre as camadas. A perspectiva multicamadas foi proposta pela primeira vez por Ducruet (2013) usando cinco camadas diferentes (contêineres, carga geral, granéis sólidos, granéis líquidos e passageiros/veículos).

Entre os resultados, foi observado que os portos que recebem mais tipos de embarcações concentram mais tráfego, são mais centrais, têm maior alcance de interação e são mais densamente conectados entre si do que o restante da rede. Corroborando os resultados verificados por Santos *et al.* (2019) que em sua análise para a cabotagem brasileira identificou os portos de Santos e Suape como os *hubs ports* do Brasil no tempo determinado entre os anos de 2010 a 2015.

Existe uma vasta quantidade de literatura focada na classificação dos portos por meio de indicadores de centralidade, apresentando diferentes abordagens e inovações (WANG; CULLINANE, 2008; LAM; YAP, 2011; MONTES *et al.*, 2012; CULLINANE; WANG, 2012; Doshi *et al.*, 2012; LAXE *et al.*, 2012; SEOANE *et al.*, 2013; WANG; CULLINANE, 2014; KANG *et al.*, 2014; BARTHOLDI *et al.*, 2016). Alguns desses estudos, embora nem sempre façam referência explícita a "redes complexas", avançaram na análise da centralidade portuária ao examinar a inter-relação entre a centralidade e a taxa de transferência real do porto (KIM; LU, 2015; WANG; CULLINANE, 2016; KANG; WOO, 2017). Esses estudos combinaram análise de redes com técnicas de regressão múltipla e análise de envoltória de dados para proporcionar uma compreensão mais aprofundada da relação entre a posição central de um porto na rede e seu desempenho real em termos de movimentação de carga.

Já, com relação a análises voltadas para a verificação de *hubs ports*, Ducruet (2020) ressalta que nessa vasta literatura o foco principal é o próprio *hub*, deixando para trás os nós secundários dos quais eles dependem. Saliencia-se que a definição mais comum de *hub* é a participação dominante das atividades portuárias nas operações de transbordo mar-mar, principalmente no transporte de contêineres, devendo ser bem equipados, acessíveis, bem localizados ao longo das linhas

principais e próximos aos principais mercados (FLEMING, 2000; RODRIGUE; NOTTEBOOM, 2010).

Ducruet (2020) afirma que as abordagens centradas no *hub* lidam com a vulnerabilidade da rede em nível global no sentido da falha do *hub* e sua distribuição espacial. O centro desses estudos está mais voltado no interesse de entender, por meio de estudos de caso de regiões específicas, quais nós são vulneráveis e sobre quais *hubs*.

A distribuição de tráfego desigual e a vantagem competitiva dos portos centrais estiveram no centro do palco nos estudos da nova “rota marítima da seda” (WANG *et al.*, 2018; MOU *et al.*, 2018; JIANG *et al.*, 2019), mas também dentro do Mediterrâneo (Arvis *et al.*, 2019), o Mar Amarelo (GUO *et al.*, 2017) e o Bohai Rim (LU *et al.*, 2018). Compreender as forças dos *hubs* nas redes marítimas gerou o conceito de “*hub dependência*”, ou seja, até que ponto um nó depende de outro nó na rede.

Ducruet (2022) confirma a importância avassaladora dos portos mais diversificados, que movimentam o grosso do comércio global e por sua alta centralidade atuam como pivôs para portos menores. Ele analisa a interação entre 20 tipos de tráfego marítimo conectando mais de 1.600 portos, cobrindo cerca de 155.000 movimentos diários de 24.321 navios em 2008. Os principais resultados mostram que a rede global é altamente dependente de nós mais diversificados, que por sua vez capturam mais tráfego e exibem maior conectividade.

A atividade portuária como um todo é altamente influenciada pela capacidade dos nós marítimos de se inserir em múltiplas camadas de circulação. Essas camadas, apesar de suas diferenças em termos de cobertura de mercado, operação e tecnologia respectivas, convergem em alguns grandes *hubs*, sendo Roterdã e Cingapura os núcleos dessa hierarquia de várias camadas (DUCRUET, 2022).

Portanto, a análise da rede marítima, impulsionada pelo avanço na disponibilidade de dados e métodos analíticos, apresenta um potencial significativo para abordar questões de longa data, como a estrutura espacial da economia mundial e os processos de integração regional (DUCRUET, 2020). A abordagem de redes complexas tem se mostrado eficaz para aprimorar a compreensão da estrutura e evolução do tráfego marítimo, bem como para investigar as conexões comerciais estabelecidas entre os portos (ÁLVAREZ *et al.*, 2021). Através dessa perspectiva,

torna-se possível identificar padrões, *hubs* e relações estratégicas na rede marítima, contribuindo para o desenvolvimento de políticas e estratégias mais eficientes na gestão e operação dos portos e para o aprimoramento geral do sistema de transporte marítimo.

2.3. Metodologia

Nesta seção, será descrita a metodologia utilizada neste estudo para analisar a complexidade das redes portuárias brasileiras. Para isso, serão apresentados os passos seguidos para a construção das redes complexas, bem como as medidas de complexidade utilizadas para avaliar as propriedades estruturais dessas redes. Além disso, serão descritas as fontes de dados utilizadas e as etapas de pré-processamento necessárias para a construção das redes.

2.3.1. Teoria de Redes

Existem muitos tipos de redes em muitos domínios diferentes e as coisas que se conectam podem ter muitos significados (FIGUEIREDO, 2011). O termo redes complexas refere-se a um grafo que apresenta uma estrutura topográfica não trivial, composto por um conjunto de vértices (nós) que são interligados por meio de arestas (BARABÁSI, 2003). De forma mais geral, uma rede é uma abstração que permite codificar algum tipo de relacionamento entre pares de objetos (FIGUEIREDO, 2011). O estudo de redes na forma de grafos é um dos pilares da matemática discreta e teve início em 1735, quando Euler propôs uma solução para o problema das pontes de Königsberg, originando a teoria dos grafos (METZ *et al.*, 2007).

Desse modo, diversos aspectos do mundo real podem ser representados por meio de redes complexas a partir de analogias para a resolução de problemas específicos (METZ *et al.*, 2007). Pode-se assim considerar redes formadas por qualquer tipo de objeto, tais como um conjunto de indivíduos, de páginas Web, de neurônios, ou de computadores. E assim, para cada par de indivíduos teremos ou não a existência do relacionamento sendo considerado (FIGUEIREDO, 2011).

Os estudos das redes complexas foram iniciados em meados de 1930, quando sociólogos utilizavam essas redes com a finalidade de estudar o

comportamento da sociedade e a relação entre os indivíduos. Essas pesquisas eram baseadas em características muito peculiares das redes, como a centralidade (o vértice mais central) e a conectividade (vértices com maior número de conexões). As redes sociais eram constituídas por indivíduos, que eram representados por vértices, e pelas interações entre eles, as arestas (METZ *et al.*, 2007).

Dessa forma, segundo Figueiredo (2011) o conjunto de objetos da rede será denotado por V e o número de objetos será dado por $n = |V|$. Estes objetos são chamados de vértices ou nós da rede. A existência de um relacionamento entre dois objetos é representada por um par não-ordenado. Desta forma, se $i, j \in V$ estão relacionados, representa-se isto pelo par não-ordenado (i, j) . Este par ordenado, que representa a existência do relacionamento, é chamado de aresta. O conjunto com todos os relacionamentos existentes entre os objetos em V , ou seja, o conjunto de arestas da rede, é denotado por E . Sendo assim, temos $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \text{ está relacionado com } j\}$. O número de arestas da rede, m , é dado pelo número de pares não-ordenados no conjunto E , ou seja $m = |E|$. Finalmente, uma rede será definida por estes dois conjuntos, $R = (V, E)$.

Essa representação trata-se apenas de relacionamentos simétricos. Entretanto, nem todo relacionamento é simétrico, sendo muito deles assimétricos. Neste caso, o fato de um objeto i estar relacionado com outro j não implica que j esteja relacionado com i . Para isto representa-se o relacionamento como um par ordenado, onde a ordem dos vértices no par é importante. Ou seja, o par (i, j) é diferente do par (j, i) , pois codificam dois possíveis e distintos relacionamentos (FIGUEIREDO, 2011).

Pode-se representar a estrutura de uma rede, através de uma matriz. Esta matriz codifica todas as arestas da rede e é conhecida como matriz de adjacência, denotada por A . A matriz A é quadrada e cada elemento $A(i, j)$ representa o par de vértices (i, j) . Se o par estiver relacionado, então $A(i, j) = 1$, caso contrário $A(i, j) = 0$ (FIGUEIREDO, 2011). Pode-se então definir a matriz A da seguinte forma:

$$A(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{se } (i, j) \in E \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Se a rede estiver codificando um relacionamento simétrico, então a matriz de adjacência será simétrica com relação a sua diagonal principal. Pois neste caso, temos que $A(i, j) = A(j, i)$. Por outro lado, se o relacionamento for assimétrico, a matriz não será simétrica (FIGUEIREDO, 2011). Conforme o exemplo abaixo:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(2)

Onde as letras que identificam os vértices na figura foram mapeadas em números representando sua posição no alfabeto ($A = 1, B = 2, etc$). Conforme Figueiredo (2011), grau é o número de arestas que incidem sobre um determinado vértice da rede e representa o número de relacionamentos que existem com o vértice. Esse grau pode ser obtido somando os elementos da sua respectiva linha na matriz de adjacência. Caso a matriz seja simétrica o grau também pode ser obtido somando a respectiva coluna, já que a linha i é idêntica a coluna i em uma matriz simétrica. Onde d_i é o grau do vértice $i \in V$. É importante notar que a soma do grau de todos os vértices é igual ao dobro de número de arestas da rede. Ou seja,

$$\sum_{i \in V} d_i = 2m$$

(3)

Pode-se ainda obter o grau médio de uma rede, que é dada pela média aritmética do grau de todos os vértices. Ou seja,

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i \in V} d_i = \frac{2m}{n}$$

(4)

Usando o número de vértices e arestas de uma rede, pode-se definir a densidade da rede, ρ , que representa a fração de arestas que a rede possui. Ao considerar uma rede com n vértices e m arestas. Para calcular a densidade, determina-se o maior número de arestas que a rede poderia ter. Isto ocorre quando todos os vértices estão relacionados entre si, ou seja, cada vértice possui o maior grau possível que é $n - 1$. Portanto, o total de arestas será $n \frac{n-1}{2}$ e precisa-se dividir por dois, pois cada aresta na multiplicação $n(n - 1)$ está sendo contada duas vezes (FIGUEIREDO, 2011). Ou seja,

$$\rho = \frac{m}{n \frac{n-1}{2}} = \frac{\bar{d}}{n-1}$$

(5)

Dessa forma, a representação de uma rede social se dá através de um grafo, representada pela equação $R = \{\mathcal{V}, E\}$, na qual elementos de \mathcal{V} são chamados de vértices e os elementos de E são chamados de arestas (GROSS; YELLEN, 1999). Ademais outros conjuntos podem ser utilizados dentro de R , como exemplo, conjuntos que informam sobre a evolução da rede no tempo (SANTOS *et al.*, 2019). No âmbito deste trabalho, será elaborada uma rede marítima sob uma perspectiva estática, com arestas dirigidas que representam relações direcionadas de um vértice a outro.

Atualmente, são comuns estudos com redes envolvendo milhões ou bilhões de vértices, as quais antes eram compostas por dezenas ou, em casos extremos, centenas de vértices. Descobriu-se que a topologia e a evolução das redes do mundo real apresentam propriedades organizacionais bastante robustas e distintas das redes aleatórias. Essa é a principal razão pela qual as redes passaram a ser chamadas de redes complexas (METZ *et al.*, 2007).

As redes complexas possuem propriedades que as diferenciam dos grafos não complexos, a exemplo da distribuição dos graus, coeficiente de aglomeração, estrutura de comunidade em qualquer escala, evidência de estrutura hierárquica, etc

(SANTOS *et al.*, 2019). Elas podem ser úteis nas análises dos mais diversos aspectos das redes e com os mais variados propósitos. Ademais, é importante salientar que existem três principais modelos de redes complexas: redes aleatórias, redes pequeno-mundo e redes livres de escala (METZ *et al.*, 2007). A seguir, serão apresentados brevemente os detalhes de cada um desses modelos.

O modelo de redes aleatórias é caracterizado por ter uma distribuição de graus que segue uma distribuição normal. Essas redes são geradas a partir de ligações aleatórias entre os vértices de um conjunto (SANTOS *et al.*, 2019). O modelo possui vários nomes e também é conhecido por $G(n, p)$, modelo binomial e às vezes até mesmo por “modelo de rede aleatória”, dada sua grande influência. Esse modelo é bastante simples e possui apenas dois parâmetros, n e p . O parâmetro n determina o número de vértices da rede e estes são rotulados de 1 a n . O parâmetro p determina a probabilidade de uma determinada aresta ser incluída na rede. Além disso, cada possível aresta será incluída de forma independente das outras. Importante destacar que o modelo não determina a estrutura da rede, e sim o processo aleatório que irá gerar a estrutura da rede. Desta forma, a rede gerada pelo modelo é tratada como uma variável aleatória (FIGUEIREDO, 2011).

Rede de mundo pequeno, caso as conexões entre os vértices favoreçam distâncias curtas entre quaisquer dois vértices da rede, tornando a rede eficiente, do ponto de vista da transmissão de informação (SANTOS *et al.*, 2019). O efeito pequeno-mundo é observado nas redes em que a maioria dos vértices se conecta a outros através de um caminho mínimo. O caminho mínimo, também chamado de caminho geodésico ou distância geodésica, é aquele formado pelo menor número de arestas que conectam um vértice origem e um vértice destino (METZ *et al.*, 2007).

O modelo de rede livre de escala é caracterizado pela sua distribuição de graus, que segue uma lei de potência, $P(k) \sim k^{-\gamma}$, o que favorece a existência de *hubs* (vértices que concentram muitas conexões) (SANTOS *et al.*, 2019). Uma das principais características, denominada conexão preferencial, é a tendência de um novo vértice se conectar a um vértice da rede que tem um grau elevado de conexões. Essa característica implica em redes com poucos vértices altamente conectados, denominados *hubs*, e muitos vértices com poucas conexões. As redes com essas características são denominadas livres de escala devido à representação matemática da rede (METZ *et al.*, 2007).

Ela segue uma função $f(x)$ que permanece inalterada com um fator multiplicativo sob um reescalonamento da variável independente x . Em outras palavras, isso significa que as redes livres de escalas são aquelas em que a distribuição de graus segue a Lei de Potência, desde que exista uma solução somente para $f(ax) = bf(x)$ (METZ *et al.*, 2007).

As redes complexas possuem a capacidade de capturar as interações entre as entidades que as compõem. Elas evidenciam propriedades que não são facilmente percebidas quando se considera cada parte de forma isolada, sendo o seu caráter de rede uma das principais características da estrutura desses sistemas (ESTRADA, 2012).

Nesse contexto, o sistema marítimo é considerado um modelo complexo e não trivial, com inúmeras possibilidades de interação. De acordo com Álvarez *et al.* (2021), a modelagem do tráfego marítimo como uma rede, na qual os portos são equivalentes aos nós da rede e os movimentos de navios correspondem às arestas, tem se mostrado uma ferramenta eficaz para a representação do tráfego marítimo desde a sua primeira abordagem documentada há mais de cinquenta anos. Essa abordagem de rede tem proporcionado *insights* valiosos para entender e analisar a complexidade do sistema marítimo e suas dinâmicas.

Com efeito, uma abordagem de rede complexa para modelar a rede de transporte marítimo pode fornecer *insights* valiosos para compreender tanto os pontos fortes (robustez) quanto os pontos fracos (vulnerabilidade) da rede. Através da aplicação de medidas clássicas de redes complexas, como centralidade ou grau, é possível identificar os nós mais importantes da rede (ÁLVAREZ *et al.*, 2021). Esses nós-chave desempenham um papel crucial na eficiência e na resiliência da rede, tornando-se alvos estratégicos para melhorar o funcionamento do sistema marítimo ou para garantir a sua segurança e estabilidade. A utilização de métricas de rede permite uma análise mais aprofundada e sistêmica do sistema de transporte marítimo, ajudando a tomar decisões informadas e aprimorar a gestão dessa importante infraestrutura logística.

Diante dessas considerações, e levando em consideração a carência de estudos efetivos nessa área do conhecimento, conforme apontado por Ducruet (2012), o presente estudo tem como objetivo elaborar uma rede marítima complexa da Cabotagem brasileira entre os portos organizados durante o período de 2016 a

2022. Esse mapeamento será realizado através do software *Gephi*, visando identificar os *hubs ports* (portos principais) e traçar o cenário atual desse importante modal de transporte. A análise da rede permitirá a identificação de nós estratégicos e a compreensão das interações entre os portos, o que contribuirá para o aprimoramento do entendimento sobre a dinâmica e a eficiência desse sistema logístico fundamental para o Brasil.

2.3.2. Dados

Os portos ao redor do mundo compartilham a característica de servirem como nós de transferência cruciais, sendo responsáveis por lidar com a maior parte dos volumes do comércio internacional. No entanto, é importante ressaltar que a quantidade e a natureza dos fluxos movimentados variam significativamente entre eles. Nesse contexto, compreender a relação entre o tamanho do tráfego e a diversidade do tráfego assume uma relevância fundamental (DUCRUET, 2022).

Dessa forma, a Rede Marítima da Cabotagem brasileira foi construída a partir de vértices que são os portos organizados e as arestas que são estabelecidas pela movimentação de cargas entre estes portos. Os dados foram coletados através do Sistema Anuário Estatístico Aquaviário da ANTAQ que dispõe de uma base de dados gratuita e constantemente atualizada sobre toda a navegação marítima nacional. Nesse sistema são fornecidos dados relacionados ao tipo de navegação marítima utilizada, o tipo de carga, ano/mês da movimentação dessa carga, portos envolvidos e diversas outras informações que permitem o desenvolvimento de muitos estudos voltados ao sistema aquaviário nacional.

Sendo assim, para a elaboração da Rede Marítima da Cabotagem brasileira para o período de 2016 a 2022, foram coletados os seguintes dados:

- Todos os tipos de cargas movimentadas via cabotagem entre os anos de 2016 a 2022;
- Todos os tipos de cargas movimentadas via cabotagem mensalmente entre os anos de 2016 a 2022;
- A cidade e o estado de origem da carga;
- A cidade e o estado de destino da carga;

- O tipo de instalação marítima de origem da carga (utilizou-se apenas as movimentações dos portos organizados);
- O tipo de instalação marítima de destino da carga (utilizou-se apenas as movimentações dos portos organizados);
- O total da carga transportada via cabotagem entre os anos de 2016 a 2022 entre os portos organizados (tonelagem);

É fundamental destacar que a base de dados utilizada se refere exclusivamente a navios que realizaram viagens ao longo da costa brasileira, caracterizando, assim, a navegação exclusiva por cabotagem. Conseqüentemente, estão excluídas dessa base de dados quaisquer informações referentes a navios que efetuaram viagens de longo curso ou por vias interiores. A delimitação dessa abrangência garante que a análise seja focada especificamente nas operações de cabotagem, proporcionando uma visão mais precisa e relevante do sistema de transporte marítimo no contexto brasileiro durante o período de 2016 a 2022.

Após a coleta de dados, foi elaborado sete matrizes de adjacências sobre a movimentação de cargas via cabotagem no Brasil entre os portos organizados durante os anos de 2016 a 2022, considerando todos os meses de cada ano e todos os tipos de carga (geral, graneis e contêineres), essas matrizes são chamadas de matrizes origem e destino da movimentação de cargas via cabotagem.

Em seguida, as matrizes foram parametrizadas com os comandos operacionais do software *Gephi 0.10.1*, criado para a realização de análises exploratórias de dados. E então, sete novas matrizes da movimentação marítima de cargas via cabotagem no Brasil foram construídas derivadas das originais e adaptadas para utilização no programa *Gephi 0.10.1*. De posse dos dados, foi possível condensar todas as informações entre os anos de 2016 a 2022 em uma única matriz conforme resumo desta na tabela 3.

Tabela 3: Matriz origem e destino da movimentação de cargas via cabotagem entre portos organizados de 2016 a 2022 - *Gephi 0.10.1*.

Source	Target	Type	Weight	Data	Início	Fim
3	28	Directed	4927	jan/16	1	1
28	3	Directed	7256	jan/16	1	1
28	31	Directed	9253	jan/16	1	1
9	19	Directed	12106	jan/16	1	1
11	32	Directed	182	jan/16	1	1
25	32	Directed	38	jan/16	1	1
29	9	Directed	36804	jan/16	1	1
3	17	Directed	40283	jan/16	1	1
3	28	Directed	4839	jan/16	1	1
3	31	Directed	48352	jan/16	1	1
6	14	Directed	5733	jan/16	1	1
6	31	Directed	36593	jan/16	1	1

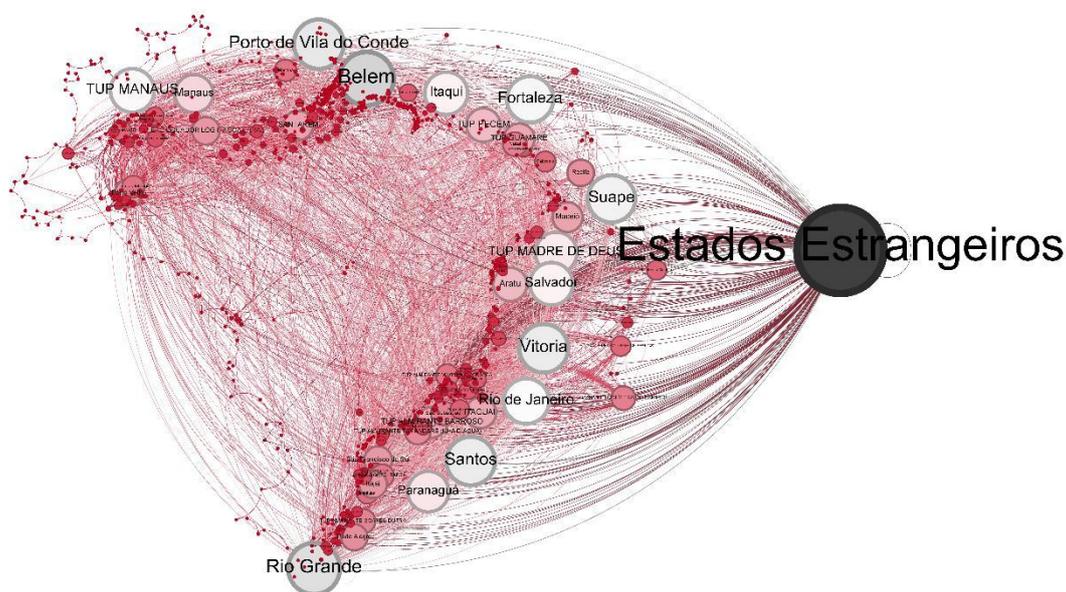
Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos dados apresentados na tabela 3 revela padrões de movimentação que destacam a importância dos portos de Santos e Suape como principais *hubs* na rede de cabotagem brasileira. Esses portos, além de concentrar um volume significativo de cargas, também possuem altos índices de conectividade, o que lhes confere uma posição estratégica na logística nacional. Tal concentração reforça a centralidade desses *hubs*, alinhando-se com as características descritas por Ducruet (2022), que enfatiza o papel dos portos diversificados na atração de tráfego e no fortalecimento da conectividade dentro das redes portuárias. Essa estrutura centralizada, embora aumente a eficiência em algumas rotas, pode tornar a rede suscetível a gargalos e interrupções. Para mitigar esses riscos, a diversificação e o fortalecimento de portos secundários podem ser estratégias viáveis, promovendo uma distribuição mais equilibrada do tráfego e aumentando a resiliência da rede.

2.4. Resultados

Com base na construção da matriz de origem e destino da movimentação de cargas por cabotagem entre portos organizados, no período de 2016 a 2022, foi possível mapear a rede marítima de cabotagem no Brasil. Essa rede é composta por 33 vértices, que representam os portos, e 13.688 arestas, que correspondem às viagens realizadas entre esses portos ao longo do período analisado. A figura 3 apresenta a representação gráfica dessa rede.

Figura 3: Rede Marítima da Cabotagem Brasileira entre portos organizados, 2016-2022.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a CNT (2019), portos *hubs* são aqueles estrategicamente localizados, com maior profundidade e capacidade para atender navios de grande porte, concentrando um volume substancial de cargas. Bondezan *et al.* (2014) explicam que um *hub port*, ou porto concentrador, tem como função principal a concentração de cargas e linhas de navegação. Os resultados indicam que a rede global depende fortemente de nós diversificados, que capturam mais tráfego e exibem maior conectividade (Ducruet, 2022).

Além disso, Bondezan *et al.* (2014) apontam que esses portos concentradores favorecem a criação de mega terminais, especialmente aqueles que lidam com contêineres. Nota-se que há uma grande quantidade de portos concentradores em regiões com elevado potencial econômico. Esses portos possibilitam que navios porta-contêineres sejam carregados e descarregados em uma única parada por região, evitando o aumento significativo do custo por unidade transportada devido a

múltiplas escalas ou à navegação com capacidade ociosa. Assim, a logística entre os portos torna-se mais eficiente.

A análise da rede marítima (figura 3) evidencia a presença de dois *hubs* principais, que se destacam pelo elevado número de arestas: o Porto de Santos, em São Paulo, e o Porto de Suape, em Pernambuco. Ambos se destacam pela movimentação de carga ao longo dos anos e são considerados as principais zonas de influência portuária no Brasil, conforme também observado por Santos *et al.* (2019) no período de 2010 a 2015.

Vale ressaltar também o volume de movimentação dos portos de Salvador (BA), Rio Grande (RS) e Paranaguá (PR). Com base nos dados de movimentação, percebe-se que esses portos possuem potencial para, no futuro, desempenharem papéis tão relevantes quanto os de Santos e Suape, tornando-se *hubs*. Segundo o IPEA (2010), os grandes diferenciais que um porto pode oferecer incluem um calado adequado para navios de grande porte, berços especializados no tratamento de cargas, além de automação e mecanização do manuseio e sistemas eficientes de controle e informação.

A determinação desses portos como *hubs* depende de suas rotas, do volume de fluxo de cargas e de seu posicionamento estratégico, além da capacidade de infraestrutura física. Os *hubs* permitem que grandes navios sejam operados em uma única escala por região (ZELAYA *et al.*, 2015). Portanto, caso esses portos recebam investimentos em infraestrutura logística, como o aumento do calado, expansão dos terminais de carga e descarga e a construção de plataformas logísticas que facilitem a multimodalidade, poderão se destacar ainda mais como *hubs*. A tabela 4, a seguir, apresenta os principais índices de rede para os portos brasileiros que mais se destacaram nesta análise da rede marítima.

Tabela 4: Índices para a Rede Marítima Geral e centralidade dos vértices que mais se destacaram.

Índices da Rede Marítima Geral					
n	m	<K>	D	<l>	(%) Maior Componente
33	13688	378,99	4	1,78	100%
Porto	Centralidades			B' (Centralidade de intermediação)	
	K(in)	K(out)			
Porto de Santos	1705	1716		0,128	
Porto de Suape	1540	1302		0,085	
Porto de Salvador	855	1605		0,021	
Porto de Rio Grande	1001	802		0,077	
Porto de Paranaguá	1045	684		0,069	
Porto de Vitória	687	803		0,032	
Porto de Rio de Janeiro	596	763		0,0010	
Porto de Fortaleza	762	460		0,041	
Porto de Itaquí	701	515		0,051	
Porto de Belém	601	705		0,0009	

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar a tabela 4, verifica-se que o Porto de Santos - SP registrou um total de 1.705 viagens de chegada e 1.716 viagens de partida, enquanto o Porto de Suape - PE contabilizou 1.540 viagens de chegada e 1.302 de partida. Juntos, esses dois portos representam 45,8% do total de movimentações dos portos organizados de cabotagem, destacando-se como os principais *hubs* de conectividade no Brasil. O Porto de Rio Grande - RS, embora ocupe o quarto lugar em número de viagens (1.803), posiciona-se em terceiro em termos de intermediação ($B' = 0,077$). Isso indica que o Porto de Rio Grande exerce uma função relevante na conectividade entre outros portos, superando, nesse aspecto, o Porto de Salvador ($B' = 0,021$), que, embora tenha o maior número de viagens (1.920), possui menor intermediação. Observa-se um fenômeno similar no Porto de Itaquí, que é o nono em número de viagens (1.216), mas ocupa a quinta posição em intermediação ($B' = 0,051$).

Conforme Wang *et al.* (2018), embora a concentração de tráfego em *hubs* possa aumentar a eficiência operacional em determinadas rotas, ela cria um sistema desigual que pode ser vulnerável a interrupções. Gomes *et al.* (2013) sugerem que a expansão da infraestrutura em portos secundários poderia reequilibrar a rede, aumentando a competitividade e promovendo uma distribuição mais uniforme do

tráfego. Redes altamente concentradas, como observado por Álvarez *et al.* (2021), são suscetíveis a falhas, destacando a importância de um fluxo de cargas mais equilibrado para a sustentabilidade da rede.

A intermediação e centralidade, geralmente associadas aos grandes portos, desempenham um papel importante no tráfego inter e intrarregional. Funções intermediárias estão associadas ao transbordo, o que não necessariamente reflete a economia local, mas sim a capacidade da infraestrutura portuária de redistribuir o tráfego, como indicado por Rodrigue e Notteboom (2010) e Slack e Gouvernal (2015).

Portos intermediários, que funcionam como elos entre *hubs* globais e portos regionais, são fundamentais para a rede, conforme apontado por Rocha Neto e Cravidão (2014). Desempenhar um papel cooperativo e integrado é um desafio para as comunidades portuárias modernas, como destaca Porto (2019), que também ressalta que a conectividade e integração podem agilizar o fluxo de informações, reduzir custos e aumentar a eficiência dos portos na cadeia logística.

O Brasil possui muitos portos organizados com baixa movimentação de entrada e saída de cargas, refletindo uma significativa diferença de volume de viagens entre os *hubs* e demais portos. A presença de condições geográficas favoráveis, como rios navegáveis e calado adequado, além de economias de escala nas benfeitorias portuárias, explica a concentração de navios e mercadorias em poucos portos, ao invés de uma distribuição uniforme ao longo da costa (LANGEN, 2003).

Assim, a movimentação de cargas por cabotagem tende a se concentrar nos *hubs*, devido à falta de infraestrutura e tecnologia adequada nos demais portos. Esses *hubs* atuam como polos de atração de tráfego, criando sistemas portuários desiguais em termos de distribuição e conectividade (DUCRUET, 2022). A criação de polos concentradores e distribuidores de carga impulsiona o crescimento da cabotagem, já que, em setores como granéis e contêineres, as economias de escala favorecem apenas alguns portos para receber navios de grande porte e centralizar fluxos que são redistribuídos a portos menores ou ao interior (DUCRUET, 2022).

Por fim, conforme salientado por Ducruet (2022), essa tendência à concentração em *hubs* se dá pelas limitações de infraestrutura e tecnologia dos demais portos. Isso resulta em desigualdade na conectividade dos sistemas

portuários. Como observado por Langen (2003), as economias de escala favorecem naturalmente os portos maiores. Nesse contexto, uma abordagem multicamada, conforme sugere Santos (2018), poderia orientar políticas públicas voltadas para a inclusão de portos secundários, promovendo uma rede de cabotagem mais integrada e eficiente. Esse modelo de rede permitiria uma melhor adaptação às flutuações de tráfego e condições econômicas, reduzindo a dependência de poucos *hubs* e fortalecendo a resiliência global do sistema portuário.

2.5. Considerações Finais

Este artigo contribui para o aprimoramento do conhecimento sobre a cabotagem em um contexto econômico e social no Brasil. A navegação de cabotagem, além de ter sido uma das primeiras atividades a impulsionar a economia nacional, desempenhou por séculos um papel central no transporte de mercadorias. Hoje, esse modal volta a ser tema de discussão em relação à sua modernização e desenvolvimento, especialmente no contexto de uma economia globalizada que exige eficiência logística e sustentabilidade.

O transporte marítimo, historicamente, é um dos meios mais antigos e fundamentais de interação humana, com mais de 90% do comércio internacional ocorrendo por via marítima. No Brasil, a indústria portuária assume um papel crucial, conectando os meios aquático e terrestre, e movimentando grande parte do comércio internacional (DUCRUET, 2020; JÚNIOR; PINHEIRO, 2022). No contexto brasileiro, a cabotagem pode desempenhar um papel ainda mais relevante, dado o potencial de crescimento identificado.

A cabotagem, que é um modal intrínseco ao Brasil desde a colonização, tem perdido relevância nas últimas décadas em comparação com o transporte rodoviário. Apesar disso, sua competitividade em termos de sustentabilidade ambiental e segurança o tornam um meio estratégico para o desenvolvimento econômico, especialmente em um país com extensas áreas costeiras e concentração populacional litorânea (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Em 2022, o modal aquaviário movimentou mais de 205 milhões de toneladas, demonstrando um potencial significativo para expansão.

Os dados do período de 2016 a 2022 evidenciam uma concentração de atividades em alguns portos organizados, com destaque para Santos e Suape, que juntos responderam por 45,8% do total de movimentações. A cabotagem brasileira poderia ser mais bem explorada com políticas públicas que promovam a infraestrutura em portos menores, reduzindo a atual concentração hierárquica e proporcionando um sistema de transporte mais equilibrado e resiliente. Essa abordagem pode impulsionar a competitividade regional e nacional, além de fortalecer a conectividade entre portos menores e maiores, facilitando o fluxo de mercadorias e beneficiando as economias locais (ÁLVAREZ *et al.*, 2021; SANTOS, 2018).

O estudo evidenciou que a rede de cabotagem brasileira é fortemente dependente de portos diversificados e de alta conectividade, como Santos e Suape, que funcionam como pivôs essenciais para o comércio nacional e global. No entanto, a concentração de tráfego nesses poucos *hubs* torna o sistema vulnerável a interrupções e limita o desenvolvimento de portos secundários. Portanto, é fundamental considerar uma diversificação do portfólio de tráfego e um investimento mais robusto em portos de menor movimentação.

A aplicação da teoria de redes complexas revelou-se uma ferramenta valiosa para a análise da dinâmica portuária, fornecendo *insights* sobre as interações entre os portos e as mudanças estruturais que afetam a rede. Além disso, como sugerido por Ducruet (2013) e Santos (2018), uma abordagem multicamada e dinâmica pode oferecer uma perspectiva mais completa, permitindo que se explorem fatores temporais e espaciais na estrutura da rede.

Para estudos futuros, é recomendável investigar a relação entre especialização, tamanho e conectividade em uma perspectiva temporal, considerando também as dependências de localização e de trajetória dos portos, para uma análise mais profunda da resiliência e flexibilidade da rede. Elementos dinâmicos, como estratégias de diversificação e containerização, devem ser incorporados para avaliar seu impacto na competitividade e na sustentabilidade da cabotagem. Além disso, a formulação de políticas públicas que favoreçam a integração de portos secundários pode auxiliar na distribuição mais uniforme do tráfego e promover uma rede de cabotagem mais robusta e integrada.

Em resumo, o potencial de crescimento da cabotagem no Brasil é evidente, e sua expansão requer um planejamento cuidadoso, focado na modernização da infraestrutura portuária e na implementação de políticas que assegurem um equilíbrio na matriz de transportes, contribuindo assim para a eficiência logística e o desenvolvimento econômico do país.

3. Cabotagem no Brasil e seus Efeitos Econômicos e Ambientais: Uma Análise com Modelo de Equilíbrio Geral Computável

Resumo

Este artigo avalia os impactos econômicos e ambientais da Lei nº 14.301/2022 (BR do Mar), que visa estimular o transporte por cabotagem no Brasil como alternativa ao modal rodoviário. Utilizando a metodologia de Equilíbrio Geral Computável (EGC), por meio do modelo multirregional e multissetorial *Brazilian Economic Analysis* (BREA), são simulados três cenários de aumento de produtividade na cabotagem (5%, 15% e 30%), analisando os efeitos sobre o PIB, o consumo, o bem-estar, a produção setorial, as emissões de CO₂ e a oferta de transporte. Os resultados indicam que a ampliação da cabotagem pode promover crescimento do PIB (até 0,90%), aumento do bem-estar e redução das emissões do setor de transportes, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Nordeste do Cerrado – MATOPIBA. Também se observa um deslocamento da produção para regiões costeiras e ganhos expressivos nos setores agroindustriais. A análise de sensibilidade confirma a robustez dos resultados frente a diferentes elasticidades. Os achados evidenciam que a BR do Mar tem potencial para tornar a matriz de transportes mais eficiente, competitiva e ambientalmente sustentável, além de contribuir para a redução das desigualdades regionais no Brasil.

Palavras chaves: Cabotagem; Equilíbrio Geral Computável; Transporte; Emissões de CO₂; BR do Mar.

Abstract

This article assesses the economic and environmental impacts of Law No. 14.301/2022 (BR do Mar), which aims to promote coastal shipping (cabotage) in Brazil as an alternative to road freight transport. Using the Computable General Equilibrium (CGE) methodology through the multi-regional and multi-sectoral Brazilian Economic Analysis (BREA) model, the study simulates three productivity increase scenarios in cabotage (5%, 15%, and 30%), analyzing their effects on GDP, consumption, welfare, sectoral output, CO₂ emissions, and transport supply. The results indicate that expanding cabotage could foster GDP growth (up to 0.90%), improve welfare, and reduce emissions in the transport sector—particularly in the North, Northeast, and MATOPIBA regions. A relocation of production toward coastal areas and substantial gains in the agribusiness sector are also observed. The sensitivity analysis confirms the robustness of the findings across different elasticity assumptions. Overall, the results suggest that the BR do Mar policy can enhance the efficiency, competitiveness, and sustainability of Brazil's transport matrix, while contributing to the reduction of regional disparities.

Keywords: Cabotage; Computable General Equilibrium; Transport; CO₂ Emissions; BR do Mar.

3.1. Introdução

O transporte é um dos pilares da economia de um país, sendo um elemento primordial para o desenvolvimento e a expansão da capacidade produtiva. Quanto mais uma nação produz, maior é a sua interface com o transporte e a logística. Pessoas precisam se locomover e produtos precisam ser entregues dentro e fora do território nacional (CNT, 2018). Ademais, com o crescimento da globalização, o desenvolvimento da navegação marítima permitiu uma maior amplitude em termos comerciais, passando a integrar diferentes regiões do planeta por diferentes rotas.

Desse modo, salienta-se que o transporte marítimo é fundamental para as transações comerciais, sendo responsável por mais de 95% das cargas exportadas e importadas pelo Brasil (CNI, 2020). Essas intensas transações comerciais são viabilizadas por meio do transporte marítimo adequado e viável para atendimento das demandas mundiais, esta correlação pode ser observada pelo estudo publicado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) (CORBETT; WINEBRAKE, 2008) que indicou uma correlação de 89% entre o crescimento econômico dos países membros da organização e o crescimento das exportações e importações.

Sendo assim, destaca-se que um tipo específico do transporte marítimo é a navegação de cabotagem, que de acordo com a Lei 10.893/04 (BRASIL, 2004), consiste na navegação realizada entre portos brasileiros, utilizando exclusivamente a via marítima ou a via marítima e interiores. Como explica *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD) (2017), a cabotagem é definida como transporte de passageiros, bens e materiais entre dois portos localizados no mesmo país, independente do país em que a embarcação está registrada, abrangendo operações domésticas de navios mercantes; essas incluem tráfego doméstico, bem como operações relativas a transbordos. Podendo envolver a operação de linhas regulares ou de viagens isoladas, e uma variedade de técnicas de manuseio de cargas.

A cabotagem é um tipo de transporte muito importante para o comércio brasileiro e está sendo cada vez mais utilizado (ABAC, 2020). Principalmente, devido as suas vantagens que estão relacionadas a redução de custos, tanto econômicos quanto ambientais, a eficiência/pontualidade do meio de navegação, a segurança,

além de contribuir para a redução de dispêndios excessivos em projetos de infraestrutura rodoviária e ferroviária (QUINTELLA; SUCENA, 2020; TEIXEIRA *et al.*, 2018).

No entanto, é importante salientar que a matriz de transporte brasileira apresenta um desequilíbrio entre os seus diversos modais, apresentando muita dependência do transporte rodoviário, cujas características apontam para baixa eficiência energética, altos níveis de emissão de dióxido de carbono (CO₂), alto custo para longa distância e altos índices de acidentes e de roubo de cargas. Atualmente, as rodovias respondem por aproximadamente 64,85% do transporte de cargas, as ferrovias por 14,95%, a cabotagem por 10,47%, as hidrovias por 5,25%, e o modal dutoviário, por 4,45% (CNT, 2024).

Ainda assim, segundo o Anuário Estatístico de 2023 da Agência de Transporte Aquaviário (ANTAQ), em 2022 foram transportadas 201,9 milhões de toneladas pela cabotagem, deste montante aproximadamente 77,6% são correspondentes a petróleo e derivados e 9% de contêineres, equivalentes a 1,8 milhões de contêineres transportados. Ademais, segundo o Estudo de Cabotagem da ANTAQ, a navegação de cabotagem no Brasil só é inferior à da China e dos Estados Unidos, ou seja, a navegação de cabotagem brasileira é a terceira maior do mundo. Se compararmos apenas a navegação de cabotagem de contêineres no Brasil, com a navegação costeira total nos demais países, ainda assim, a navegação na costa brasileira se mantém como a quinta maior do mundo ficando atrás, além da China e EUA, da Itália e da Espanha (equiparando-se com a Coreia).

Além disso, quanto a evolução do transporte de carga containerizada, transportada pela navegação de cabotagem nacional, tendo como base as informações publicadas pelo Anuário Estatístico de 2023 da ANTAQ, constatou-se um crescimento de 226,25% no período entre os anos de 2010 a 2022. Entretanto, quanto ao comportamento do valor do frete médio da carga containerizada na cabotagem nacional, pode-se observar nos últimos anos um comportamento distinto do apresentado na rota internacional de Santos-Xangai. Segundo o Boletim de Logística do 1º semestre de 2019 publicado pela Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL, 2019), o frete médio na rota marítima entre Santos e Manaus passou de R\$ 511,56/ton no primeiro semestre de 2013 para R\$ 307,7/ton no primeiro semestre de 2019, uma variação de 39,9%. Dessa forma, pode-se constatar

que o transporte de carga containerizada na cabotagem brasileira tem apresentado crescimento ao mesmo tempo em que houve redução do valor médio do frete.

De acordo com Junior *et al.* (2015), além de questões competitivas e de infraestrutura, há o efeito ambiental em relação ao desbalanceamento da matriz de transportes brasileira, tendo em vista, por exemplo, que o consumo de energia varia de acordo com o modo utilizado. Em estimativa realizada pelo Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), constatou-se que um aumento de 60% no volume de contêineres transportados por cabotagem, geraria uma redução de mais de 530 mil toneladas de CO₂ por ano, quando comparado com o modo rodoviário, já que, em média o modo rodoviário emite 6 vezes mais poluentes que a cabotagem ao se avaliar o volume transportado e a extensão.

Sendo assim, Guimarães *et al.* (2013) defende que para melhorar a eficiência da matriz em relação ao consumo de energia se faz necessária a transferência do modal rodoviário. Já que, os caminhões são utilizados como um dos principais meios de transporte para movimentação de cargas (CRUVINEL *et al.*, 2012; MACEDO *et al.*, 2023), e emitem elevadas quantidades de CO₂ principal gás de efeito estufa (IPEA, 2000; LEITE *et al.*, 2020).

Diante dessa perspectiva, Monzoni; Biderman (2010) citam um conjunto de propostas de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no Brasil. Sendo uma delas o incentivo a uma maior utilização da cabotagem, já que segundo Potenza *et al.* (2023) a atividade de transporte, emitiu 203,8 milhões de toneladas de CO₂e em 2021, e os caminhões foram a maior fonte emissora, representaram 42% do montante emitido pelo setor.

Também é importante observar que ao comparar os três principais modais brasileiros¹, verifica-se que para transportar a mesma quantidade de carga de uma embarcação de seis mil toneladas, haveria necessidade de 172 carretas de 35 toneladas ou 86 vagões de setenta toneladas. O menor consumo de combustível por tonelada-quilômetro transportado vai ter como consequência a menor emissão de poluentes, um benefício ambiental (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Portanto, comparada ao transporte rodoviário e ferroviário, em termos de custo, capacidade de carga e

¹ Em anexo a tabela de comparação entre os modais, segundo indicadores de eficiência.

menor impacto ambiental, a cabotagem se torna uma alternativa viável para compor a cadeia de suprimentos de diversos setores.

Outro ponto importante se refere a considerável quantidade de acidentes de trânsito com caminhões, conforme os dados presentes no Painel CNT de Acidentes Rodoviários (CNT, 2023A), em 2022, foram registrados 106.545 acidentes nas rodovias federais, sendo 19.785 acidentes com o envolvimento de pelo menos um caminhão, representando 18,6% do total. Além disso, os custos com acidentes nessas rodovias totalizaram R\$ 12,9 bilhões, e considerando uma relação direta com a porcentagem de acidentes os custos com acidentes com caminhões totalizaram correspondentes R\$ 2,4 bi.

Além do mais, em um país como o Brasil com um território de dimensões continentais, que apresenta 7.400 km de costa marítima, além de, aproximadamente, 1.600 km de via navegável pelo Rio Amazonas, até Manaus, e ocupação demográfica que se caracteriza por ter 80% de sua população e 70% de suas indústrias concentradas no litoral, em uma faixa de, cerca de, 200 km ao longo da costa (BRASIL, 2019). Observa-se que somadas essas condições, a navegação de cabotagem tem papel estratégico na integração regional, tanto para o transporte de pessoas quanto de mercadorias, sendo um dos principais fatores para o desenvolvimento econômico e social do Brasil (CNT, 2006). Considerando, ainda, que, para distâncias superiores a 1.500 km, o transporte de carga comparativamente mais eficiente e de menor custo é aquele realizado pelo modal aquaviário (REBELO, 2011).

Nessa perspectiva, é possível e desejável, para o Brasil, melhorar o balanceamento dos modais de transporte utilizados, havendo margem para ampliação do uso do aquaviário, em geral, e da cabotagem, em particular (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Dessa forma, entende-se ser imprescindível a criação de uma política específica para o transporte de cabotagem, que garanta segurança regulatória para o transportador e confira confiabilidade ao usuário na eficiência do modal aquaviário.

Portanto, em 7 de janeiro de 2022, foi sancionado a Lei nº 14.301 que institui o *BR do Mar: Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem*, que busca ampliar o transporte marítimo de cabotagem pela costa brasileira para reduzir a dependência do transporte rodoviário no país. Já que, segundo De Andrade; Mattei (2011) a matriz logística brasileira é extremamente dependente do transporte

rodoviário, fato que pode ser considerado um problema a ser resolvido não só do ponto de vista econômico, mas também pela ótica do consumo energético e dos impactos ambientais que esta concentração no segmento rodoviário acarreta ao país.

Considerado por Monzoni; Biderman (2010) como uma proposta de política pública de incentivo a uma economia de baixo carbono por incentivar a cabotagem, a lei BR do Mar tem como objetivos incrementar a oferta e a qualidade do transporte por cabotagem; incentivar a concorrência e a competitividade na prestação do serviço; ampliar a disponibilidade de frota no território nacional; incentivar a formação, a capacitação e a qualificação de marítimos nacionais; estimular o desenvolvimento da indústria naval nacional de cabotagem; revisar a vinculação das políticas de navegação de cabotagem das políticas de construção naval; incentivar as operações especiais de cabotagem e os investimentos decorrentes em instalações portuárias, para atendimento de cargas em tipo, rota ou mercado ainda não existentes ou consolidados na cabotagem brasileira; e otimizar o uso de recursos advindos da arrecadação do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM) (SNPTA, 2020).

É importante salientar que a literatura econômica apresenta uma lacuna significativa na avaliação dos ganhos de produtividade da cabotagem, especialmente ao considerar a integração de aspectos econômicos e ambientais no mesmo modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC). A ausência de um modelo abrangente que avalie simultaneamente os ganhos financeiros e os benefícios ambientais dificulta a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais que maximizem o uso desse modal.

Dessa forma, preencher essa lacuna na literatura econômica não apenas fortaleceria a compreensão acadêmica sobre os ganhos de produtividade da cabotagem, mas também poderia impulsionar estratégias mais sustentáveis e eficientes no transporte de cargas, alinhando crescimento econômico e preservação ambiental. Sendo assim, o presente estudo tem o objetivo de identificar os efeitos econômicos e ambientais da lei BR do Mar, através da metodologia de EGC, com a

utilização do modelo multirregional e multissetorial *Brazilian Economic Analysis* (BREA).

Assim, esta pesquisa está organizada em seis capítulos, incluindo esta introdução. No segundo capítulo discute-se o papel da cabotagem no sistema de transporte brasileiro e seus impactos ambientais, destacando sua eficiência energética e seu potencial na redução das emissões de gases poluentes. O terceiro capítulo aprofunda a análise sobre os principais poluentes associados ao transporte de cargas, comparando os diferentes modais e evidenciando os benefícios ambientais da substituição do transporte rodoviário por alternativas mais sustentáveis. No quarto capítulo são descritos os procedimentos adotados na pesquisa, incluindo a aplicação do modelo de EGC, as fontes de dados utilizadas e os critérios para análise dos cenários simulados. O quinto capítulo apresenta os resultados das simulações, discutindo os impactos da ampliação da cabotagem sobre a economia e as emissões de CO₂. Por fim, o sexto capítulo sintetiza os achados da pesquisa, aponta suas limitações e propõe direções para futuras investigações e políticas públicas voltadas à sustentabilidade do setor de transportes.

3.2. Cabotagem e seus desdobramentos ambientais

O transporte de cargas é realizado por meio de cinco modos de transporte: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e o aéreo, os quais possuem características próprias que os diferem entre si (JÚNIOR *et al.*, 2015). A Constituição Federal, em seu Artigo 178º, dispõe que a ordenação dos transportes aéreo, aquático e terrestre, será estabelecida em lei, devendo, quanto à ordenação do transporte internacional, observar os acordos firmados pela União, atendido o princípio da reciprocidade. Ademais, o parágrafo único do referido artigo determina que “na ordenação do transporte aquático, a lei estabelecerá as condições em que o transporte de mercadorias na cabotagem e a navegação interior poderão ser feitos por embarcações estrangeiras” (EPL, 2020).

Dessa forma, em 1997 foi sancionada a Lei nº 9.432 que estabelece o ordenamento do transporte aquaviário. Conforme disposto no inciso IX, Artigo 2º, da

mencionada lei, a navegação de cabotagem é aquela “realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou está e as vias navegáveis interiores” (BRASIL, 1997). Como explica Fonseca (2015), cabotagem é todo transporte aquaviário nacional que se realiza total ou parcialmente pela via marítima costeira.

O Brasil se destaca por possuir um território de dimensões continentais, por apresentar 8,5 mil quilômetros de costa navegável, 19,5 mil quilômetros de hidrovias economicamente navegáveis e cerca de 58% da população concentrada em uma faixa de até 200 quilômetros do litoral (CNT, 2018). Todas essas particularidades são oportunas para que a navegação de cabotagem seja muito explorada no território brasileiro. Porém, o que se observa, atualmente, é que a navegação de cabotagem transporta um pouco menos de 11% da carga no país (TEIXEIRA *et al.*, 2018), mesmo sendo o meio de transporte mais eficiente, menos poluente e que apresenta o menor número de acidentes (SOARES, 2019; SOALHEIRO *et al.*, 2019; EPL, 2020).

Contudo, mesmo com a baixa participação, é considerada uma alternativa promissora para os próximos anos, tendo apresentado taxa média de crescimento de mais de 10% ao longo da última década, no segmento de contêineres de carga geral (EPL, 2021). E considerando o volume movimentado do ano de 2021 com relação ao ano anterior, a cabotagem já cresceu mais de 5% (ANTAQ, 2023).

Além disso, segundo dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) a cabotagem teve crescimento de 58,17% entre os anos de 2010 a 2022, chegando a 201,9 milhões de toneladas. No mesmo período, o desempenho do setor de contêineres teve crescimento de 249,85%, passando de 5.183 milhões de toneladas para 18.135 milhões de toneladas, exigindo o desenvolvimento equivalente da frota de porta contêineres para atender o mercado nacional, que passou de 4 embarcações em 2010 para 19 em 2021, um crescimento de 375%. Já com relação a quantidade total de embarcações, houve um aumento de 54,7%, passando de 117 embarcações em 2010 para 181 em 2021.

Ademais, como enfatizado anteriormente, o Brasil apresenta uma extensa costa para navegação, propiciando o grande uso da navegação de cabotagem, como pode ser observado na figura 4, em que é apresentado o mapa de linhas de cabotagem. A potencialidade operacional desse meio de transporte aliada às

características geográficas do Brasil, são aspectos essenciais para alavancar a eficiência do sistema de transporte nacional, capaz de remover os principais gargalos de movimentação de mercadorias existentes no país (EPL, 2020).

Figura 4: Portos da navegação de cabotagem.



Fonte: Elaborado por EPL (2020).

Portanto, é importante salientar, que a cabotagem possui enorme potencial de crescimento superior aos índices apresentados nos últimos anos, sendo inevitável não atribuir à cabotagem uma imensa importância para o escoamento de cargas ao longo do território brasileiro, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social do país e para a obtenção de uma matriz de transportes mais equilibrada (ANTAQ, 2021). A maior participação da cabotagem na matriz de transportes brasileira, especialmente para o transporte de cargas à longas distâncias, é uma alternativa que apresenta grande potencial para redução de custos e impactos ambientais, no que se refere ao transporte de cargas, sobretudo no Brasil (EPL, 2022).

3.2.1. BR do Mar

O transporte aquaviário possui benefícios que vão desde transportar maiores volumes de carga obtendo ganhos de escala e sustentabilidade ambiental, além de ampliar a segurança no transporte no que se refere à acidentes, furtos ou roubos de cargas (EPL, 2020). No entanto, a falta de informações sobre o setor, a carência de legislação adequada e o tempo de transporte resultam em uso limitado do modal (MIGUEL; JÉNIOR, 2021), havendo assim a necessidade de políticas públicas específicas de fomento à navegação de cabotagem para o transporte de cargas.

Dessa forma, no dia 7 de janeiro de 2022, o presidente da República, Jair Bolsonaro, sancionou a Lei nº 14.301 que institui o *BR do Mar: Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem*. O projeto BR do Mar foi uma iniciativa do Ministério da Infraestrutura que tem como objetivo incentivar a cabotagem no país, por meio do aumento de oferta, incentivo à concorrência, redução de custos envolvidos, expansão de rotas e maior eficiência da matriz de transportes brasileira (EPL, 2021).

O programa prevê a atuação em quatro eixos temáticos: frota, custos, portos e indústria naval, sendo desenvolvidas iniciativas específicas para cada um deles (EPL, 2021). Entre outras metas, o projeto visa ampliar o volume de contêineres transportados, por ano, de 1,2 milhão de TEUs (unidade equivalente a 20 pés), em 2019, para 2 milhões de TEUs, em 2022, além de ampliar em 40% a capacidade da frota marítima dedicada à cabotagem nos próximos três anos, excluindo as embarcações dedicadas ao transporte de petróleo e derivados (GOV, 2020). E, assim espera-se que com esse aumento haja uma redução no frete, que pode ser repassada aos consumidores finais, otimizando o fluxo comercial, além de gerar emprego e renda (EPL, 2021).

Entre os objetivos do programa, destaca-se: I. incrementar a oferta e a qualidade do transporte por cabotagem; II. incentivar a concorrência e a competitividade na prestação do serviço de transporte por cabotagem; III. ampliar a disponibilidade de frota no território nacional; IV. incentivar a formação, a capacitação e a qualificação de marítimos nacionais; V. estimular o desenvolvimento da indústria naval nacional de cabotagem; VI. revisar a vinculação das políticas de navegação de cabotagem das políticas de construção naval; VII. incentivar as

operações especiais de cabotagem e os investimentos decorrentes em instalações portuárias, para atendimento de cargas em tipo, rota ou mercado ainda não existentes ou consolidados na cabotagem brasileira; e VIII. otimizar o uso de recursos advindos da arrecadação do AFRMM (BRASIL, 2022).

É válido salientar que a cabotagem é um modal de alta capacidade, que liga portos dentro de um mesmo país, contudo não realiza o serviço individualmente. Desse modo, incita a intermodalidade, com conexões ferroviárias e rodoviárias, trazendo vantagens para todo o segmento de transportes (SOUZA, 2022). Ofertar os diferentes modos de transporte, para que sejam aproveitados conforme sua vocação é uma iniciativa que visa reduzir custos logísticos e impactos ambientais (EPL, 2022).

Sendo assim, a cabotagem se torna atrativa para trechos de longa distância. Estima-se como longa distância algo igual ou maior do que dois mil quilômetros (NAZÁRIO, 2000), não competindo diretamente com o modo rodoviário. Visto que, o transporte rodoviário continuará atendendo a demanda, com o objetivo de complementar a cabotagem, levando a mercadoria da origem ao porto e do porto ao consumidor final, realizando rotas mais curtas e atendendo um maior volume de carga em um menor tempo (EPL, 2020). Assim, um maior desenvolvimento da cabotagem integrado com o transporte rodoviário proporcionará maior eficiência logística para toda a cadeia de transportes.

Além disso, uma das razões pelas quais a cabotagem ainda figura como incipiente é o protecionismo (SOUZA, 2022). Segundo a lei 9.432/97, para que as EBN's possam operar, era necessário que a empresa fosse proprietária de navio, ou que tivesse um navio afretado a casco nu de outra empresa brasileira. Porém, a aquisição de embarcações passa a ser caracterizada como um custo afundado ou irre recuperável, ou seja, uma vez realizado não pode ser revertido.

Tal característica muitas vezes é um impeditivo a entrada de novos interessados no setor, além de dificultar a renovação da frota das empresas já atuantes. Estimativas apontam que o custo de produção de uma embarcação brasileira chega a ser 30% mais onerosa que embarcações produzidas no exterior. Essas disparidades refletem diretamente no custo pago pelos usuários pelo frete, e consequentemente no preço final do bem transportado (EPL, 2022). Diante disso, a

lei BR do Mar busca facilitar a expansão das operações da cabotagem e a entrada de novas empresas (GOV, 2020).

A principal mudança na legislação está na possibilidade de um investidor criar uma Empresa Brasileira de Navegação (EBN), sem a necessidade de comprovar a propriedade de embarcações brasileiras, o que antes era uma exigência da legislação que estava em vigor (Lei 9.432/97). Com o BR do Mar, as empresas poderão alugar navios estrangeiros, casco nu, ou seja, o afretador terá, por prazo determinado, a posse, uso e controle do navio, com suspensão da bandeira (SOUZA, 2022).

Assim sendo, com as operações especiais e os contratos de longo prazo, novos armadores poderão iniciar suas operações no Brasil com embarcações afretadas a tempo, sem a obrigação de ter embarcação própria. Esta flexibilização ocorrerá de forma escalonada, até 2023, com o intuito de reduzir a necessidade de capital para entrar no mercado, possibilitando o ingresso de um maior número de empresas no país (GOV, 2020).

Desse modo, o afretamento a tempo de navios de subsidiárias integrais no exterior aumenta a disponibilidade de frota no Brasil a custos operacionais mais próximos à realidade internacional. Vale salientar que, a alternativa mantém a EBN como responsável pela operação, permitindo maior responsabilização em relação a acidentes na operação, bem como maior comprometimento da embarcação com o mercado brasileiro, reduzindo a exposição ao mercado internacional (GOV, 2020).

Essa possibilidade, trará benefícios para a competição, pois, amplia-se a entrada de novos investidores no setor e extingue os dispêndios de recursos com a aquisição de frota própria, além de promover a melhoria dos serviços, aumento da oferta e redução nos valores de frete (EPL, 2020). Quanto mais protecionismo, maiores os custos e menos competição no setor, e aumentar a quantidade de navios disponíveis para o transporte de cargas é um dos maiores benefícios que a lei deve trazer ao país (SOUZA, 2022).

Outro ponto que merece destaque, é a possibilidade de utilizar meios eletrônicos para comprovar a entrega e o recebimento de mercadorias. Essa iniciativa reduz a burocracia e proporciona mais agilidade aos processos realizados

nos portos (EPL, 2020). Já que, um dos principais problemas identificados como entraves para o desenvolvimento da cabotagem nacional é a elevada burocracia nas operações em portos (CNT, 2013; BNDES, 2018; EPE, 2019).

Ademais, estimativas da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL) apontam que atualmente a cabotagem custa em média 60% menos que o modo rodoviário e 40% menos que o ferroviário (EPL, 2020). Dentre os principais fatores que contribuem para essa diferença, pode-se destacar: maior segurança no transporte (risco praticamente zero de roubo de carga); menor risco de avarias na carga; maior escala para transporte; simplificações trabalhistas; alterações tributárias; redução da burocracia; redução do tempo de carga e descarga nos portos, dentre outros. Ainda assim, a EPL concluiu que o BR do Mar pode gerar reduções de mais de 15% em relação ao valor praticado atualmente (EPL, 2021).

Por exemplo, um fluxo de contêineres de Manaus para Santos, por cabotagem, custa hoje, em média, R\$ 0,0423/Tonelada Quilômetro Útil (tku) para percorrer 6.112km. A implementação do BR do Mar tem o potencial de reduzir esse valor para R\$ 0,0360/tku. Outra rota avaliada é a de Santos para Suape (2.332 km), por cabotagem, que custa hoje, em média, R\$ 0,0423/tku e tem um potencial de reduzir para R\$ 0,0364/tku (EPL, 2021).

Também é importante destacar, o impacto nas emissões de poluentes. Segundo a estimativa feita pelo Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL) o fator de emissões de gases de efeito estufa da cabotagem é de 8gCO₂/TKU enquanto a média do modo rodoviário é de 52gCO₂/TKU. Ou seja, estimular o uso da cabotagem significa, também, que a sociedade colhe benefícios ambientais, com uma redução de aproximadamente 85% na emissão de gases de efeito estufa. Portanto, atingir a meta de transportar 2,7 milhões de contêineres por cabotagem significa a economia de até 5 milhões de toneladas de CO₂ que deixarão de ser emitidas em 2022 (EPL, 2020).

Portanto, além de gerar vantagens socioambientais importantes, como a geração de empregos, fortalecimento da indústria naval nacional, redução do número de acidentes e congestionamentos nas rodovias (EPL, 2021), inclui-se também a economia em fretes. Atingir 2,7 milhões de contêineres transportados por

cabotagem representa uma economia de até R\$19 bilhões quando comparado ao modo rodoviário, um expressivo ganho de competitividade para o setor de transportes brasileiro (EPL, 2020).

Diante disso, se torna essencial um estudo que identifique os efeitos econômicos e ambientais gerados da implementação dessa nova lei, com o intuito de direcionar as políticas públicas e embasar tecnicamente as tomadas de decisões voltadas ao incentivo e a ampliação de uso desse modal.

3.3. Emissão de poluentes

As mudanças climáticas são uma realidade comprovada cientificamente e constituem a mais séria ameaça ao bem-estar humano e aos ecossistemas naturais no século presente (MONZONI; BIDERMAN, 2010), e o excesso de emissão de gás carbônico interfere diretamente no equilíbrio térmico do planeta. O CO₂ retém calor nas camadas mais baixas da atmosfera, desequilibrando o clima e aumentando as médias de temperatura, prejudicando assim o meio ambiente e as mais variadas formas de vida. Dentre os danos causados pode-se citar: acidificação de rios e florestas, dificultando a vida de animais e o desenvolvimento da flora; mudanças climáticas e chuvas ácidas. Já os efeitos na saúde humana são causados principalmente pelas partículas destes poluentes suspensos no ar, provocando desde doenças no organismo como: gripe, bronquite e asma, até problemas mais severos como câncer de pulmão (SILVA *et al.*, 2016).

Poluente atmosférico é a designação para qualquer substância presente no ar que o torna impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, ou seja, inconveniente ao bem-estar público, danoso às matérias, à fauna e à flora ou, ainda, lesiva à segurança, à utilização da propriedade e atividades normais da comunidade (DRUMM *et al.*, 2014). A emissão de poluentes, em sua maioria, provém da queima de combustíveis, considerando a tecnologia utilizada no processo. O combustível usado reflete o principal elemento a configurar a natureza e a intensidade dos poluentes. No caso do transporte rodoviário de cargas, o óleo diesel é o combustível mais usado (VISCONDI *et al.*, 2016).

Desse modo, a emissão de CO₂ apresenta uma relação inversamente proporcional ao crescimento econômico, ou seja, quanto maior a emissão de CO₂,

menor será o crescimento econômico em longo prazo, devido ao aumento da poluição e emissão de gases causadores do efeito estufa, tornando o local menos atrativo para receber investimentos (CHANDRAN; TANG, 2013). E o Brasil enfrenta o duplo desafio de promover o desenvolvimento e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em busca de uma economia de baixo carbono.

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) o aumento da temperatura média na superfície é causado muito provavelmente pelo já observado aumento das emissões de gases de efeito estufa. Já com 1,1°C de aumento na temperatura terrestre, mudanças no sistema climático sem precedentes por séculos e até milênios hoje ocorrem em todas as regiões do mundo, do aumento do nível do mar a eventos extremos e o gelo marinho diminuindo cada vez mais (IPCC, 2023).

O IPCC também enfatiza o quão grande é o desafio de reduzir essas emissões globalmente, uma vez que o crescimento contínuo nas atividades de transporte de passageiros e carga poderia superar todas as medidas aplicadas para minimizar as emissões globais (IPCC, 2023). Como o CO₂ é emitido principalmente durante o uso de combustíveis fósseis, a busca contínua por meios mais eficientes de transporte representa não apenas uma oportunidade, mas uma necessidade.

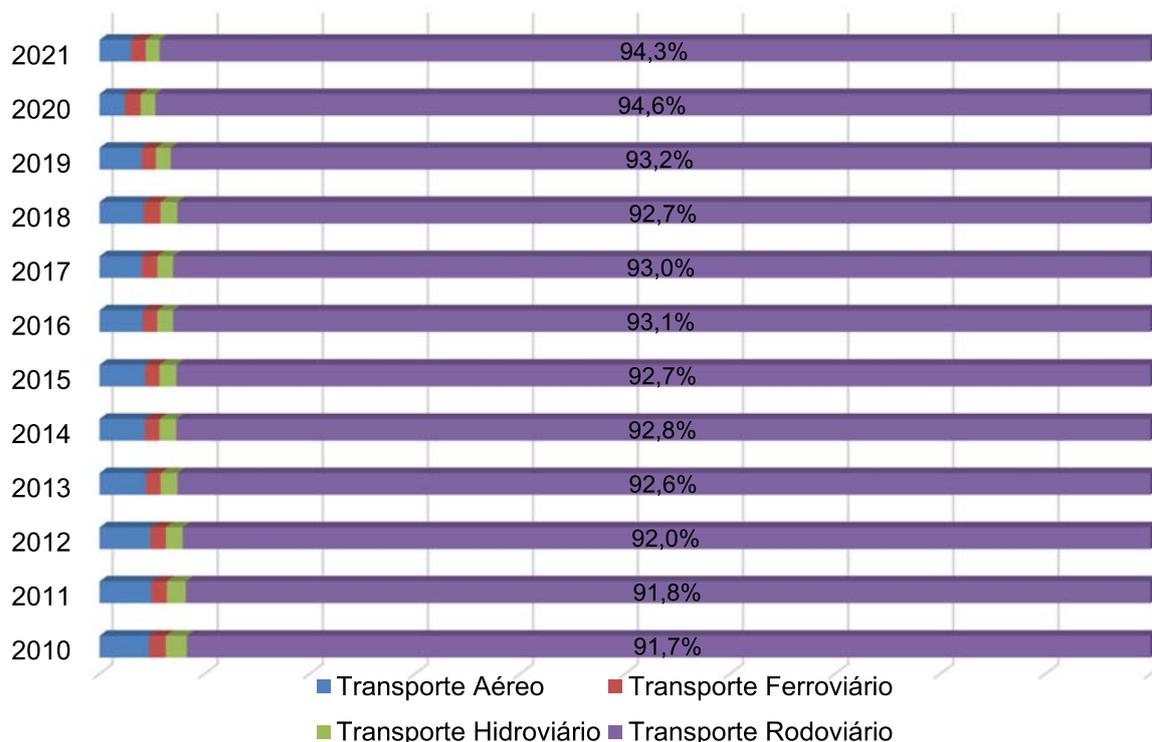
De acordo com o relatório *Transport and Climate Change Global Status Report 2nd edition* (SLOCAT, 2022) o setor de transporte contribui com uma parcela crescente das emissões mundiais de gases de efeito estufa. Durante o período de 2010 a 2019, foi o setor de combustão (queima de combustível fóssil) que mais cresceu globalmente. Em 2019, o transporte foi a segunda maior fonte de emissões de CO₂ depois do setor de energia, o transporte rodoviário (tanto de passageiros quanto de carga) contribuiu com quase três quartos (74%) das emissões de gases de efeito estufa do transporte.

Também, destaca-se que o transporte foi responsável por 30% da demanda global de energia final e por 23% das emissões globais diretas de CO₂ do setor de energia de 2019. Os maiores emissores em 2019 foram os EUA (1.788 milhões de toneladas de CO₂), China (986 milhões de toneladas), Índia (306 milhões de toneladas), Federação Russa (247 milhões de toneladas), Japão (187 milhões de toneladas) e Brasil (181 milhões de toneladas) (SLOCAT, 2022).

No Brasil, segundo o Potenza *et al.* (2023) durante o ano de 2021 as emissões da atividade de transporte tiveram um incremento de 10%, voltando para os níveis de 2017. O aumento foi puxado pelo consumo de óleo diesel em veículos pesados, que ultrapassou o patamar de 2014, ano de recorde de consumo desse combustível até então. De acordo com Angelo; Rittl (2019) o transporte de cargas permanece um segmento de emissões elevadas e mais difícil de equacionar, devido à predominância do modo rodoviário no país (65% do transporte de carga é feito por rodovias, contra 53% na Austrália, um país com dimensões territoriais semelhantes às brasileiras e que também apresenta predomínio deste modo de transporte). Além disso, através do gráfico 6 observa-se que o modal rodoviário é o principal emissor de CO₂ quando comparado aos outros modais de transporte, sendo responsável em 2021 por 94,3% das emissões de CO₂ do setor de transportes.

Outro fator que intensifica o impacto ambiental, sobretudo no que diz respeito à emissão de GEE, poluentes atmosféricos e ao consumo de energia é a alta idade média da frota que realiza o transporte rodoviário no Brasil. Segundo a CNT (2019) os caminhoneiros do Brasil estão dirigindo veículos cada vez mais velhos. A idade média dos caminhões chega a 15,2 anos. Isso é 1,3 ano a mais do que o apurado na edição de 2016 da mesma pesquisa, quando a idade média dos veículos conduzidos pelos entrevistados alcançava 13,9 anos. Esse envelhecimento foi observado tanto na frota de caminhoneiros autônomos (que passou de 16,9 anos, em 2016, para 18,4 anos, em 2019) quanto nos veículos conduzidos por empregados de frota (de 7,5 anos para 8,6 anos). Trata-se de uma idade avançada, que reflete diretamente na produtividade, bem como na emissão de poluentes (ANTT, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

Gráfico 6: Emissão de dióxido de carbono – Setor transporte (% participação).



Fonte: Elaborado pela autora com base em GOV (2022).

Diante dessas considerações, e conforme já citado, há uma necessidade de políticas públicas de incentivo a uma economia de baixo carbono. Então, fica evidente que é preciso avançar na questão do equilíbrio da matriz de transportes, já que a cabotagem no país é uma alternativa essencial na composição de um sistema logístico integrado, além de contribuir para a redução de emissão de poluentes.

No contexto dessa discussão, este artigo se propõe a avaliar os impactos econômicos e ambientais que serão gerados com a implementação da lei BR do mar. Haja visto que, uma medida plausível é diminuir o uso do modal rodoviário para transporte de cargas através do incentivo ao transporte de navegação por cabotagem.

3.4. Metodologia

O modelo EGC é baseado na teoria do equilíbrio geral (WALRAS, 1874) e foi desenvolvido com base no modelo de insumo-produto e o modelo de programação linear (BLITZER *et al.*, 1975; TAYLOR *et al.*, 1980). Eles levam em consideração

feedbacks microeconômicos e macroeconômicos por meio de ajustes de preços de bens e custos de produção quando ocorrem choques, como um desenvolvimento tecnológico relacionado à produção ou uma mudança na preferência de consumo (LIMA, 2017). Dessa forma, eles têm sido amplamente utilizados na área econômica e social. Com a proliferação de problemas ambientais, esse modelo tem sido amplamente utilizado em pesquisas sobre recursos e meio ambiente, principalmente em políticas relacionadas à conservação de recursos e energia, redução de emissão de carbono e redução de emissão de poluentes (LIU *et al.*, 2020).

Sendo assim, a utilização da abordagem de equilíbrio geral tem ganhado força na avaliação de impactos das políticas ambientais em uma economia (RIBEIRO *et al.*, 2018). Tais modelos possibilitam a simulação dos efeitos de diferentes tipos de choques sobre a alocação de recursos na economia, sendo em geral empregados com o intuito de se preverem e avaliarem os impactos de políticas econômicas (FRANCO *et al.*, 2022). O aumento no interesse por este tema se justifica pelo fato que uma política ambiental que tenha por objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa pode ter efeitos sobre preços, quantidades, além da estrutura da economia, visto que, o comportamento dos agentes é também afetado pelas emissões de poluição na produção e consumo, e por políticas e/ou medidas de controle de poluição (RIBEIRO *et al.*, 2018).

No mesmo sentido, Gurgel; Laurenzana (2016) afirmam que a aplicação de modelos de equilíbrio geral é justificada quando políticas ou choques exógenos são capazes de impactar vários setores direta ou indiretamente, gerando efeitos que se espalham por toda a economia. Esse é o caso de políticas de redução de emissões de gases de efeito estufa, que apresentam um alcance amplo em termos de dimensões geográficas (diversas regiões e países do globo) e econômicas (vários setores e agentes da economia), com efeitos consideráveis esperados na alocação de recursos nas economias regionais, nacionais e globais. Dessa forma, destaca-se que existem diversas literaturas com aplicações que consideram restrições às emissões de gases de efeito estufa, porém, considerando os mais recentes e apropriados para o presente estudo estão: Franco *et al.* (2022), Moosavian *et al.* (2022) e Hu *et al.* (2021).

Autores como Franco *et al.* (2022) simularam os prováveis impactos econômicos decorrentes da proposta brasileira na XXI Conferência das Partes

(COP21) de reduzir em 37% suas emissões de gases de efeito estufa, em relação aos níveis de 2005, até 2025. Foi utilizado o modelo *BeGreen*, um modelo de EGC dinâmico-recursivo com módulos de especificação energética e ambiental que permitem agrupamentos por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias) e atividade emissora. Os resultados indicam um decréscimo acumulado de -3,3% do produto interno bruto (PIB) real, em 2025, em relação ao cenário-base. Conforme esperado, os setores com mais dependência em relação à queima de combustíveis, ou com elevada intensidade de emissões nos seus processos produtivos, seriam os mais negativamente afetados.

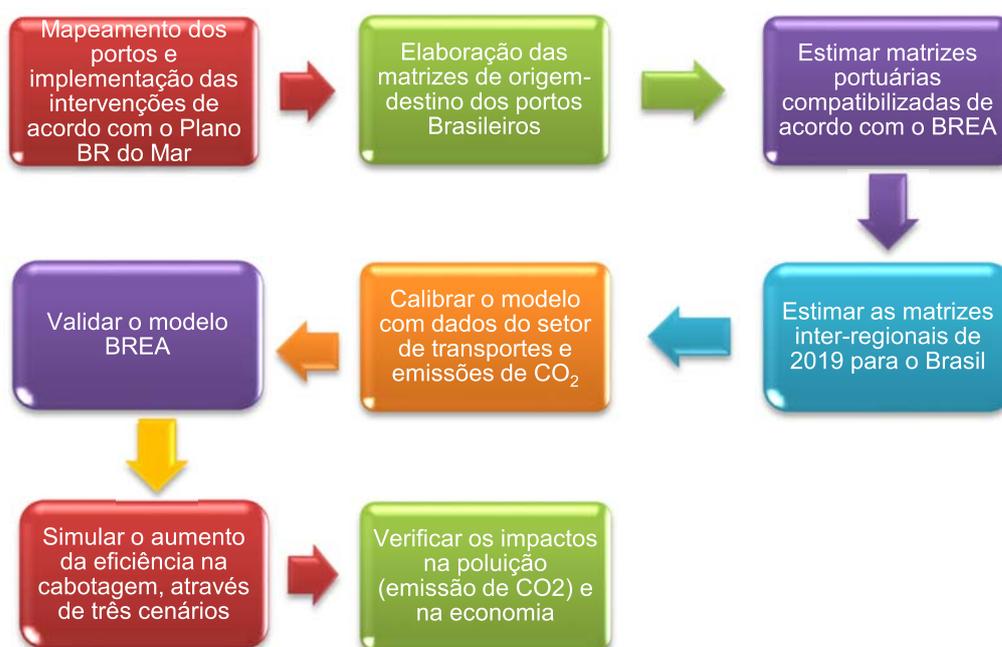
Já o estudo de Moosavian *et al.* (2022) é baseado em um modelo de equilíbrio geral na forma de um sistema de equações não lineares. O modelo foi calibrado para o ano de referência de 2017 utilizando a tabela de dados adotada na economia do Irã. Foi examinado o efeito da aplicação do imposto sobre carbono em duas políticas, com redistribuição (compensação) e sem redistribuição (sem compensação) do imposto sobre o rendimento entre as famílias. Os resultados da simulação mostram que a tributação sem redistribuição das receitas fiscais diminui o bem-estar e o orçamento efetivamente consumido das famílias em 6,2%, mas na política com compensação das receitas fiscais, estes índices aumentam 0,8%. O PIB diminui cerca de 1,7% e 2,1% em ambas as políticas, respectivamente, enquanto o índice de preços no consumidor (IPC) em ambos os cenários aumenta cerca de 6,4% e 8%, respectivamente. De acordo com os resultados desta investigação, a tributação do carbono com a redistribuição das receitas é uma política adequada para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e, ao mesmo tempo, aderir aos compromissos internacionais.

Hu *et al.* (2021) avalia os efeitos de um imposto sobre recursos e um imposto sobre carbono na China. Os pontos fortes e fracos das duas políticas são comparados na perspectiva da utilização de energia, das emissões atmosféricas, da macroeconomia, das receitas fiscais do governo, do rendimento das famílias e do lucro líquido das empresas. Através dos resultados observa-se que um imposto sobre o carbono leva a uma redução de todos os tipos de consumo de energia. Um imposto sobre carbono de 1 yuan/tonelada de CO_2 pode reduzir as emissões de CO_2 em 2.100 toneladas e reduzir significativamente as emissões de SO_2 , NO_x , $PM_{2.5}$ e PM_{10} . Do ponto de vista da utilização de energia, das emissões de carbono e das

emissões de poluentes, o efeito de um imposto sobre o carbono é significativamente melhor do que o de um imposto sobre os recursos. Se a taxa de um imposto sobre recursos aumentar em 50%, ou se um imposto sobre o carbono for cobrado à taxa de 4 yuan/tonelada de CO_2 , a economia da China (com base no PIB) diminuirá 0,1%.

A figura 5 apresenta o fluxograma da metodologia proposta que vai se dar a partir da utilização do modelo de EGC BREA, que inicialmente foi desenvolvido para analisar projeções de uso da terra no Brasil. Agora, serão incluídas as modificações necessárias para evidenciar o setor de transportes, mais especificamente, o transporte de cargas, com o intuito de verificar os impactos ambientais e econômicos de uma maior utilização da cabotagem na matriz de transportes brasileira.

Figura 5: Fluxograma da metodologia proposta.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.1. Brazilian Economic Analysis – BREA

O BREA é um modelo de equilíbrio geral estático computável, multirregional e multissetorial que representa a economia brasileira em seis regiões: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste, Nordeste Cerrado – MATOPIBA e Norte. A figura 6 mostra a representação das regiões do modelo.

Figura 6: Regiões do BREA.



Fonte: Elaborado por Lima (2017) com base em IBGE (2015).

De acordo com Lima (2017), a estrutura de demanda final de cada região é composta de despesas públicas e privadas - consumo e investimento - em bens. O modelo é baseado no comportamento otimizador e os agentes produzem, consomem e vendem serviços e produtos. Os consumidores com suas restrições orçamentárias e preferências demandam bens maximizando sua função de utilidade. As preferências são hipoteticamente contínuas e convexas, e suas funções de demanda contínua resultantes são zero grau homogêneas em relação aos preços, ou seja, apenas os preços relativos podem ser determinados. Do lado da produção, a tecnologia é descrita por uma função de produção com retornos constantes de escala combinando insumos intermediários e fatores primários (capital, trabalho e terra). Em equilíbrio, o lucro das empresas é zero. Presume-se que as empresas tenham uma tecnologia de produção específica e fatores de demanda para minimizar seus custos. O modelo permite a análise dos efeitos diretos e indiretos decorrentes de mudanças nas políticas públicas, como choques tarifários, alíquotas de impostos e dotações. O modelo é baseado na nomenclatura *GTAPinGAMS* e é escrito em linguagem *Mathematical Programming System for General Equilibrium Analysis* (MSPGE), projetado e resolvido como um problema de complementaridade mista não linear na linguagem de programação GAMS (RUTHERFORD; PALTSEV, 2000; RUTHERFORD, 2005).

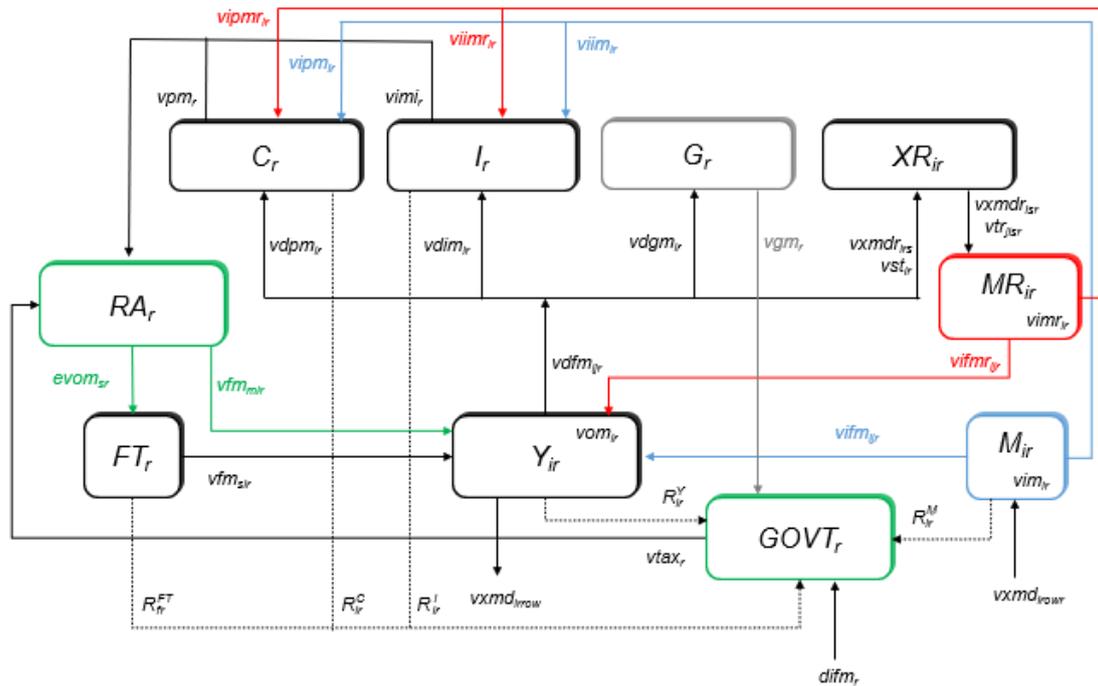
3.4.1.1. Estrutura Econômica

A figura 7 mostra a estrutura econômica subjacente ao modelo BREA. Os símbolos neste fluxograma correspondem às variáveis do modelo econômico. Y_{ir} retrata a produção de bens i na região, r , C_r , I_r e G_r retratam o consumo privado, o investimento e a demanda pública, respectivamente. XR_{ir} e MR_{ir} representam o comércio regional da mercadoria i na região r , e M_{ir} a importação da mercadoria i na região r . RA_r e $GOVT_r$ são as famílias representativas e os consumidores do governo, e FT_r , a atividade por meio da qual o fator de produção “lento” é alocado a setores individuais. Os fluxos de commodities e de mercado aparecem em linhas sólidas e as linhas pontilhadas representam os fluxos de impostos. A produção doméstica (vom_{ir}) é distribuída para a demanda intermediária ($vdfm_{ijr}$) e para os vetores da demanda final, como o consumo doméstico ($vdpm_{ir}$), investimento ($vdim_{ir}$), demanda do governo ($vdgm_{ir}$), outras regiões de demanda no Brasil ($vxmdr_{isr}$) e exportação ($vxmdr_{irs}$).

A modificação realizada para atender as finalidades propostas se encontra na inclusão das margens de transportes dadas como vst_{ir} (custo de transporte para exportar insumos) e vtr_{jisr} (custo de transporte para importar insumos) nos parâmetros. Ao importar um insumo esse valor total está no parâmetro $vimr_{ir}$ (importações totais de i em diferentes parcelas em cada região), que é composto pelo consumo intermediário $vifmr_{ijr}$ + consumo final + investimento. Percebe-se que o consumo final + investimento não é especificado, pois não será considerado margens na demanda final (não faz sentido supor que os consumidores usam cabotagem para receber seus produtos), a importação atende à demanda intermediária $vifmr_{ijr}$ e demanda final. Já ao exportar um insumo esse valor total está no parâmetro $vxmdr_{irs}$, que são as vendas totais de i da região r para s . O equilíbrio entre oferta e demanda do fluxo de serviços de transporte j requer que a soma das exportações desse serviço entre todas as regiões (vst_{ir}) seja igual a soma de todos os fluxos bilaterais de comércio dos insumos (vtr_{jisr}).

$$\sum_r vst_{jr} = \sum_{isr} vtr_{jisr}$$

Figura 7: Estrutura Econômica do modelo BREA.

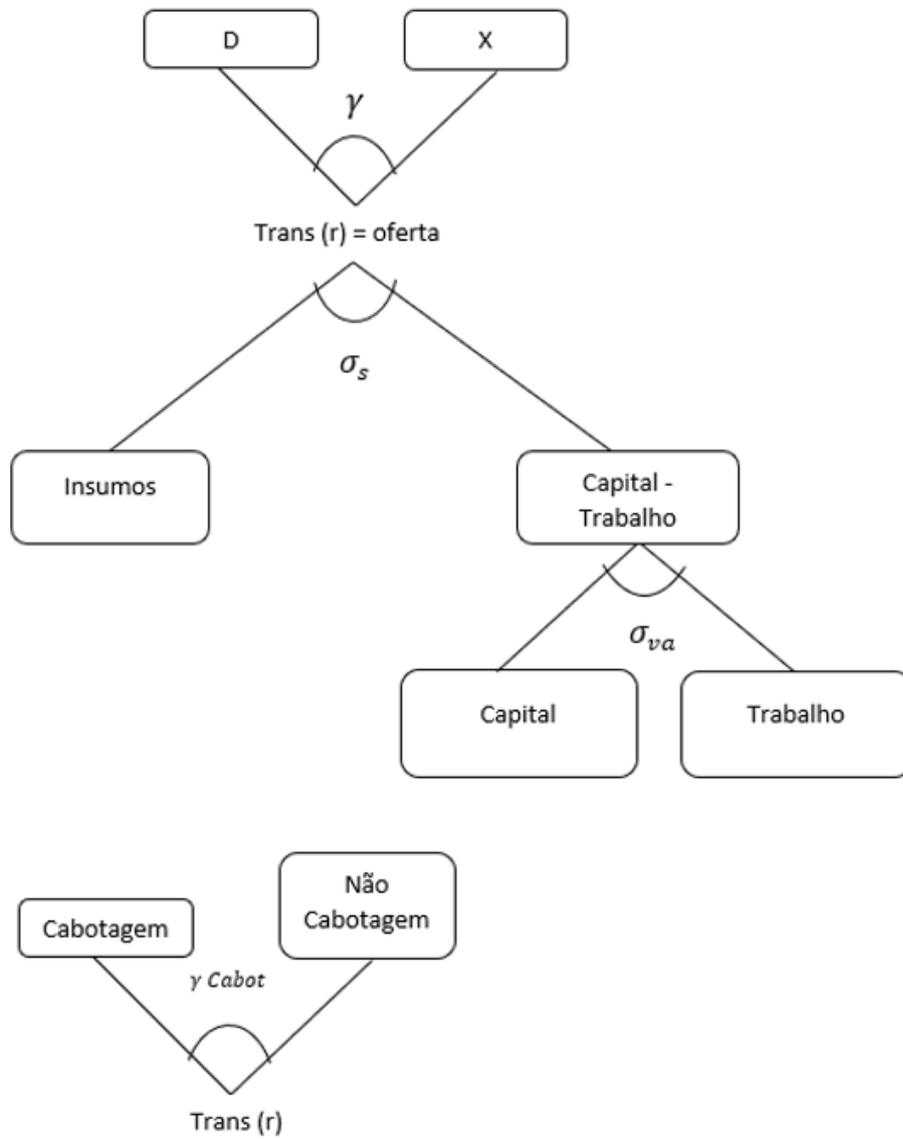


Fonte: Elaborado pela autora com base em Lima (2017).

A representação da tecnologia de transporte é concebida de forma a refletir a realidade logística brasileira, com ênfase na desagregação da oferta e do uso dos serviços de transporte por modal e por região. A estrutura distingue, de maneira explícita, o transporte regional — limitado à circulação dentro de uma mesma unidade federativa — e o transporte inter-regional, que abrange deslocamentos entre diferentes regiões do país. Este último é desmembrado entre cabotagem e não cabotagem, o que permite isolar os efeitos econômicos e ambientais associados à navegação marítima de curta distância.

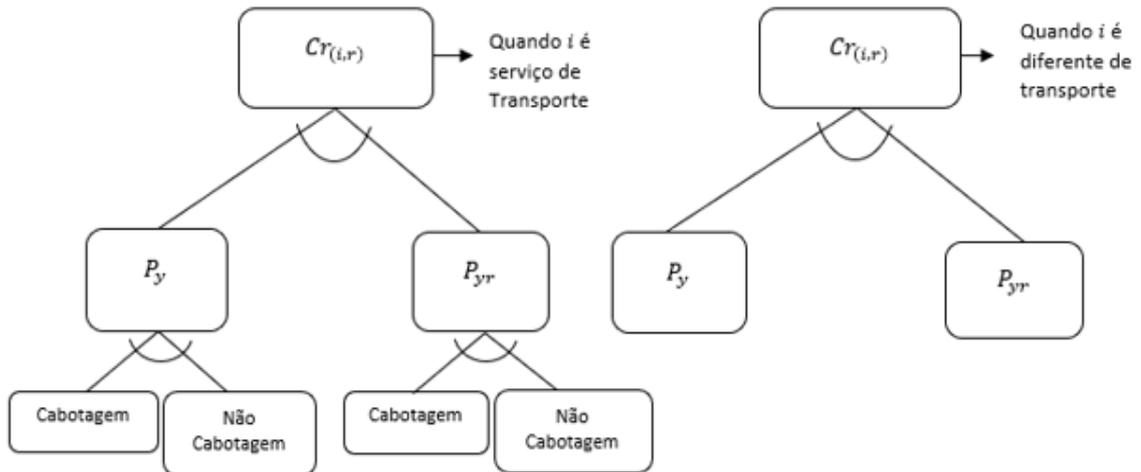
Essa configuração é representada na figura 8, na qual se observa que a oferta doméstica de transporte (D) é utilizada amplamente pela economia, seja no consumo final, nos investimentos ou no consumo intermediário das atividades produtivas. No caso específico do consumo das famílias (figura 9), o modelo considera a possibilidade de escolha entre transporte regional e inter-regional, sendo que, neste último, existe substituição possível entre cabotagem e não cabotagem, conforme a estrutura de custos relativa e a eficiência dos modais disponíveis.

Figura 8: Tecnologia de transporte no modelo BREA.



Fonte: Elaborado pela autora.

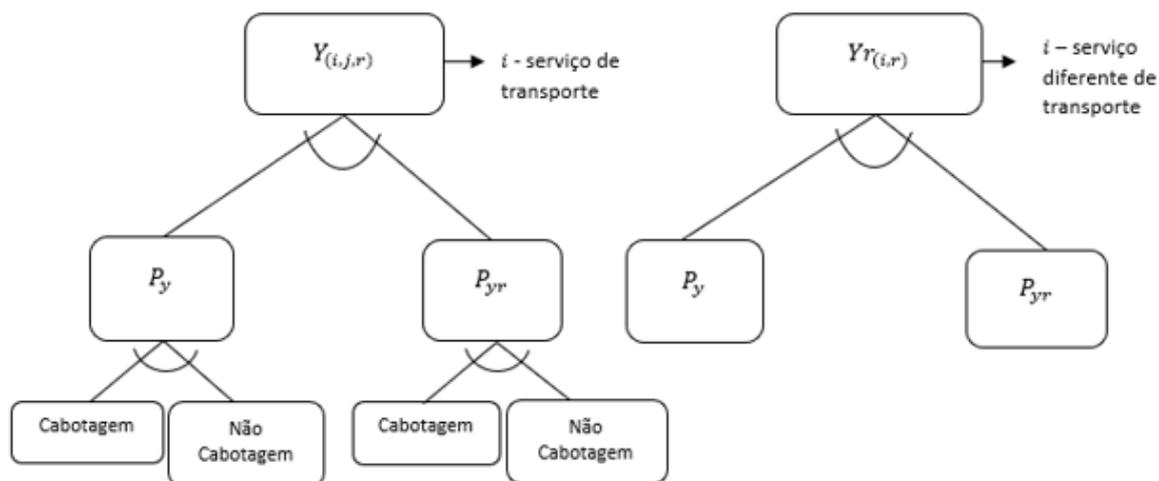
Figura 9: Consumo das famílias no modelo BREA.



Fonte: Elaborado pela autora.

No que se refere ao consumo intermediário (figura 10), cada setor produtivo localizado na região (r) pode adquirir insumos (i), inclusive serviços de transporte, tanto de fornecedores locais quanto de outras regiões do país. Quando o insumo em questão é o próprio transporte inter-regional, o modelo possibilita a substituição entre os dois modais (cabotagem e não cabotagem), permitindo capturar os efeitos da reconfiguração logística decorrente de ganhos de produtividade no transporte marítimo.

Figura 10: Consumo intermediário no modelo BREA.



Fonte: Elaborado pela autora.

A simulação dos impactos da política BR do Mar no modelo BREA é operacionalizada por meio da introdução de choques exógenos de produtividade sobre a margem de transporte associada à cabotagem. Tais choques, aplicados como variações positivas de 5%, 15% e 30%, simulam cenários em que a eficiência da navegação costeira brasileira é progressivamente ampliada, seja por investimentos em infraestrutura portuária, redução de barreiras regulatórias ou modernização da frota.

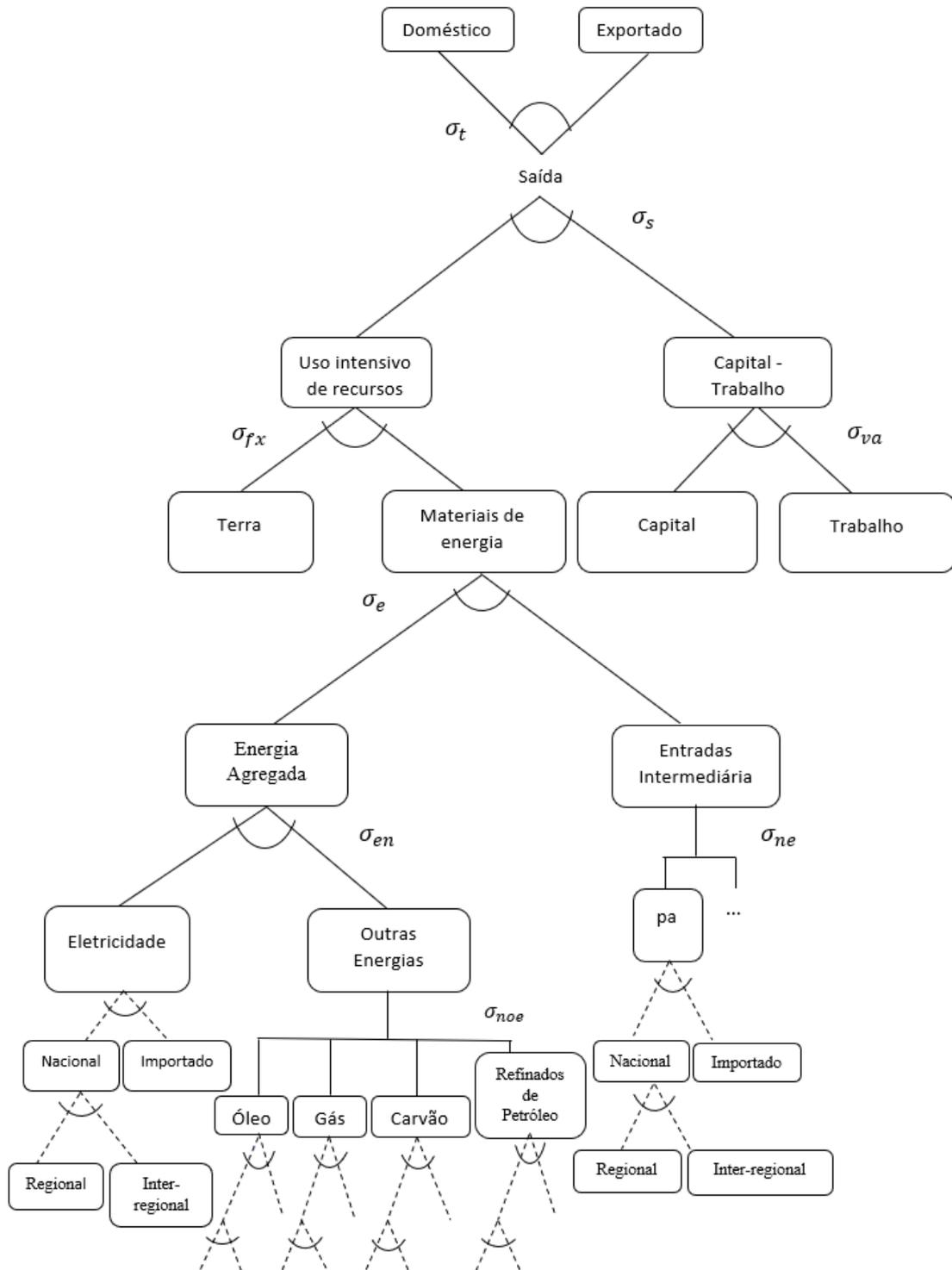
A incorporação dessa estrutura logística no modelo permite analisar de forma detalhada como a expansão da cabotagem pode alterar os fluxos comerciais, a composição setorial da produção, a alocação regional de recursos e os impactos ambientais associados ao transporte. Ao mesmo tempo, a possibilidade de substituição entre modais garante que o modelo capte os efeitos distributivos e as realocações competitivas entre regiões, contribuindo para uma compreensão abrangente dos efeitos da política em análise.

3.4.1.2. Estrutura dos setores de produção

No modelo BREA as tecnologias de produção são representadas por funções aninhadas de elasticidade constante de substituição (CES). A estrutura aninhada

permite maior flexibilidade para substituição de insumos, o que é conveniente quando existe um maior nível de desagregação setorial, mas requer a disponibilidade de elasticidades de substituição relacionadas a cada ninho. Na figura 11 a estrutura mostra como vários insumos são agregados de forma aninhada para representar a produção de tecnologia regional e os componentes em linha tracejada denotam funções separadas (LIMA, 2017).

Figura 11: Estrutura dos setores de produção do modelo BREA.

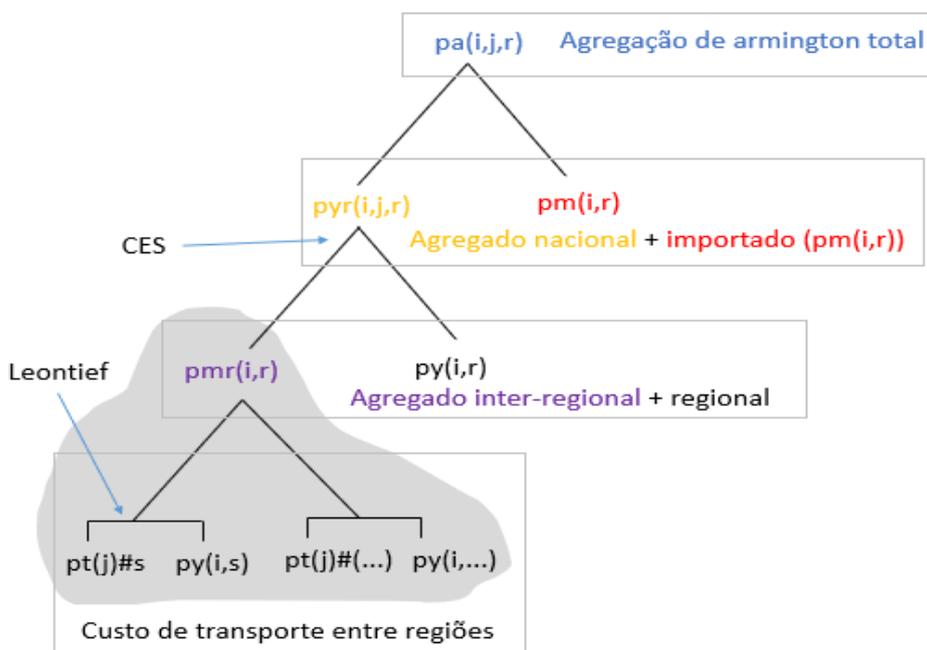


Fonte: Elaborado pela autora com base em Lima (2017).

A modificação realizada na estrutura dos setores de produção se refere a especificação do setor de transportes, na qual é apresentada na figura 12. Pode-se observar que as compras totais de um insumo i do setor j na região r são divididas

em: agregado nacional $pyr_{i,j,r}$ e importado do resto do mundo $py_{i,r}$. O agregado nacional é composto da demanda regional $py_{i,r}$ e do que vem de insumo das demais regiões $pmr_{i,r}$. Esse último é composto por uma combinação dos insumos que vem das outras 5 regiões do modelo pagando a margem de transporte $pt(j)$, onde $j = trans$ (transporte). O produto composto $pmr_{i,r}$ é uma parcela $py_{i,s}$ de cada região s pagando por isso a margem de transporte específica do setor j para cada ($\#$) s . O desenho se modificou para denotar uma Leontief.

Figura 12: Estrutura dos setores de produção do modelo BREA com o setor de transportes.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Lima (2017).

3.4.1.3. Validação do modelo BREA

A abordagem de EGC é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar quantitativamente as ramificações econômicas de um (conjunto de) choques de políticas dentro de um sistema econômico inclusivo (BECKMAN *et al.*, 2011), devido, em grande parte, à sua capacidade de simular os impactos da adoção de políticas prospectivas em consideração as interações intersetoriais e internacionais (VAN DIJK *et al.*, 2016). Esses modelos têm um nível de desagregação que permite a análise de mudanças estruturais, mas também capturam a natureza interdependente

da produção, demanda e comércio dentro de uma estrutura de equilíbrio geral (DOI *et al.*, 2001).

Inicialmente, a demanda por trabalhos com EGC foi impulsionada, principalmente, por organizações orientadas para políticas e governos que exigem informações detalhadas sobre "como" e "por que" mudanças na política econômica afetam diferentes setores e atores dentro de uma economia. Quanto à credibilidade dos modelos de EGC, pode-se salientar uma constante evolução nas últimas duas décadas, o que resultou em uma grande quantidade de literatura com essa metodologia (VAN DIJK *et al.*, 2016). Grande parte dessa literatura, era voltada para análises de políticas comerciais (por exemplo, Devarajan; Robinson, 1993) e cenários de integração de mercado (por exemplo, Bach *et al.*, 2000), mas posteriormente se ramificou em outras áreas da literatura acadêmica, na qual, incluem (entre outras) o turismo (BLAKE; SINCLAIR, 2003), energia renovável (BÖHRINGER; LÖSCHEL, 2006), mudanças climáticas (BÖHRINGER; RUTHERFORD, 2010), biocombustíveis (TAHERIPOUR *et al.*, 2011) e portos (CHEN *et al.*, 2011; LEE *et al.*, 2012).

Atualmente, a modelagem de EGC sofreu avanços significativos relacionados ao desempenho computacional, adaptabilidade e flexibilidade (ou seja, *Generalized Algebraic Modelling System* - GAMS, *GAMS / Mathematical Programming System for General Equilibrium* - MPSGE) e pacotes de *software* especializados (*General Equilibrium Modelling Package* - GEMPACK), acesso aberto aos modelos e treinamento associado (*Global Trade Analysis Project* - GTAP, GLOBE) e acessível disponibilidade de bancos de dados sofisticados, por exemplo, banco de dados GTAP (VAN DIJK *et al.*, 2016). Possibilitando assim uma maior sofisticação das análises e resultados mais precisos.

No entanto, ainda assim, os modelos de EGC são frequentemente criticados como sendo insuficientemente validados e há um grande interesse em corrigir esta limitação. Contudo, a gama de modelos atualmente em uso é bastante ampla e o desafio da validação é muito complexo (BALDOS; HERTEL, 2013). Beckman *et al.* (2011) afirmam que para que os modelos de EGC ganhem destaque na análise de políticas, existe a necessidade de métodos que comprovem que o modelo seja uma representação precisa da economia real. Da mesma forma, Kehoe (2003) observa

que para ganhar credibilidade os modelos devem ser rigorosamente testados *ex post* para garantir que os resultados coincidam com os dados.

O processo de validação, se refere a uma demonstração de que os resultados foram calculados corretamente e que eles seguem a teoria e os dados do modelo. Em um segundo nível, a validação se refere a uma demonstração de que a explicação dos resultados de um modelador é um reflexo legítimo da forma como o modelo funciona. Este tipo de validação é vital para avaliar: o que foi levado em consideração em uma análise; se os dados do modelo sobre as partes da economia com quais as análises em questão são atualizadas e precisas; e se os mecanismos construídos no modelo são uma representação adequada de como as partes relevantes da economia se comportam (DIXON; RIMMER, 2013).

Além disso, com o uso generalizado de modelos de EGC multirregionais e multissetoriais, houve uma necessidade crescente de fornecer uma validação da "linha de base" comumente empregada ou do modelo como cenário usual, sobre o qual são utilizados em análises de política subsequentes em áreas tão amplas como (entre outras) mudanças no clima, segurança alimentar e liberalização do comércio (VAN DIJK *et al.*, 2016). Sendo importante não apenas para ganhar maior valorização da necessidade de gerar melhores previsões de linha de base, mas também de melhorar a credibilidade das avaliações de política econômica quantitativa comissionadas como parte de um sistema integrado de estudo de avaliação.

Sendo assim, Gass (1983) fornece o ponto de partida para a discussão da validação de modelos de simulação. Ele enfatiza a necessidade de credibilidade em simulações relacionadas a políticas, mas sugere que tais modelos nunca podem ser verdadeiramente validados. No entanto, ao submeter um modelo de simulação a testes de invalidação, podemos ficar mais confiantes de que o modelo não é inválido, melhorando assim sua credibilidade. Gass (1983) argumenta que a preocupação central dos modelos de política deve ser a validade replicativa, em oposição, por exemplo, a um foco singular nas suposições teóricas subjacentes de um modelo.

Segundo Van Dijk *et al.* (2016) existem duas abordagens para validar modelos de EGC. Primeiro, o que chamamos de abordagem "parcial", que se concentra em quão bem o modelo é capaz de lidar com choques de preços. E a

segunda abordagem é referida como a abordagem "histórica" (DIXON; RIMMER, 2010, 2013), que se baseia em simulações históricas para validar modelos de EGC de um único país com o objetivo de melhorar a credibilidade da linha de base do modelo.

Na primeira abordagem, as flutuações de preço de uma única mercadoria projetada pelo modelo são comparadas com os padrões do mundo real. Normalmente, são selecionadas as *commodities* que apresentam alta volatilidade de preços, devido a choques de oferta e demanda, como produtos agrícolas. Como uma primeira etapa, a análise de série temporal é usada para estimar a distribuição dos choques de produção causados por eventos aleatórios para cada região do modelo. Posteriormente, o padrão observado é imitado pelo modelo, introduzindo choques de produtividade usando simulação estocástica. Finalmente, a variação do mundo real nos preços das *commodities* é comparada com a variação dos preços que resultam do modelo (VAN DIJK *et al.*, 2016).

Dessa forma, empregando o modelo GTAP, Valenzuela *et al.* (2007) e Beckman *et al.* (2011) utilizam esta técnica para examinar a volatilidade nos mercados de trigo e petróleo, respectivamente. Curiosamente, ambos os artigos relatam que o modelo subestima os impactos no mundo real e os autores argumentam que isso pode ser (parcialmente) remediado modelando arranjos institucionais do mundo real (no caso do trigo) ou melhorando a parametrização dentro dos ninhos de produção (no caso do petróleo).

Já com relação a segunda abordagem, para uma primeira etapa, uma simulação histórica é executada onde o modelo é calibrado usando fontes de dados secundárias de movimentos reais nos preços e quantidades para consumo, exportações, importações, gastos do governo desagregados por *commodities*, mudanças no emprego, investimento e estoques de capital desagregados por indústria. Ao tratar essas informações como exógenas, as mudanças nas preferências e tecnologias do consumidor (ou seja, o aumento do fator de mudança técnica) tornam-se endógenas e podem ser quantificadas. Em segundo lugar, presume-se que as mudanças calibradas nas preferências e tecnologias de períodos passados refletem com precisão os desenvolvimentos futuros, que são, portanto, usados como variáveis exógenas em uma simulação de previsão (VAN DIJK *et al.*, 2016).

Juntamente com as projeções para uma série de variáveis agregadas de nível macro, como consumo total e Produto Interno Bruto (PIB), as previsões são feitas no nível detalhado da indústria (por exemplo, produção, capital, trabalho, importações e exportações), bem como consumo e gastos do governo. Finalmente, os resultados do modelo são comparados com os dados reais para o período de simulação da previsão. Ao introduzir sucessivamente o padrão "real" de variáveis exógenas (por exemplo, macro variáveis, comércio e tarifas, tecnologia e preferências), o impacto de diferentes fatores exógenos na previsão pode ser medido (VAN DIJK *et al.*, 2016). Devarajan; Robinson (2002) apontam que ao fazer isso, quaisquer deficiências no modelo pode ser melhor compreendido e pode-se trabalhar para melhorar eles.

Sendo assim, Arndt *et al.* (2002) utilizam esta ideia para oferecer estimativas baseadas na entropia máxima de parâmetros comportamentais em um modelo EGC de Moçambique. Kehoe (2003) observa que se os modelos de EGC são capazes de capturar o impacto de eventos de política importantes, então a confiança seria construída na aplicação de um modelo com a mesma estrutura teórica para experimentos posteriores. Em seu trabalho sobre a economia espanhola, Kehoe *et al.* (1995) testam a capacidade preditiva de seu modelo com relação a mudanças nos preços relativos, alocação de recursos e especificações alternativas de fechamento, e descobrem que, com alguns ajustes, o modelo replica bem os resultados históricos.

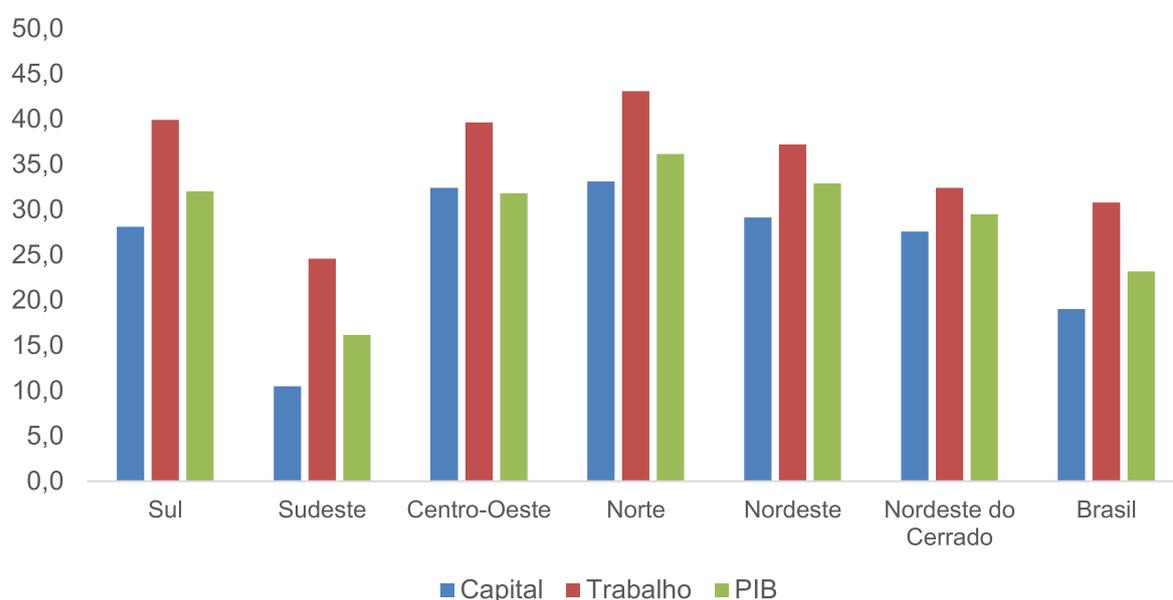
Dixon; Rimmer (2010) aplicaram o método a um modelo de EGC dinâmico recursivo de 500 indústrias dos Estados Unidos (USAGE). Usando pesos uniformes para todas as mercadorias, eles encontraram um erro absoluto médio de 19 % entre a previsão do modelo e a variação percentual real da produção. Embora o número pareça alto, o estudo revelou que as previsões de USAGE ainda eram quase duas vezes melhores do que uma simples extrapolação de tendências anteriores. Eles salientam que usar informações sobre tendências passadas para prever o desenvolvimento futuro é a abordagem mais básica para a previsão e ajuda a colocar os resultados do modelo em perspectiva.

No caso presente, também se utiliza a abordagem de validação histórica, tendo como objetivo a validação do modelo de EGC BREA. Inicialmente, foi verificado através dos dados das contas nacionais a taxa de crescimento médio

anual do capital e trabalho para o período de 2016 à 2019, em seguida foram feitas as mesmas simulações no modelo, e assim espera-se que ele retorne com a variação endógena do PIB que é observada nos dados históricos.

No gráfico 7, é apresentado as taxas de crescimento médio acumulado 2016-2019 do capital, trabalho e PIB, divididos pelas regiões do modelo BREA e o Brasil. As regiões consideradas são: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Nordeste do Cerrado. Consideramos esses valores como base para as simulações e resultados esperados.

Gráfico 7: Taxa de crescimento médio acumulado 2016-2019 (%).



Fonte: Elaborado pela autora.

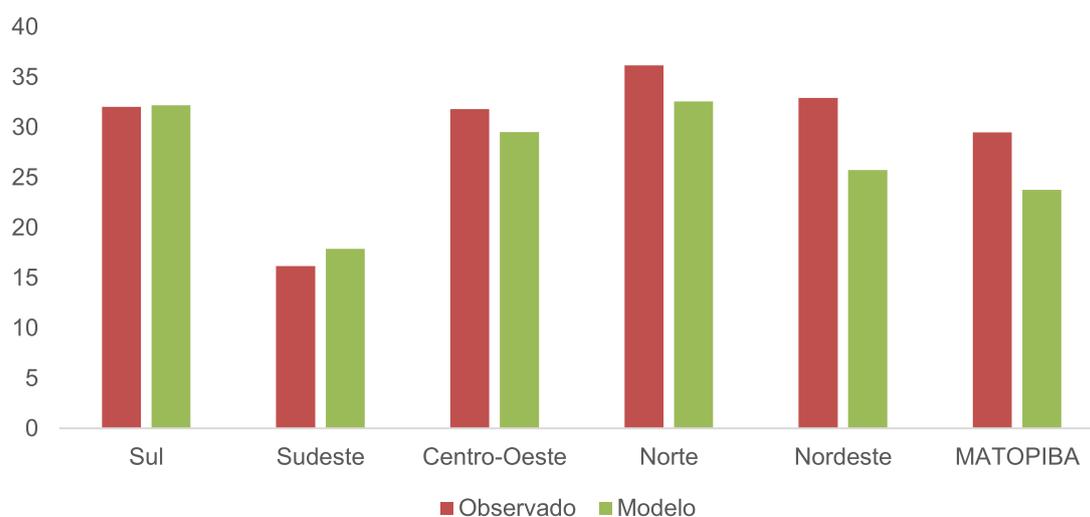
Uma questão que deve ser confrontada em tal exercício de validação é relatar os resultados indo para trás no tempo ou indo para frente (BALDOS; HERTEL, 2013). Dessa forma, simulamos o modelo de volta a 2016, estabelecendo então um equilíbrio histórico. Em seguida, realizamos o experimento de validação calibrando de forma relevante para o ano de 2019, que serviu como ano base da pesquisa e foi utilizado como referência para as simulações do ano de 2030.

No gráfico 8, pode-se observar que as barras mostram as mudanças percentuais no PIB das regiões (da esquerda para direita) Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Nordeste Cerrado – MATOPIBA (Maranhão, Tocantins,

Piauí, Bahia) – Nordeste do Cerrado, comparando os resultados da simulação do modelo com os dados históricos reais. O experimento histórico é conduzido usando o modelo BREA dado o crescimento histórico exógeno do capital e trabalho após calibrar o modelo no período de 2009-2019.

Ao analisar os resultados, observa-se que o BREA faz um trabalho muito bom em prever o crescimento do PIB para todas as regiões, havendo pouca diferença com os dados reais. Na região Sul o modelo exagera ligeiramente na previsão (32,17% contra 32,01%). Ocorrendo o mesmo na região Sudeste (17,87% contra 16,15%). Já nas regiões Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Nordeste Cerrado – MATOPIBA o modelo atenua ligeiramente o crescimento do PIB (29,51% contra 31,8%, 32,55% contra 36,14%, 25,72% contra 32,9% e 23,76% contra 29,49% respectivamente).

Gráfico 8: Comparação de resultados do PIB.



Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, ao utilizar o modelo BREA, foi replicado com sucesso o histórico do crescimento médio do PIB para o período 2016-2019. Nesse sentido, a validação histórica do modelo BREA representou um procedimento amplo e de essencial importância para a avaliação da precisão e confiabilidade do modelo. No geral, considera-se apropriados esses resultados regionais e pode-se afirmar que o

modelo incorpora os principais impulsionadores e respostas econômicas que regem as mudanças de longo prazo.

3.4.2. Simulação da lei BR do Mar

Com a lei BR do Mar, a intenção do governo é tornar o setor de cabotagem mais atrativo, estimulando a concorrência e baixando os custos. Dessa forma, com o objetivo de verificar os possíveis impactos econômicos e ambientais que a lei BR do Mar exerceria sobre a matriz de transportes de cargas, foram elaborados três cenários baseados nos objetivos do programa, as quais são apresentadas no tabela 5.

Tabela 5: Cenários simulados com base nas propostas da lei BR do Mar.

Cenários	Proposta BR do Mar	Variável de choque	% - aumento da eficiência
Experimento 1	PRODUTIVIDADE	oferta de cabotagem regional e inter-regional	5% - $ao_{(j,r)}^2$
Experimento 2	PRODUTIVIDADE	oferta de cabotagem regional e inter-regional	15% - $ao_{(j,r)}$
Experimento 3	PRODUTIVIDADE	oferta de cabotagem regional e inter-regional	30% - $ao_{(j,r)}$

Fonte: Elaborado pela autora.

Com as medidas propostas para a expansão da frota e, conseqüentemente, o aumento da oferta no setor, além de outras ações voltadas para a otimização dos processos e a modernização dos terminais utilizados na cabotagem. A lei BR do Mar, visa reduzir diretamente os custos por meio das desonerações, busca reduzir os custos do transporte e torná-lo mais atrativo mediante um aumento de eficiência do modal (BARBOSA, 2022).

Segundo a figura 13, a lei BR do Mar tem entre suas metas o aumento em até 40% no número de embarcações destinadas à cabotagem, transportando até 2,7 milhões de contêineres/ano em 2022, ampliação do volume de contêineres transportados por ano até 2022 em 65% e potencial de crescimento da cabotagem ao ano de 30% (EPL, 2020).

² Coeficiente tecnológico que representa a produtividade total do setor j na região r .

Figura 13: Resultados esperados com o BR do Mar.



Fonte: Elaborado pela autora com base Ministério da Infraestrutura (2020).

Dessa maneira, os experimentos fundamentam-se no aprimoramento da eficiência do modal, por meio de três choques de produtividade (5%, 15% e 30%), que empregam o coeficiente tecnológico $ao_{(j,r)}$. Na formulação inicial do modelo, esse coeficiente é definido como zero, o que significa que não impacta a produtividade da cabotagem. Após os experimentos, seu valor varia de 1% a 30%.

3.5. Resultados

Nesta subseção, apresentam-se os resultados obtidos por meio da análise com base no modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) aplicado à estrutura portuária brasileira, com ênfase no modal de cabotagem. São discutidos os principais achados decorrentes dos cenários simulados, os quais foram construídos a partir de experimentos relacionados à expansão da eficiência da cabotagem, com o objetivo de mensurar os efeitos econômicos e ambientais sobre a matriz de transporte de

cargas no Brasil, em consonância com as diretrizes da Lei nº 14.301/2022, conhecida como BR do Mar.

Inicialmente, analisam-se os impactos da política sobre o bem-estar da população e o consumo agregado. Em seguida, investigam-se as variações do Produto Interno Bruto (PIB), seus componentes e os principais setores da economia nacional. Por fim, são discutidas as alterações observadas na oferta de transporte por cabotagem e nas emissões de poluentes atmosféricos.

3.5.1. Impactos no Bem-Estar e Consumo

A avaliação dos impactos da cabotagem sobre o bem-estar e o consumo em diferentes regiões do país evidencia a relevância da política BR do Mar para a melhoria da qualidade de vida da população e o fortalecimento do poder de compra. A tabela 6 apresenta as variações regionais no bem-estar, expressas tanto em termos percentuais quanto em valores absolutos (milhões de reais a preços de 2024). Esses resultados, quando analisados de forma integrada, estão alinhados com as estimativas da Empresa de Planejamento e Logística – EPL (2021), que aponta importantes vantagens socioambientais associadas à ampliação da participação da cabotagem na matriz de transporte de cargas no Brasil, especialmente após a implementação da referida política pública.

Tabela 6: Variações no Bem-Estar.

Região	Variação (%)	Variação Absoluta (R\$)
Nordeste	1,85	2820,40
Norte	1,23	1160,09
Sudeste	1,02	25506,91
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,7	1660,31
Sul	0,27	1138,36
Centro-Oeste	0,03	47,24

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

A região Nordeste é a que apresenta a maior variação percentual no bem-estar, com um aumento de 1,85% em relação ao cenário-base, o que representa um

acréscimo de R\$ 2.820,40 milhões no consumo agregado. Esse resultado reflete os efeitos positivos da ampliação da eficiência portuária, com consequente redução nos custos logísticos, o que contribui para o aumento da renda disponível e da capacidade de consumo dos agentes econômicos locais.

Em seguida, destaca-se a região Norte, com um crescimento de 1,23% no bem-estar, equivalente a R\$ 1.160,09 milhões em valores absolutos. Esse desempenho evidencia o papel estratégico da descentralização dos fluxos logísticos e o potencial da cabotagem como instrumento de redistribuição dos benefícios econômicos entre as regiões. A diminuição dos custos de transporte resulta em maior competitividade para os produtos regionais, promovendo o dinamismo da economia e o desenvolvimento sustentável.

O Sudeste, embora registre uma variação percentual inferior à do Nordeste e do Norte (1,02%), apresenta o maior ganho absoluto: R\$ 25.506,91 milhões. Esse resultado está diretamente relacionado à elevada concentração de atividade econômica e à importância dos principais portos da região. A melhora na eficiência do transporte influencia positivamente o acesso a bens e serviços, impulsionando o crescimento econômico e contribuindo para a elevação do bem-estar da população.

Nas regiões Nordeste do Cerrado - MATOPIBA, Sul e Centro-Oeste, os impactos ocorrem de forma mais moderada, com variações de 0,70%, 0,27% e 0,03%, respectivamente. Os ganhos absolutos, embora menores — R\$ 1.660,31 milhões, R\$ 1.138,36 milhões e R\$ 47,24 milhões —, ainda assim indicam que a cabotagem desempenha papel relevante na otimização dos fluxos logísticos, especialmente em regiões com estrutura já relativamente desenvolvida ou menor dependência do modal aquaviário.

Esses resultados confirmam que os impactos da elevação da produtividade na cabotagem não são homogêneos entre as regiões brasileiras. Nordeste e Norte se beneficiam proporcionalmente mais, possivelmente em razão da maior dependência do transporte marítimo para a movimentação de cargas. Por outro lado, o Sudeste, embora registre um impacto percentual menor, concentra o maior ganho absoluto, refletindo sua relevância econômica nacional. Já o Centro-Oeste, com sua infraestrutura terrestre consolidada, apresenta ganhos marginais, o que pode indicar menores retornos adicionais com o investimento exclusivo no modal aquaviário.

De modo geral, os resultados obtidos revelam impactos positivos em todas as regiões do país, corroborando os achados de Barbosa (2022). O aumento da eficiência da cabotagem está positivamente associado à elevação do bem-estar da população, uma vez que a melhoria do transporte marítimo contribui para a redução dos custos logísticos, amplia a oferta de produtos e estimula o crescimento econômico regional. Esses efeitos resultam em melhores condições de vida, maior segurança no transporte de cargas e estabilidade econômica, promovendo, assim, o desenvolvimento sustentável do território nacional (FONSECA, 2015).

3.5.2. Impactos no PIB

A cabotagem desempenha um papel estratégico na logística nacional ao conectar regiões, reduzir custos de transporte e promover a integração entre os modais. Nesse contexto, o aumento da eficiência desse modal pode gerar efeitos significativos sobre a economia brasileira. Assim, torna-se essencial avaliar a magnitude do impacto da política BR do Mar sobre o Produto Interno Bruto (PIB), tanto em âmbito nacional quanto regional.

Conforme evidenciado na tabela 7, após o choque de produtividade no setor de cabotagem, o PIB brasileiro apresenta um crescimento percentual de 0,87%. Esse resultado revela um impacto positivo e relevante da política sobre a atividade econômica nacional. A elevação do PIB está associada à maior eficiência no transporte de cargas, impulsionada por medidas como a flexibilização das regras de afretamento de embarcações e o estímulo à concorrência no setor marítimo.

Tabela 7: Variações no PIB real.

Região	Variação (%)
Nordeste	1,87
Norte	1,6
Sudeste	0,98
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,74
Sul	0,24
Centro-Oeste	-0,24
Brasil	0,87

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Os resultados obtidos por meio do modelo de EGC indicam que a política BR do Mar tem potencial para aumentar a eficiência e a competitividade da economia brasileira, ao promover ganhos de produtividade, bem-estar e consumo. No entanto, como se observa na tabela 7, os impactos variam significativamente entre as diferentes regiões do país, resultado das características estruturais e logísticas heterogêneas do território nacional — aspecto amplamente destacado por Barbosa *et al.* (2022).

A análise regional do PIB real evidencia que as regiões Nordeste, Norte e Sudeste foram as mais beneficiadas, o que reforça a importância da cabotagem como indutora do desenvolvimento econômico regional. A expansão da infraestrutura portuária, aliada à redução dos custos operacionais, promove a maior competitividade dos setores produtivos, além de estimular a atividade econômica ao melhorar a conectividade entre mercados.

No cenário de longo prazo (ano de 2030), a região Nordeste apresenta o maior incremento percentual no PIB, com crescimento de 1,87%. Esse resultado reflete a combinação de investimentos estratégicos em logística, ampliação da capacidade produtiva e dinamização do setor de serviços. A maior integração aos fluxos de cabotagem possibilita o escoamento eficiente da produção, gerando efeitos multiplicadores na economia regional.

A região Norte também registra um crescimento expressivo de 1,60%, reflexo da mitigação de gargalos logísticos e do fortalecimento da competitividade regional. A cabotagem, ao oferecer uma alternativa eficiente ao modal rodoviário,

desempenha papel relevante na melhoria da logística regional e na sustentabilidade do crescimento econômico.

No Sudeste, o crescimento do PIB foi de 0,98%, resultado expressivo diante da elevada participação da região na economia nacional. Esse desempenho pode ser atribuído à presença dos principais portos do país, como o Porto de Santos (SP) e o Porto do Rio de Janeiro (RJ), os quais se beneficiam diretamente das melhorias logísticas promovidas pela política de incentivo à cabotagem.

As regiões Nordeste do Cerrado - MATOPIBA e Sul também apresentaram crescimento, ainda que em menor escala, com variações de 0,74% e 0,24%, respectivamente. Embora mais moderados, esses resultados confirmam os efeitos positivos da política sobre a logística regional, com destaque para a melhoria da conectividade entre os mercados e a redução dos custos de transporte.

Por outro lado, a região Centro-Oeste apresentou uma leve contração econômica, com uma variação de -0,24% no PIB real. Tal resultado pode estar associado à menor integração da economia regional com o modal aquaviário, dada sua dependência histórica do transporte rodoviário e ferroviário. A ausência de infraestrutura portuária próxima e a baixa inserção da cabotagem nos fluxos logísticos regionais podem ter limitado os benefícios potenciais da política nessa localidade.

Importa destacar que a magnitude dos resultados é relativamente modesta, o que pode ser explicado por três fatores principais: (i) a cabotagem representa uma fração reduzida do PIB nacional; (ii) a natureza do modelo EGC utilizado — com retornos constantes de escala, concorrência perfeita e inferência estática — tende a suavizar os efeitos de choques estruturais; e (iii) a mudança na vantagem comparativa entre setores pode gerar ganhos para algumas regiões e perdas relativas para outras, como é o caso do Centro-Oeste.

Ainda assim, os achados deste estudo estão em consonância com os de Barbosa (2022), que, ao simular cenários de aumento da eficiência logística e redução de tributos, também identificou maiores impactos positivos nas regiões Nordeste, Norte e Sudeste. Em síntese, os resultados reforçam que a política BR do Mar tem o potencial de impulsionar o crescimento econômico nacional e regional, contribuindo para uma matriz de transportes mais equilibrada, eficiente e sustentável.

Salienta-se que o PIB também pode ser analisado sob a ótica da demanda agregada. Conforme apresentado na tabela 8, os componentes com maior variação percentual e, conseqüentemente, maior contribuição para o crescimento do PIB nacional foram o consumo das famílias (0,39%) e os gastos do governo (0,29%). O setor externo — representado pelas exportações e importações — apresentou contribuições mais modestas, com variação de 0,13% em ambos os componentes.

Tabela 8: Efeitos sobre os componentes do PIB pela ótica da demanda.

Regiões	Componentes			
	Consumo	Gastos do Governo	Exportações	Importações
Sul	0,27%	0,14%	-0,65%	-0,22%
Sudeste	1,02%	0,78%	0,47%	0,48%
Centro-Oeste	0,03%	-0,44%	-3,62%	-0,17%
Norte	1,23%	0,96%	25,32%	0,64%
Nordeste	1,85%	1,79%	0,13%	1,35%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,70%	0,51%	0,77%	0,17%
Brasil	0,39%	0,29%	0,13%	0,13%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Os resultados evidenciam impactos heterogêneos nos componentes macroeconômicos das diferentes regiões brasileiras, em decorrência do aumento da eficiência na cabotagem. A região Norte apresentou o maior crescimento nas exportações (25,32%), refletindo o fortalecimento da cabotagem como alternativa eficiente para o escoamento da produção regional, sobretudo de commodities. Esse desempenho sugere uma ampliação do acesso aos mercados nacionais e

internacionais, com efeitos positivos sobre a competitividade e a inserção comercial da região.

O Nordeste também se destacou, especialmente pelo aumento expressivo no consumo (1,85%) e nos gastos do governo (1,79%). Esses dados indicam que a melhoria logística, proporcionada pela expansão da cabotagem, estimulou tanto a demanda interna quanto a atuação do setor público por meio de investimentos em infraestrutura e serviços públicos.

O Sudeste, por sua vez, apresentou desempenho robusto nos quatro componentes, com ênfase no consumo (1,02%) e nos gastos do governo (0,78%), além de crescimento nas exportações (0,47%) e importações (0,48%). Esses resultados refletem a capacidade da região de internalizar os ganhos logísticos decorrentes da política BR do Mar, dada sua estrutura industrial consolidada, elevada densidade portuária e grande dinamismo econômico.

Em contraste, o Centro-Oeste foi a única região a apresentar variações negativas em dois dos quatro componentes. Houve queda nos gastos do governo (-0,44%) e nas exportações (-3,62%), o que pode estar relacionado à perda de competitividade frente a regiões mais integradas à cabotagem. Esse resultado sugere que a dependência de modais terrestres e a menor inserção nos corredores logísticos marítimos podem ter limitado os ganhos regionais provenientes da política de incentivo à cabotagem.

A região Sul apresentou comportamento misto, com crescimento do consumo (0,27%) e dos gastos públicos (0,14%), mas com retração nas exportações (-0,65%) e importações (-0,22%). Esse padrão pode indicar efeitos localizados de reestruturação logística, nos quais os benefícios da cabotagem não se disseminaram de forma uniforme entre os setores da economia regional.

O Nordeste do Cerrado - MATOPIBA exibiu crescimento moderado em todos os componentes, com destaque para o consumo (0,70%) e os gastos do governo (0,51%), o que sugere um processo de adaptação da região às novas dinâmicas logísticas induzidas pela cabotagem.

No âmbito nacional, os impactos sobre os componentes da demanda agregada foram positivos, porém mais suaves, com aumentos de 0,39% no consumo, 0,29% nos gastos do governo e 0,13% nas exportações e importações. Esses resultados indicam que os efeitos da política BR do Mar foram mais intensos

em regiões com maior integração ao modal aquaviário, enquanto outras ainda enfrentam limitações estruturais para a internalização desses benefícios.

Dessa forma, os achados reforçam a relevância da cabotagem como instrumento de reequilíbrio da matriz de transportes no Brasil. Os efeitos positivos sobre o consumo, o gasto público e, em menor grau, o setor externo, justificam a necessidade de políticas públicas que ampliem os investimentos em infraestrutura portuária, promovam a desburocratização do setor e incentivem a adoção de práticas logísticas mais sustentáveis. A cabotagem, portanto, consolida-se como um elemento estratégico para o desenvolvimento econômico e logístico do país.

3.5.3. Efeitos sobre a produção setorial no Brasil

Após a análise das variações no bem-estar, no consumo e no PIB resultantes do choque de produtividade no setor de cabotagem, decorrente da implementação da Lei nº 14.301/2022 (BR do Mar), esta subseção examina os efeitos da política sobre a produção setorial no Brasil. A ênfase recai sobre setores-chave da economia nacional, a saber: Agropecuária, Agroindústrias, Outras Indústrias, Transporte e Serviços.

A análise dos níveis de produção agropecuária revela crescimento em todas as regiões do país, com destaque para a região Nordeste do Cerrado - MATOPIBA, que apresentou uma variação de 0,20%. Essa região, reconhecida como uma das novas fronteiras do agronegócio brasileiro, tem se consolidado na produção de grãos — especialmente soja e milho —, bem como no avanço da pecuária e de culturas como algodão. A melhoria no escoamento da produção, favorecida pela expansão da cabotagem e pela diversificação dos modais de transporte, configura-se como um dos principais vetores desse desempenho positivo (RIBEIRO *et al.*, 2020).

Tabela 9: Variação da produção nos setores nas regiões brasileiras.

Regiões	Setores				
	Agropecuária	Agroindústrias	Indústrias	Transporte	Serviços
Sul	0,18%	0,06%	0,09%	-2,76%	0,16%
Sudeste	0,15%	0,43%	0,10%	-0,72%	0,05%
Centro-Oeste	0,17%	-0,33%	-0,19%	-2,19%	0,09%
Norte	0,08%	0,38%	0,16%	-1,87%	0,08%
Nordeste	0,06%	0,33%	0,52%	-0,94%	0,03%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,20%	0,32%	0,38%	-2,36%	0,11%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, os resultados para a agropecuária foram relativamente homogêneos, com variações de 0,18%, 0,15% e 0,17%, respectivamente. Tais variações sugerem melhorias na eficiência logística e no escoamento da produção, viabilizadas pela expansão da cabotagem. Essa otimização do transporte pode ter gerado efeitos positivos como a redução de custos, melhor acesso aos mercados consumidores e maior competitividade para os produtos agropecuários dessas regiões.

A região Norte apresentou uma elevação mais modesta, de 0,08%, na produção agropecuária — uma das menores entre as regiões analisadas. Apesar da relevância histórica da cabotagem na Amazônia e do papel dos rios como eixo logístico regional, o impacto do choque de produtividade no modal marítimo pode ter sido limitado devido à predominância da navegação fluvial e às dificuldades de integração com modais complementares.

Já o Nordeste registrou o menor crescimento no setor agropecuário, com uma variação de apenas 0,06%. Embora a região possua um setor agropecuário relevante, fatores como a distância até os principais centros consumidores e a limitada infraestrutura de transporte terrestre e ferroviário reduzem os ganhos potenciais da política. A eficácia da cabotagem depende, em grande parte, da

conectividade com outros modais, o que pode ter restringido os benefícios advindos do aumento da produtividade logística.

Esses resultados para o setor agropecuário corroboram, em certa medida, os achados de Barbosa (2022) e Betarelli e Domingues (2014), que também identificaram ganhos de produtividade em resposta a choques associados à cabotagem, especialmente nos cultivos de soja e arroz — produtos com elevado peso no escoamento de cargas pelo modal marítimo.

De forma geral, os dados revelam que os efeitos positivos da política BR do Mar sobre a produção agropecuária não se distribuíram de maneira homogênea entre as regiões. Regiões com melhor infraestrutura intermodal e maior inserção nos corredores logísticos de exportação, como o Nordeste do Cerrado - MATOPIBA, colheram os maiores benefícios. Por outro lado, áreas menos integradas à malha portuária e com maiores deficiências logísticas enfrentam limitações que reduzem os impactos positivos da política, ressaltando a importância de estratégias regionais complementares para maximizar os efeitos da cabotagem sobre a produção setorial no Brasil.

Com relação ao setor de agroindústrias, observa-se que os impactos da política de incentivo à cabotagem foram predominantemente positivos na maior parte das regiões do país. Destacam-se o Sudeste (0,43%), o Norte (0,38%) e o Nordeste (0,33%), regiões que possuem estruturas industriais mais integradas às rotas portuárias e que, por isso, conseguiram internalizar com maior intensidade os ganhos logísticos associados à cabotagem. Esses resultados refletem a sinergia entre a expansão da infraestrutura marítima e a capacidade de processamento agroindustrial dessas regiões, especialmente nas cadeias produtivas de alimentos e biocombustíveis.

Por outro lado, o desempenho da agroindústria no Centro-Oeste foi negativo, com uma retração de -0,33%. Esse resultado pode estar relacionado à reconfiguração dos fluxos logísticos em favor de regiões mais próximas da costa. Apesar de o Centro-Oeste ser uma potência na produção agropecuária, sua agroindústria depende fortemente dos modais rodoviário e ferroviário para o escoamento da produção até os portos localizados no Sudeste e no Norte. A substituição parcial desses modais pela cabotagem pode ter deslocado parte da competitividade regional, impactando negativamente o desempenho do setor.

No setor de outras indústrias, a maior expansão foi observada no Nordeste (0,52%), seguido pelo Nordeste do Cerrado – MATOPIBA (0,38%) e pelo Norte (0,16%). Esses dados sugerem que a melhoria da logística portuária e o fortalecimento do transporte marítimo contribuíram para a dinamização da atividade industrial nessas regiões, ampliando o acesso a insumos e reduzindo custos de distribuição. Em contraste, o Centro-Oeste apresentou retração de -0,19%, confirmando a hipótese de que os efeitos da política de cabotagem são assimétricos entre regiões com diferentes níveis de integração logística.

O setor de transporte foi o único a registrar variações negativas em todas as regiões analisadas. O impacto mais acentuado ocorreu na região Sul (-2,76%), seguida pelo Nordeste do Cerrado – MATOPIBA (-2,36%) e pelo Centro-Oeste (-2,19%). Esse resultado pode ser explicado pela substituição de modais de transporte menos eficientes, como o rodoviário, pelo transporte marítimo. A reconfiguração da matriz de transporte reduz a demanda por determinados serviços logísticos terrestres, especialmente em regiões onde tais serviços representam parcela relevante da atividade econômica. Assim, o avanço da cabotagem pode ter gerado efeitos adversos em segmentos específicos da cadeia logística, exigindo adaptações no setor de transporte regional.

No setor de serviços, os impactos foram positivos, ainda que modestos, em todas as regiões. As variações percentuais oscilaram entre 0,03% (Nordeste) e 0,16% (Sul). Tais resultados sugerem que os efeitos da cabotagem sobre os serviços foram, em grande parte, indiretos, refletindo o aumento da atividade econômica, do consumo e da eficiência logística nas regiões mais beneficiadas. O setor de serviços, por sua natureza transversal, tende a acompanhar os ciclos econômicos de outras atividades, como comércio, indústria e agropecuária.

A literatura especializada corrobora a existência de efeitos distributivos derivados da transição modal. Betarelli e Domingues (2014), ao analisarem os impactos de longo prazo da redução tarifária na cabotagem em um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) com retornos crescentes de escala e competição imperfeita, constataram uma realocação de recursos entre setores e regiões. O estudo indicou que a liberalização da cabotagem poderia afetar negativamente os setores fortemente vinculados ao transporte rodoviário, sobretudo em regiões menos integradas à malha portuária.

De modo semelhante, Haddad *et al.* (2011), ao avaliarem os efeitos de investimentos em infraestrutura de transportes no estado do Pará, identificaram ganhos expressivos nos setores agrícola, mineral e industrial, com destaque para a elevação da competitividade regional tanto no contexto nacional quanto internacional. Tais evidências apontam para a importância dos investimentos logísticos na redistribuição dos fluxos econômicos e produtivos.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo indicam que o choque de produtividade na cabotagem beneficiou, sobretudo, regiões litorâneas e próximas aos principais corredores marítimos, como o Sudeste, o Norte e o Nordeste do Cerrado – MATOPIBA, especialmente nos setores agropecuário e agroindustrial. As melhorias no escoamento da produção e a redução dos custos logísticos tornaram essas regiões mais competitivas, promovendo ganhos em termos de produção e eficiência econômica.

Por outro lado, os impactos negativos observados no setor de transportes e na agroindústria do Centro-Oeste sugerem um deslocamento parcial da cadeia produtiva para áreas com melhor integração ao modal aquaviário. Essa transição reforça a necessidade de políticas complementares que assegurem a integração intermodal e evitem a marginalização logística de regiões que, apesar de seu potencial produtivo, ainda enfrentam desafios em termos de infraestrutura e conectividade.

3.5.4. Efeitos sobre a oferta de Cabotagem

A cabotagem tem se consolidado como uma alternativa estratégica para a otimização da matriz de transportes no Brasil, contribuindo para a redução da dependência do modal rodoviário e promovendo ganhos em eficiência logística, competitividade e sustentabilidade ambiental (MOURA; BOTTER, 2016). Nesse contexto, a projeção do crescimento da oferta de cabotagem até o ano de 2030 permite avaliar os efeitos potenciais dessa modalidade sobre a estrutura logística regional e nacional.

A análise dos dados apresentados na tabela 10 revela que a oferta de cabotagem tende a crescer de maneira expressiva em todos os cenários simulados, os quais consideram aumentos de produtividade de 5%, 15% e 30%. Em todas as

regiões analisadas, observa-se que a expansão da oferta acompanha proporcionalmente os percentuais de crescimento projetados, evidenciando a sensibilidade do setor às melhorias operacionais e aos investimentos logísticos.

Tabela 10: Variação percentual da oferta de cabotagem em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.

Regiões	Cenários		
	5%	15%	30%
Sul	2,69%	8,13%	16,42%
Sudeste	2,97%	8,90%	17,70%
Norte	2,70%	8,03%	15,88%
Nordeste	3,14%	9,37%	18,54%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	2,96%	8,92%	17,92%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

A região Nordeste apresenta o maior crescimento percentual em todos os cenários simulados, atingindo 18,54% no cenário mais otimista (30% de aumento na eficiência). Esse desempenho pode ser atribuído à relevância dos portos nordestinos na cadeia logística regional e ao elevado potencial de substituição do transporte rodoviário por cabotagem, especialmente em rotas de longa distância. Ademais, a crescente participação da região em cadeias agroindustriais e industriais contribui para o fortalecimento da demanda por soluções logísticas mais eficientes.

O Sudeste, região mais industrializada do país, também apresenta crescimento expressivo, alcançando 17,70% no cenário de maior expansão. A estrutura portuária consolidada, associada à elevada concentração de produção e consumo, confere à região uma posição privilegiada para aproveitar os ganhos logísticos decorrentes da política BR do Mar.

As regiões Norte e Sul demonstram crescimentos similares, atingindo, no cenário mais otimista, 15,88% e 16,42%, respectivamente. Esses resultados indicam um potencial moderado de expansão da cabotagem, possivelmente limitado por fatores geográficos, densidade populacional e infraestrutura portuária disponível. Ainda assim, a integração desses territórios ao modal marítimo reforça a importância da cabotagem na redução de custos e na ampliação da competitividade regional.

No caso do Nordeste do Cerrado - MATOPIBA, a projeção de crescimento de 17,92% no cenário de maior expansão reforça o papel estratégico da cabotagem para o escoamento da produção agroindustrial da região. A melhoria da conectividade logística e a possibilidade de integração com outros modais, como o ferroviário e o hidroviário, são elementos fundamentais para o pleno aproveitamento do potencial logístico do território.

Dessa forma, os resultados apresentados nesta subseção demonstram que a política de incentivo à cabotagem pode promover uma transformação significativa na oferta de transporte marítimo entre portos nacionais. A distribuição regional dos ganhos aponta para a necessidade de políticas públicas complementares que ampliem o investimento em infraestrutura portuária, melhorem a articulação intermodal e incentivem a adoção da cabotagem como alternativa logística sustentável e eficiente.

Os resultados apresentados na tabela 11 indicam um crescimento expressivo da cabotagem inter-regional no Brasil até o ano de 2030, considerando três diferentes cenários de expansão da eficiência do modal: 5%, 15% e 30%. As variações percentuais observadas refletem o potencial de desenvolvimento da cabotagem entre as regiões brasileiras, evidenciando diferenças relevantes no ritmo de crescimento, as quais estão associadas às especificidades logísticas, geográficas e econômicas de cada localidade.

Tabela 11: Variação percentual da oferta de cabotagem inter-regional em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.

Regiões	Cenários		
	5%	15%	30%
Sul	4,22%	12,76%	25,85%
Sudeste	1,58%	4,77%	9,53%
Norte	2,59%	7,71%	15,24%
Nordeste	1,29%	3,88%	7,69%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	2,91%	8,75%	17,51%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

A região Sul apresenta o maior crescimento da oferta inter-regional em todos os cenários analisados, atingindo 25,85% no cenário de maior expansão. Esse resultado destaca a relevância da cabotagem para o escoamento da produção industrial e agrícola da região, cuja integração com o modal marítimo nacional reforça sua posição estratégica na malha logística do país. A presença de infraestrutura portuária consolidada e de cadeias produtivas organizadas contribui para o aproveitamento mais eficaz da expansão da cabotagem.

O Nordeste do Cerrado - MATOPIBA também registra crescimento significativo, com 17,51% no cenário de 30%. Esse desempenho ressalta o papel crescente da região como nova fronteira agrícola nacional e sua crescente necessidade de alternativas logísticas mais eficientes e menos dependentes do modal rodoviário. A inserção da cabotagem inter-regional contribui para a redução de custos, amplia o alcance dos mercados e fortalece o escoamento da produção agroindustrial.

A região Norte, tradicionalmente afetada por desafios logísticos decorrentes de sua geografia e infraestrutura limitada, apresenta expansão expressiva da oferta inter-regional, alcançando 15,24% no cenário mais otimista. Esse crescimento sinaliza uma oportunidade de fortalecimento da conectividade da região com os grandes centros consumidores do país. A intensificação da cabotagem pode representar um vetor de transformação logística e econômica para o Norte, promovendo maior integração territorial e redução das assimetrias regionais.

Em contrapartida, as regiões Sudeste e Nordeste apresentam os menores percentuais de crescimento da oferta inter-regional, com 9,53% e 7,69%, respectivamente, no cenário de maior expansão. Esses resultados podem ser explicados pela existência de uma estrutura logística já consolidada, na qual o modal rodoviário e outros arranjos de transporte possuem elevada penetração e capilaridade. Nesses casos, a expansão da cabotagem ocorre de forma mais gradual, servindo como complemento à estrutura já existente, sem provocar mudanças logísticas tão intensas quanto nas regiões com maiores carências de infraestrutura.

Os resultados apontam que a expansão da cabotagem inter-regional tem potencial para promover ganhos relevantes de eficiência logística, sobretudo em regiões que ainda não contam com uma malha de transporte plenamente

desenvolvida. A adoção do modal marítimo como alternativa ou complemento aos modais terrestres contribui para a desconcentração das rotas de escoamento, reduz os custos de transporte e promove maior competitividade entre os mercados regionais. Dessa forma, a cabotagem inter-regional se apresenta como uma estratégia fundamental para o desenvolvimento de uma logística nacional mais equilibrada, sustentável e integrada.

A tabela 12 apresenta a variação percentual da oferta total de cabotagem no Brasil até o ano de 2030, contemplando tanto o transporte regional quanto o inter-regional, em três cenários distintos de crescimento da eficiência do modal: 5%, 15% e 30%. Os resultados indicam um aumento expressivo da oferta de cabotagem em todas as regiões analisadas, com variações percentuais que refletem o potencial de expansão do modal marítimo no país e sua capacidade de atender à crescente demanda logística.

Tabela 12: Variação percentual da oferta total de cabotagem (regional e inter-regional) em 2030 (em relação à base) – Cabotagem.

Regiões	Cenários		
	5%	15%	30%
Sul	3,37%	10,19%	20,62%
Sudeste	2,89%	3,47%	17,24%
Norte	2,66%	3,19%	15,66%
Nordeste	2,89%	3,47%	17,08%
Nordeste do Cerrado – MATOPIBA	2,95%	3,54%	17,85%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

A região Sul lidera o crescimento percentual da oferta total de cabotagem em todos os cenários simulados, atingindo 20,62% no cenário de maior expansão. Esse resultado reforça a relevância da cabotagem para a logística regional, especialmente em função da presença de polos industriais e da forte atividade agroexportadora, aliada a uma infraestrutura portuária consolidada e bem distribuída. O escoamento eficiente da produção regional é favorecido pela integração do modal marítimo à malha logística existente.

As regiões Sudeste e Nordeste apresentam crescimento semelhante, com variações de 17,24% e 17,08%, respectivamente, no cenário mais otimista. Embora, essas regiões já contem com infraestrutura logística mais consolidada, os resultados revelam que ainda há espaço significativo para a expansão da cabotagem como alternativa ao transporte rodoviário. A diversificação dos modais pode contribuir para a desconcentração das rotas de escoamento, a redução de custos e o aumento da eficiência nas cadeias produtivas regionais.

A região Norte, historicamente marcada por desafios de conectividade e limitações geográficas, apresenta um crescimento relevante de 15,66% no cenário de maior expansão. Esse desempenho demonstra o potencial da cabotagem para ampliar a integração territorial e melhorar o acesso da região aos principais centros econômicos do país. A intensificação do modal marítimo representa, nesse contexto, uma estratégia viável para superar obstáculos estruturais e reduzir desigualdades regionais.

O Nordeste do Cerrado - MATOPIBA, uma das principais fronteiras agrícolas do país, registra crescimento de 17,85%, evidenciando o papel estratégico da cabotagem na logística do agronegócio. A expansão da oferta permite reduzir a dependência do modal rodoviário, melhorar o escoamento da produção e fortalecer a competitividade da região nos mercados nacional e internacional.

De forma geral, os dados da tabela 12 confirmam o grande potencial de expansão da cabotagem no Brasil até 2030, especialmente nas regiões Sul, Nordeste e Nordeste do Cerrado - MATOPIBA. A ampliação do uso desse modal contribui para a construção de uma matriz de transportes mais equilibrada e sustentável, aliviando a sobrecarga nas rodovias, reduzindo os custos logísticos e promovendo maior eficiência sistêmica.

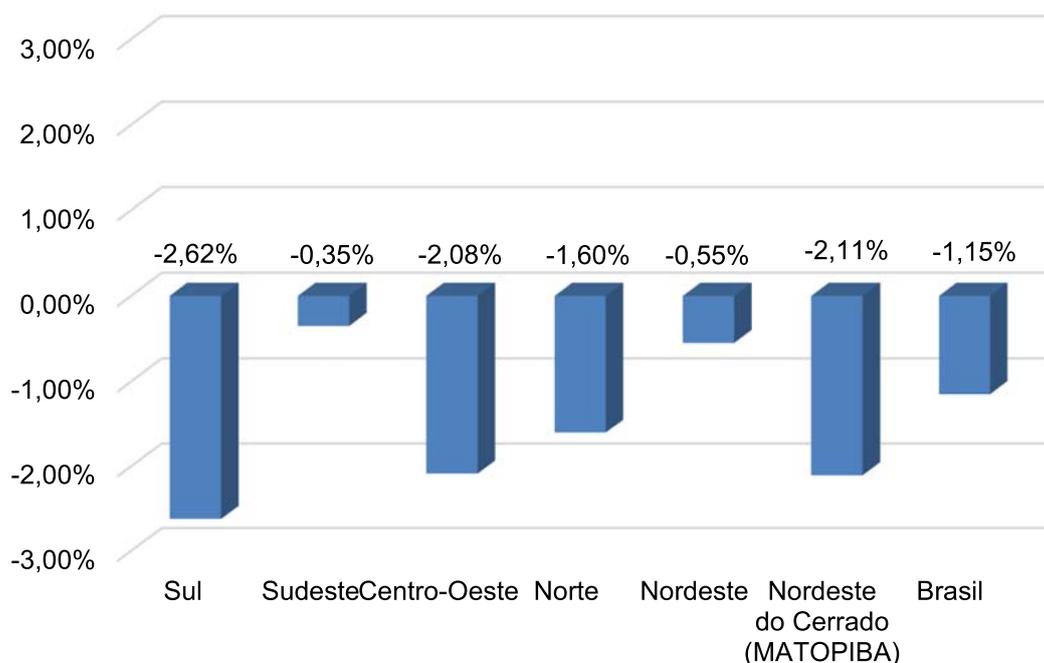
Entretanto, para que esse potencial se concretize, é imprescindível a adoção de políticas públicas voltadas à modernização da infraestrutura portuária, à renovação e ampliação da frota e à criação de mecanismos de incentivo à adoção da cabotagem como uma alternativa viável, eficiente e competitiva. Investimentos coordenados, regulação eficiente e estímulo à integração intermodal serão elementos-chave para consolidar a cabotagem como pilar do desenvolvimento logístico e econômico nacional.

3.5.5. Efeitos sobre as emissões

Os impactos ambientais decorrentes dos ganhos de produtividade no setor de cabotagem também merecem destaque, dada a crescente relevância da sustentabilidade no planejamento de políticas públicas de transporte. O gráfico 9 apresenta a variação das emissões de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) no setor de transportes, desagregada por região do Brasil. A análise dos dados indica que a maior eficiência do transporte marítimo de cargas contribui para a redução da utilização de modais mais poluentes, como o rodoviário, promovendo reduções expressivas nas emissões em todas as regiões do país.

É amplamente reconhecido que o transporte rodoviário apresenta elevado consumo de diesel e, conseqüentemente, maior emissão de CO₂ por tonelada de carga transportada (BRANCO *et al.*, 2023). Nesse sentido, o deslocamento de parte da demanda logística para a cabotagem representa uma alternativa mais limpa, reforçando os benefícios ambientais da política BR do Mar.

Gráfico 9: Variação das emissões de CO₂ e no setor de Transportes no experimento 3.



Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Os resultados revelam que as reduções mais expressivas de emissões ocorreram nas regiões Sul (-2,62%), Nordeste do Cerrado – MATOPIBA (-2,11%) e Centro-Oeste (-2,08%). Essas regiões apresentam forte dependência do transporte rodoviário para o escoamento da produção agropecuária e industrial, o que explica sua maior sensibilidade aos ganhos de eficiência proporcionados pela cabotagem. A transferência de parte da carga para o modal marítimo resulta em menor consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, na diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

Na região Norte, observou-se uma redução de -1,60%, valor também significativo, considerando o papel predominante da navegação fluvial na logística regional. Esse resultado sugere que parte do transporte fluvial menos eficiente pode estar sendo substituído pela cabotagem, com ganhos ambientais consideráveis.

Em contraste, as regiões Sudeste (-0,35%) e Nordeste (-0,55%) apresentaram reduções mais modestas nas emissões. Tal comportamento pode ser atribuído à maior diversificação da matriz de transporte nessas regiões e à menor dependência de longos deslocamentos terrestres, fatores que tornam a substituição modal menos impactante sobre o volume total de emissões.

Em nível nacional, a redução média de emissões alcança -1,15%, reforçando o potencial da política BR do Mar para contribuir com a transição para uma matriz de transporte mais limpa e sustentável. A expansão da cabotagem mostra-se, assim, uma estratégia eficaz para a mitigação dos impactos ambientais do setor de transportes, alinhando-se às metas climáticas assumidas pelo Brasil no âmbito dos compromissos internacionais.

Além da redução direta das emissões de CO₂e, a intensificação do uso da cabotagem pode trazer benefícios secundários relevantes, como a diminuição do congestionamento nas rodovias, menor desgaste da infraestrutura viária e redução dos custos de manutenção — tanto para o setor público quanto para transportadores privados (FONSECA, 2015; FACHINELLO; NASCIMENTO, 2008).

Adicionalmente, a expansão do modal marítimo tende a estimular investimentos no setor de cabotagem, incluindo a modernização da frota, a ampliação e melhoria dos portos e o desenvolvimento de novos corredores logísticos intermodais integrados. Esses investimentos não apenas fortalecem a

competitividade do transporte marítimo, como também podem gerar externalidades positivas sobre o mercado de trabalho e o comércio regional.

Dessa forma, os resultados demonstram que as regiões mais dependentes do modal rodoviário são também aquelas que mais se beneficiam, em termos de redução de emissões, da política de incentivo à cabotagem. Tais evidências reforçam a relevância da Lei BR do Mar não apenas sob a perspectiva da eficiência logística, mas também como instrumento de sustentabilidade ambiental. Ao promover a substituição de modais mais poluentes por alternativas mais limpas, como a cabotagem, essa política pública contribui para a construção de um sistema de transporte mais equilibrado, eficiente e ambientalmente responsável no longo prazo.

3.5.6. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade desempenha um papel fundamental em estudos com modelos de EGC, por permitir a avaliação da robustez e confiabilidade dos resultados das simulações econômicas. Essa abordagem torna possível identificar como variações nos parâmetros estruturais, especialmente nas elasticidades, influenciam os resultados endógenos do modelo. Como apontado por Menezes (2015), é indispensável submeter os parâmetros a testes de variação para conferir credibilidade às conclusões do estudo.

Neste trabalho, foram conduzidos exercícios computacionais de sensibilidade com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes valores da elasticidade sobre os principais indicadores econômicos do modelo. Três cenários foram considerados: baixa elasticidade (0,1), elasticidade padrão (1,5) e alta elasticidade (1,0). Os resultados estão consolidados nas tabelas 13, 14 e 15, referentes ao PIB real, aos componentes da demanda agregada e ao bem-estar, respectivamente.

Tabela 13: Análise de sensibilidade do PIB Real.

Região	Elasticidade		
	Baixa Elasticidade	Padrão	Alta Elasticidade
Sul	0,24%	0,24%	0,25%
Sudeste	0,93%	0,98%	1,02%
Centro-Oeste	-0,21%	-0,24%	-0,25%
Norte	1,51%	1,60%	1,65%
Nordeste	1,79%	1,87%	1,92%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,72%	0,74%	0,76%
Brasil	0,83%	0,87%	0,90%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Os resultados da tabela 13 demonstram que a variação das elasticidades não altera significativamente os impactos sobre o PIB real, seja em termos de direção (sinal positivo ou negativo), seja em intensidade. O crescimento da economia nacional permanece positivo em todos os cenários, o que indica estabilidade nas projeções do modelo e robustez nas conclusões alcançadas. A tabela 14, que apresenta os efeitos da variação das elasticidades sobre os componentes da demanda agregada, confirma essa estabilidade.

Tabela 14: Análise de sensibilidade dos componentes do PIB.

Elasticidade e componente	Regiões						
	Sul	Sudeste	Centro- Oeste	Norte	Nordeste	Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	Brasil
Baixa elasticidade Consumo	0,27%	0,97%	0,04%	1,18%	1,78%	0,68%	0,38%
Baixa elasticidade Gastos do Governo	0,12%	0,73%	-0,40%	0,93%	1,71%	0,50%	0,27%
Baixa elasticidade Exportações	-0,76%	0,39%	-3,65%	22,32%	0,07%	0,71%	0,10%
Baixa elasticidade Importações	-0,34%	0,40%	-0,28%	0,52%	1,28%	0,08%	0,10%
Elasticidade Padrão Consumo	0,27%	1,02%	0,03%	1,23%	1,85%	0,70%	0,39%
Elasticidade Padrão Gastos do Governo	0,14%	0,78%	-0,44%	0,96%	1,79%	0,51%	0,29%
Elasticidade Padrão Exportações	-0,65%	0,47%	-3,62%	25,32%	0,13%	0,77%	0,13%
Elasticidade Padrão Importações	-0,22%	0,48%	-0,17%	0,64%	1,35%	0,17%	0,13%

Alta elasticidade							
Consumo	0,28%	1,05%	0,02%	1,26%	1,90%	0,72%	0,40%
Alta elasticidade							
Gastos do							
Governo	0,15%	0,81%	-0,47%	0,99%	1,84%	0,53%	0,29%
Alta elasticidade							
Exportações	-0,61%	0,50%	-3,63%	26,86%	0,16%	0,79%	0,14%
Alta elasticidade							
Importações	-0,17%	0,52%	-0,13%	0,70%	1,39%	0,21%	0,14%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

Apesar de variações discretas entre os cenários, os resultados confirmam que os impactos da política de incentivo à cabotagem sobre o consumo, os gastos públicos e o setor externo permanecem positivos e consistentes. No caso das exportações e importações, as alterações de elasticidade também não provocam inversões de sinal ou mudanças bruscas, reforçando a confiabilidade do modelo adotado. A tabela 15 complementa a análise ao demonstrar os efeitos sobre o bem-estar, que igualmente se mantêm positivos em todos os cenários avaliados.

Tabela 15: Análise de sensibilidade do Bem-estar.

Região	Baixa Elasticidade	Elasticidade Padrão	Alta Elasticidade
Sul	0,27%	0,27%	0,28%
Sudeste	0,97%	1,02%	1,05%
Centro-Oeste	0,04%	0,03%	0,02%
Norte	1,18%	1,23%	1,26%
Nordeste	1,78%	1,85%	1,90%
Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	0,68%	0,70%	0,72%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

A consistência observada entre os diferentes níveis de elasticidade reforça a robustez do modelo. A ausência de variações significativas nos resultados válida a calibragem utilizada e sugere que as conclusões do estudo não são sensíveis a alterações paramétricas moderadas. Dessa forma, os insights gerados pelo modelo mantêm-se válidos mesmo diante de diferentes cenários de elasticidade-preço e de substituição.

Além da robustez técnica, a análise de sensibilidade reforça a importância de políticas públicas voltadas à modernização da infraestrutura de transporte no Brasil. A estabilidade dos impactos econômicos positivos associados ao aumento da eficiência da cabotagem demonstra que os benefícios do modal são resilientes mesmo frente a incertezas nos parâmetros do modelo. Isso amplia a confiabilidade dos resultados para fins de formulação de políticas.

Assim, recomenda-se a continuidade de estratégias voltadas ao fortalecimento da cabotagem, por meio do aprimoramento da regulação do setor, da ampliação da capacidade e eficiência dos portos, bem como da modernização da frota e do incentivo à adoção do modal marítimo. Essas ações são essenciais para consolidar a cabotagem como um elemento estruturante da matriz de transporte nacional, contribuindo para a redução de custos logísticos, a promoção da sustentabilidade ambiental e o aumento da competitividade da economia brasileira.

3.6. Considerações Finais

Conforme discutido ao longo deste estudo, a navegação mercantil por cabotagem, além de ter desempenhado um papel pioneiro na história econômica do Brasil, foi, durante séculos, um dos principais vetores do transporte de mercadorias no território nacional. Nos últimos anos, esse modal tem retornado ao centro do debate sobre logística e desenvolvimento econômico, especialmente com a promulgação da Lei nº 14.301/2022, conhecida como BR do Mar, que busca modernizar e ampliar a utilização da cabotagem no país.

Apesar de parecer natural que a cabotagem seja amplamente utilizada no Brasil, dada sua extensa costa de aproximadamente 7.400 km e seu histórico de uso comercial, o modal rodoviário ainda predomina no transporte de cargas. Atualmente, menos de 11% da carga mercantil brasileira é transportada por cabotagem, mesmo sendo essa uma alternativa mais competitiva, com menor impacto ambiental e risco reduzido de acidentes. A subutilização desse modal evidencia a necessidade de políticas públicas estruturadas para a sua valorização e expansão.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo principal analisar os impactos econômicos e ambientais decorrentes da implementação da Lei BR do Mar, utilizando-se de um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), multirregional e multissetorial, por meio da estrutura *Brazilian Economic Analysis* (BREA). Foram simulados três cenários de choques de produtividade (5%, 15% e 30%) no setor de cabotagem, cujos efeitos foram avaliados sobre diversas dimensões da economia brasileira, com foco no comércio interno e externo.

Os resultados obtidos indicam que a ampliação da cabotagem, estimulada pela referida política, pode gerar impactos econômicos significativos. Verificou-se que o aumento da eficiência desse modal tem efeitos positivos sobre o Produto Interno Bruto (PIB), o bem-estar da população, o consumo das famílias e a competitividade dos setores produtivos. Observou-se ainda que a redistribuição dos fluxos de transporte contribui para a redução de desigualdades regionais, com destaque para os ganhos expressivos nas regiões Norte e Nordeste, historicamente afetadas por deficiências logísticas.

Sob a ótica econômica, os dados revelam que o crescimento do PIB é mais acentuado nas regiões com maior dependência do transporte rodoviário, em razão

da substituição parcial por um modal mais eficiente. A melhoria da infraestrutura logística e da conectividade entre mercados regionais impulsiona setores estratégicos, como a agroindústria e a indústria de transformação. No entanto, os benefícios não são homogêneos entre as regiões, o que reforça a necessidade de políticas públicas específicas para locais como o Centro-Oeste, cuja menor integração ao modal marítimo representa um desafio à competitividade.

No que tange aos efeitos ambientais, os resultados são igualmente relevantes. A substituição parcial do modal rodoviário pela cabotagem proporciona uma redução significativa nas emissões de CO₂ equivalente, sobretudo nas regiões mais dependentes das rodovias, como o Sul e o Centro-Oeste. Além da mitigação de impactos ambientais, a redução da sobrecarga nas rodovias contribui para a diminuição dos congestionamentos, o menor desgaste da infraestrutura terrestre e a racionalização dos custos de manutenção da malha viária.

A análise setorial confirma que a expansão da cabotagem beneficia principalmente setores localizados em regiões costeiras, como a agropecuária e a agroindústria. A melhora na logística de escoamento potencializa a competitividade dos produtos brasileiros nos mercados nacional e internacional. Por outro lado, setores intensivos em transporte rodoviário poderão passar por um processo de ajuste, o que reforça a importância de um planejamento estratégico que viabilize uma transição gradual e equilibrada entre os modais.

Os resultados da análise de sensibilidade atestam a robustez do modelo adotado, demonstrando que variações nas elasticidades não alteram substancialmente as conclusões obtidas. Esse achado reforça a confiabilidade das projeções e destaca a consistência dos benefícios da cabotagem em diferentes contextos econômicos. Além disso, fortalece a argumentação em favor de políticas públicas voltadas à modernização do setor e à ampliação da intermodalidade no transporte de cargas.

A contribuição deste estudo à literatura empírica reside na oferta de uma análise quantitativa e regionalmente desagregada dos impactos econômicos e ambientais da cabotagem no Brasil. Ao explorar os efeitos da Lei BR do Mar sob a perspectiva de um modelo EGC multissetorial, a pesquisa amplia a compreensão sobre os desafios e oportunidades associados à adoção do modal marítimo,

fornecendo subsídios relevantes para o debate acadêmico e para a formulação de políticas públicas.

Diante do exposto, conclui-se que a política de incentivo à cabotagem possui elevado potencial para transformar a matriz de transportes brasileira, tornando-a mais eficiente, competitiva e ambientalmente sustentável. Para maximizar os benefícios desse modal, é imprescindível a implementação de medidas complementares, tais como o aprimoramento da regulação do setor, a modernização e ampliação da infraestrutura portuária, o estímulo à concorrência no mercado de transporte marítimo e o fortalecimento da integração intermodal.

Por fim, destaca-se a importância de novos estudos que aprofundem a análise dos efeitos da cabotagem em horizontes temporais distintos e em setores específicos da economia. A continuidade dos investimentos e do monitoramento das ações previstas na Lei BR do Mar será essencial para consolidar a cabotagem como um pilar estratégico do desenvolvimento econômico e logístico do Brasil.

Anexos

Tabela A 1: Comparação entre os modais, segundo indicadores de eficiência.

Indicador	Modal Cabotagem	Modal Ferroviário	Modal Rodoviário
Unidades Equivalentes	Embarcação de 6.000 t	2,9 comboios Hopper, 86 vagões de 70 t	172 carretas de 35 t
Consumo médio de combustível para transportar uma tonelada por mil quilômetros	4,1 litros	5,7 litros	15,4 litros
Emissão de gás carbônico (gCO ₂ /TKU)	20,0	23,3	101,2
Custo médio de transporte, carga geral por 1.000 km (R\$/t)	R\$50,74	R\$67,54	R\$239,74

Fonte: Elaboração BNDES (2018) com base em Confederação Nacional do Transporte (CNT).

Tabela A 2: Variação das emissões de CO₂e nos setores do BREA.

Setor	Regiões						
	Sul	Sudeste	Centro-Oeste	Norte	Nordeste	Nordeste do Cerrado - MATOPIBA	Brasil
Arroz	0,05%	-0,05%	0,20%	-0,13%	-0,26%	-0,06%	0,22%
Milho	0,20%	0,21%	0,04%	0,21%	0,21%	0,24%	0,18%
Cana-de-Açúcar	0,40%	0,15%	0,46%	0,18%	-0,10%	0,28%	0,21%
Soja	0,21%	0,28%	0,03%	0,07%	0,01%	0,16%	0,12%
Floricultura	0,27%	0,24%	0,42%	0,19%	0,24%	0,31%	0,27%
Outras Culturas	0,18%	-0,09%	0,42%	0,11%	0,07%	0,29%	0,18%
Sivicultura	0,30%	-0,01%	0,23%	0,03%	-0,03%	0,02%	0,16%
Bovinos	0,29%	0,00%	0,29%	0,02%	-0,07%	0,15%	0,14%
Outros Animais							
Vivos	0,25%	0,10%	0,23%	0,09%	0,02%	0,00%	0,11%
Suínos	0,16%	0,22%	-0,05%	0,14%	0,19%	0,20%	0,15%
Aves	0,13%	0,29%	0,00%	0,25%	0,23%	0,16%	0,19%
Leite	0,05%	0,27%	-0,09%	0,17%	0,35%	0,26%	0,16%
Óleo	-	0,96%	-2,29%	-0,29%	1,58%	0,26%	0,94%
Gás	-	0,33%	-5,74%	-0,83%	7,13%	-	-

	4,70%						0,12%
Ferro	-						-
Mineral	1,14%	0,54%	-1,07%	0,75%	0,37%		0,07%
Carvão	0,64%	2,31%	-0,73%	12,80%	3,95%	2,26%	0,66%
Extração	-						
Mineral	0,77%	2,48%	-1,06%	3,20%	1,01%	-0,19%	1,76%
Carnes	0,10%	0,49%	-0,14%	0,35%	0,49%	0,40%	0,21%
	-						
Óleo de Soja	0,67%	1,37%	-1,30%	0,84%	1,42%		0,82%
Alimentos	0,26%	0,65%	0,07%	0,59%	0,64%	0,59%	0,54%
Têxtil e							
Madeira	0,62%	0,49%	0,27%	0,16%	0,54%	0,62%	0,52%
Óleo	-						
refinado	0,03%	0,19%	0,06%	0,24%	0,40%	0,25%	0,16%
Etanol	0,33%	0,06%	0,42%	0,18%	-0,53%	0,31%	0,07%
Química	0,18%	0,30%	-0,32%	0,36%	0,90%	0,84%	0,35%
Fertilizante	0,09%	0,47%	-0,57%	0,74%	1,16%	0,40%	0,28%
Defensivos	0,18%	0,17%	-0,18%	0,27%	1,22%	0,38%	0,18%
Metalurgia	0,08%	0,51%	-0,24%	0,66%	1,01%	0,80%	0,51%
Maquinário	0,11%	0,02%	-0,14%	0,06%	0,49%		0,09%
Outras							
Indústrias	0,20%	0,53%	0,02%	0,44%	0,58%	0,65%	0,48%
Eletricidade	0,57%	0,48%	0,56%	0,75%	0,49%	0,63%	0,62%
Gás	-						
canalizado	0,05%	0,13%	-0,29%	0,59%	0,34%		0,09%
Água	0,41%	-0,04%	0,57%	0,57%	-0,05%		0,12%
Serviços							
públicos	0,20%	0,54%	0,12%	0,29%	0,45%	0,29%	0,42%
Serviços	0,19%	0,06%	0,19%	0,12%	0,08%	0,18%	0,11%
	-						-
Transporte	2,62%	-0,35%	-2,08%	-1,60%	-0,55%	-2,11%	1,15%

Fonte: Elaborada pela autora com base nos resultados do estudo.

4. Considerações finais

A presente tese teve como objetivo central analisar os impactos econômicos, ambientais e logísticos da navegação de cabotagem no Brasil, com ênfase na política pública instituída pela Lei nº 14.301/2022, conhecida como BR do Mar. Para isso, foram adotadas duas abordagens metodológicas complementares: a teoria das redes complexas, aplicada à estrutura da rede de transporte marítimo por cabotagem, e a modelagem de equilíbrio geral computável (EGC), utilizada para simular os efeitos macroeconômicos e ambientais de diferentes cenários de aumento da produtividade da cabotagem.

Na primeira etapa da pesquisa, por meio da análise de redes complexas, foi possível identificar a estrutura da conectividade entre os portos brasileiros, revelando a existência de uma rede densa, mas concentrada, com forte predominância de alguns hubs logísticos. Essa estrutura evidencia a importância estratégica de determinados portos na fluidez das rotas de cabotagem e reforça a necessidade de investimentos em infraestrutura para reduzir a dependência de poucos terminais e ampliar a capilaridade da rede. A análise também demonstrou que a conectividade não está distribuída de forma homogênea entre as regiões, o que pode implicar em desigualdades no acesso aos benefícios logísticos da cabotagem.

Na segunda etapa, utilizando o modelo BREA, foi possível estimar os impactos da BR do Mar sobre o Produto Interno Bruto (PIB), o bem-estar da população, o consumo das famílias, a produção setorial, a oferta de transporte e as emissões de CO₂. Os resultados indicaram que aumentos na produtividade da cabotagem geram efeitos positivos sobre a economia nacional, ainda que em magnitude moderada, dado o peso relativo do modal na matriz de transportes brasileira. Verificou-se que os maiores benefícios ocorrem nas regiões Norte, Nordeste e Nordeste do Cerrado – MATOPIBA, tradicionalmente mais afetadas por deficiências logísticas, o que sugere que a política de incentivo à cabotagem pode contribuir para a redução de desigualdades regionais.

Do ponto de vista ambiental, observou-se uma redução significativa nas emissões de gases de efeito estufa em todas as regiões, especialmente naquelas com maior dependência do transporte rodoviário. Esse resultado reforça o potencial da cabotagem como alternativa mais limpa e eficiente, capaz de contribuir para a

transição da matriz de transportes brasileira rumo à sustentabilidade. Além disso, a análise de sensibilidade confirmou a robustez dos resultados frente a diferentes valores de elasticidade, assegurando maior confiabilidade às projeções obtidas.

Em termos setoriais, os ganhos mais expressivos foram observados nos setores agropecuário e agroindustrial, particularmente em regiões próximas ao litoral. A substituição parcial do modal rodoviário pela cabotagem reduziu custos logísticos e ampliou a competitividade dos produtos brasileiros. No entanto, também foram identificados efeitos negativos em setores ligados ao transporte terrestre, especialmente no Centro-Oeste, indicando a necessidade de planejamento para a adaptação gradual dos modais e mitigação de possíveis perdas.

A principal contribuição desta tese reside na articulação de duas metodologias analíticas — redes complexas e modelo EGC — para abordar um mesmo objeto de estudo sob diferentes perspectivas. Ao integrar análise estrutural e simulação econômica, a pesquisa avança na compreensão das múltiplas dimensões da cabotagem e fornece evidências empíricas relevantes para o aprimoramento das políticas públicas de transporte no Brasil. Os resultados obtidos oferecem subsídios técnicos para a formulação de estratégias mais eficazes de integração logística, competitividade regional e sustentabilidade ambiental.

Dentre as limitações do estudo, destaca-se a natureza estática do modelo EGC utilizado, o que impede a análise dinâmica dos efeitos ao longo do tempo. Além disso, a análise da rede de cabotagem se restringiu ao nível de conectividade entre os portos, não incorporando variáveis operacionais como capacidade, tempo de viagem ou custo por trajeto. Esses elementos poderão ser incorporados em pesquisas futuras, que poderão também explorar modelos dinâmicos de equilíbrio geral ou abordagens de equilíbrio parcial com foco específico no setor de transportes.

Sugere-se, ainda, que estudos posteriores investiguem os efeitos da BR do Mar sobre o mercado de trabalho portuário e marítimo, a geração de empregos e as mudanças na estrutura tarifária dos serviços logísticos. A incorporação de indicadores socioeconômicos e ambientais em bases de dados mais recentes pode também aprimorar a análise regional e fortalecer o vínculo entre políticas de transporte, desenvolvimento territorial e inclusão social.

Em síntese, conclui-se que a cabotagem representa uma alternativa viável e estratégica para o desenvolvimento de um sistema de transportes mais equilibrado, eficiente e sustentável no Brasil. A política BR do Mar, ao estimular a modernização e a ampliação da oferta do modal marítimo, possui potencial para contribuir significativamente com a reconfiguração da logística nacional, promovendo ganhos econômicos, redução de impactos ambientais e maior integração regional.

Referências

ABAC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ARMADORES DE CABOTAGEM. **A importância da cabotagem para o desenvolvimento do País**. Rio de Janeiro: ABAC, 2020. Disponível em: <https://www.abac-br.org.br/a-importancia-da-cabotagem-para-o-desenvolvimento-do-pais/>. Acesso em: 03 jan. 2021.

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Anuário Estatístico Aquaviário 2023**. ANTAQ, 2023. Disponível em: <http://ea.antaq.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=painel%5Cantaq%20-%20anu%C3%A1rio%202014%20-%20v0.9.3.qvw&lang=pt-BR&host=QVS%40graneleiro&anonymous=true> .

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Avaliação do quantitativo de cargas transportadas em embarcações nacionais em comparação com as estrangeiras autorizadas pela Antaq. Agenda Plurianual de Estudos 2021/2024**. Brasília: ANTAQ, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/Avaliacao do quantitativo de cargas transportadas em embarcacoes nacionais em comparacao com as estrangeiras autorizadas pela Antaq.pdf](https://www.gov.br/antaq/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antaq-1/Avaliacao%20do%20quantitativo%20de%20cargas%20transportadas%20em%20embarcacoes%20nacionais%20em%20comparacao%20com%20as%20estrangeiras%20autorizadas%20pela%20Antaq.pdf)

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Boletim Aquaviário 3º Trimestre – 2022**. Brasília. ANTAQ, 2022.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Estudo de Cabotagem**. Brasília: ANTAQ, 2020. Disponível em: http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Estudo_Cabotagem_06-02.pdf. Acesso em: 06 jan. 2021.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRES. **Idade Média dos Veículos**. Brasília, 2018. Disponível em: http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/20272/Idade_Media_dos_Veiculos.html Acesso em: 24 fev. 2021.

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Quantitativo de cargas da Cabotagem Transportadas em Embarcações Nacionais em comparação com as Estrangeiras - AGENDA PLURIANUAL DE ESTUDOS 2021/2024**. Brasília. ANTAQ, 2022A.

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **TKU 2021: TKU da navegação interior, de cabotagem e longo curso em vias interiores – 2021**. Brasília. ANTAQ, 2022B.

ÁLVAREZ, N. G.; ADENSO-DÍAZ, B.; CALZADA-INFANTE, L. Maritime traffic as a complex network: A systematic review. **Networks and Spatial Economics**, v. 21, n. 2, p. 387-417, 2021.

ANGELO, C.; RITTL, C. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para o Brasil 1970 – 2018. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**, 8. ed., 2019.

ARNDT, C.; ROBINSON, S.; TARP, F. Parameter estimation for a computable general equilibrium model: a maximum entropy approach. **Economic Modelling**, v. 19, n. 3, p. 375-398, 2002.

ARVIS, J. F.; VESIN, V.; CARRUTHERS, R.; DUCRUET, C.; LANGEN, P. W. Maritime Networks, Port Efficiency, and Hinterland Connectivity in the Mediterranean. **World Bank Group**, International Development in Focus, 2019.

BACH, C. F.; FRANDBSEN, S. E.; JENSEN, H. G. Agricultural and Economy-Wide Effects of European Enlargement: Modelling the Common Agricultural Policy. **Journal of Agricultural Economics**, v. 51, n. 2, p. 162-180, 2000.

BALDOS, U. L. C.; HERTEL, T. W. Looking back to move forward on model validation: insights from a global model of agricultural land use. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 034024, 2013.

BARABÁSI, A. L. Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business. **Science and everyday life**. 2003.

BARBOSA, M. N. Impacto econômico do Programa BR do Mar: uma análise de equilíbrio geral por meio do PAEG-TLOG. **Universidade do Vale do Rio do Sinos**, Porto Alegre, 2022.

BARBOSA, M. N., AZEVEDO, A. F. Z., MASSUQUETTI, A., GURGEL, A. C. Programa BR do Mar e seus efeitos sobre a matriz de transporte e rotas inter-regionais no Brasil. **Economia Aplicada**, v. 26, n. 3, p. 275-304, 2022.

BARTHOLDI, J.J., JARUMANEEROJ, P., RAMUDHIN, A. A new connectivity index for container ports. **Maritime Economics & Logistics**, v. 18, p. 231-249, 2016.

BECKMAN, J.; HERTEL, T.; TYNER, W. Validating energy-oriented CGE models. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 799-806, 2011.

BETARELLI JUNIOR, A.A.; DOMINGUES, E.P. Efeitos econômicos da proposta de redução tarifária sobre as operações domésticas de cabotagem no Brasil (2013-2025). **Pesquisa e Planejamento Econômico - PPP**. 44, 663–710. 2014.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Relatório Financeiro do FMM**. 2º trimestre/2022. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/ce5caefa-f77a-4b8d-9b5b-dc97ba4c2c57/Relat%C3%B3rio+financeiro+do+FMM+2+tri+2022+Internet.pdf?MOD=AJPERES&CVID=o9-lfZN> . Acesso em: 28 de setembro de 2022.

BÖHRINGER, C.; LOSCHEL, A. Promoting renewable energy in Europe: A hybrid computable general equilibrium approach. **The Energy Journal**, n. Special Issue# 2, 2006.

BÖHRINGER, C.; RUTHERFORD, T. F. The costs of compliance: a CGE assessment of Canada's policy options under the Kyoto protocol. **World Economy**, v. 33, n. 2, p. 177-211, 2010.

BONDEZAN, M. G.; MELLO, J. R.; SILVA, P. J. Melhoramentos do Porto de Santos para sua adequação à condição de Porto Concentrador. In: **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**. p. 175-179. 2014.

BORGES, I. B.; GONÇALVES, W.; FREITAS, R. R. Análise da navegação das rotas de cabotagem sob ponto de vista econômico e sustentabilidade do negócio. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 7, n. 9, 2018.

BLAKE, A.; SINCLAIR, M. Thea. Tourism crisis management: US response to September 11. **Annals of tourism research**, v. 30, n. 4, p. 813-832, 2003.

BLITZER, C.R.; CLARK, P.B.; TAYLOR, L. **Economy-Wide Models and Development Planning**. 1975. Oxford University Press, London.

BRANCO, J. E. H.; BONATO, D. B. B.; ALVES JUNIOR, P. N.; CAIXETA FILHO, J. V. Ações e políticas para redução da emissão de CO2 no transporte de cargas do Brasil. **Transportes**, v. 31, n. 2, p. e2415-e2415, 2023.

BRASIL. **Lei nº. 9.432, de 08 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a ordenação do transporte aquaviário. Brasília: Senado Federal. 1997. Disponível em: [L9432 \(planalto.gov.br\)](http://planalto.gov.br) .

BRASIL. **Lei nº 10.893/04, de 13 de julho de 2004**. Dispõe sobre o Adicional ao Frete para a Renovação da Marinha Mercante - AFRMM e o Fundo da Marinha Mercante - FMM. Brasília: Casa Civil, [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/lei/l10.893.htm. Acesso em: 05 jan. 2021.

BRASIL. **Lei Nº 14.301, de 7 de Janeiro de 2022**. Dispõe sobre o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem (BR do Mar). Brasília, DF: Presidência da república, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2022/Lei/L14301.htm

BRASIL. Resolução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2016. Brasília: Senado Federal. 2016. Disponível em: https://in.gov.br/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21172346/Impressoes_Nacional

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Auditoria 023.297/2018-2**. Acórdão 1383/2019 – Plenário. Brasília, DF: Tribunal de Contas da União, [2019]. Disponível em: <https://bit.ly/3fYpRng>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BRUMATTI, L. E.; NASCIMENTO, G. F. M.; NASCIMENTO, M. V. Movimentação de Cargas no Terminal Marítimo Almirante Barroso e o seu impacto no faturamento do Porto de São Sebastião. **CIMATech**, v. 1, n. 6, p. 385-396, 2019.

BURNS, M. G. **Port management and operations**. CRC press, 2018.

CARVALHO, M. A. **Navegação de Cabotagem para o Transporte de Cargas: história, desafios, regulação e futuro**. Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União. Brasília. 2023.

CATS, O.; JENELIUS, E. Dynamic vulnerability analysis of public transport networks: mitigation effects of real-time information. **Networks and Spatial Economics**, v. 14, p. 435-463, 2014.

CHANDRAN, V. G. R.; TANG, C. F. The impacts of transport energy consumption, foreign direct investment and income on CO₂ emissions in ASEAN-5 economies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 445-453, 2013.

CHEN, W. S.; CHEN, C. Y.; CHEN, F. C.; LIU, C. C. The impact of the Taipei port container terminal on the northern region of Taiwan: A computable general equilibrium model. **Journal of Marine Science and Technology**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 120-126, 2011.

CNA – CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Infraestrutura Logística desafios para o escoamento dos produtos agropecuários**. 2017. CNA, 2017. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/infraestrutura-e-log%C3%ADstica-desafios-para-o-escoamento-dos-produtos-agropecu%C3%A1rios-1> Acesso em: 01 mar. 2025.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Comércio marítimo resiste até março, mas é preciso garantir operações para enfrentar covid-19**. São Paulo: CNI, 2020. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/infraestrutura/comercio-maritimo-resiste-no-trimestre-mas-e-preciso-garantir-operacoes-para-enfrentar-pandemia/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Atlas do Transporte 2006**. Brasília: CNT, 2006. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/jspui/bitstream/123456789/116/1/Atlas%20Transporte%202006.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Atlas Do Transporte, 2ª ed., 2019**. Brasília: CNT, 2019A. Disponível em: <https://atlas.cnt.org.br/#download> .

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins Técnicos CNT – Boletim Estatístico**. Brasília: CNT, março de 2023.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins Técnicos CNT – Boletim Estatístico**. Brasília: CNT, agosto de 2024.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **O transporte move o Brasil: propostas da CNT aos candidatos 2018**. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/171> .

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Painel CNT de Acidentes Rodoviários**. Brasília: CNT, 2023A. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente> . Acesso em: 20 jan. 2022.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT do transporte aquaviário - Cabotagem 2013**. Brasília: CNT, 2013.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT perfil dos caminhoneiros 2019**. Brasília: CNT, 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-perfil-caminhoneiros-brasil-2019> . Acesso em: 20 jan. 2022.

CHANG, Y.; SHIN, S.; LEE, P. T. Economic impact of port sectors on South African economy: An input–output analysis. **Transport Policy**, v. 35, p. 333-340, 2014.

CORBETT, J. J.; WINEBRAKE, J. The Impacts of Globalisation on International Maritime Transport Activity. **Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World**, p. 1-31, 2008. Disponível em: <https://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/41380820.pdf> . Acesso em: 05 jan. 2021.

COLAVITE, A. S.; KONISHI, F. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, v. 12, p. 28, 2015.

CRUVINEL, R. R. S.; PINTO, P. V. H.; GRANEMANN, S. R. Mensuração econômica da emissão de CO₂ da frota dos transportadores autônomos de cargas brasileiros. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 234-252, 2012.

CUI, D. The complex properties of Chinese ship-transport networks. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications Ltd, p. 6483-6486, 2014.

CULLINANE, K.P.B.; WANG, Y. The hierarchical configuration of the container port industry: an application of multiple linkage analysis. **Maritime Policy & Management**, v. 39, n. 2, p. 169-187, 2012.

DANTAS, R. S. **A importância dos Portos para o Comércio Exterior Brasileiro**. Secretaria de Comércio Exterior. 2013. Acesso em <https://www.senado.leg.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=124363&tp> .

DE ANDRADE, A. L. C; MATTEI, L. Consumo energético e emissões de CO₂: uma análise do setor de transportes brasileiro. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA ECOLÓGICA*, 9., 2011, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: EcoEco, 2011.

DENG, W. B.; LONG, G.; WEI, L.; XU, C. Worldwide marine transportation network: efficiency and container throughput. **Chinese Physics Letters**, v. 26, n. 11, p. 118901, 2009.

DENG, Y. J.; YANG, Y. F.; MA, R. G. Highway network structure characteristics based on complex network theory. **China Journal of Highway and Transport**, v. 23, n. 1, p. 98, 2010.

DEVARAJAN, S.; ROBINSON, S. Special Issue: Symposium on Applied General Equilibrium Modeling. **Journal of Policy Modeling**, v. 15, n. 5, 1993.

DEVARAJAN, S.; ROBINSON, S. The influence of computable general equilibrium models on policy. **International Food Policy Research Institute**, Washington, n. 98, p. 1-34, 2002.

DING, R.; UJANG, N.; HAMID, H. B.; MANAN, M. S. A.; LI, R.; ALBADAREEN, S. S.; WU, J. Application of complex networks theory in urban traffic network researches. **Networks and Spatial Economics**, v. 19, p. 1281-1317, 2019.

DINIZ, T. B. **Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil**. 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

DINIZ, T.; FERREIRA FILHO, J. B. Impactos Econômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 2, p. 229-250, 2015.

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. Validating a detailed, dynamic CGE model of the USA. **Economic Record**, v. 86, p. 22-34, 2010.

DIXON, Peter B.; RIMMER, Maureen T. Validation in computable general equilibrium modeling. *In: **Handbook of computable general equilibrium modeling***. Elsevier, 2013. p. 1271-1330.

DOI, M.; TIWARI, P.; ITOH, H. A computable general equilibrium analysis of efficiency improvements at Japanese ports. **Review of Urban & Regional Development Studies**, v. 13, n. 3, p. 187-206, 2001.

DOROGOVTSEV, S. N.; MENDES, J. F. Evolution of networks: From biological nets to the Internet and WWW. **OUP Oxford**. ISBN 0199686718. 2013.

DOSHI, D.; MALHOTRA, B.; BRESSAN, S.; LAM, J.S.L. Mining maritime schedules for analyzing global shipping networks. **International Journal of Business Intelligence and Data Mining**, v. 7, n. 3, p. 186-202, 2012.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 1, p. 66-78, abr. 2014.

DUCRUET, C. Maritime networks. **Spatial structures and time dynamics**, 2015. ISBN: 1138911259.

DUCRUET, C. Network diversity and maritime flows. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 77-88, 2013.

DUCRUET, C. Port specialization and connectivity in the global maritime network. **Maritime Policy & Management**, v. 49, n. 1, p. 1-17, 2022.

DUCRUET, C. **Port regions and globalization**, in T.E. Notteboom. Ports in proximity: Competition and coordination among adjacent seaports, Aldershot: Ashgate, 41-54. 2012.

DUCRUET, C. The geography of maritime networks: A critical review. **Journal of Transport Geography**, v. 88, p. 102824, 2020.

DUCRUET, C.; NOTTEBOOM, T. E. The worldwide maritime network of container shipping: spatial structure and regional dynamics. **Global networks**, v. 12, n. 3, p. 395-423, 2012.

DUCRUET, C.; BEAUGUITTE, L. Network science and spatial science : Review and outcomes of a complex relationship. **HAL Post-Print**, n. hal-03246947, 2014.

DUCRUET, C.; ROZENBLAT, C.; ZAIDI, F. Ports in multi-level maritime networks: Evidence from the Atlantic (1996–2006). **Journal of Transport geography**, v. 18, n. 4, p. 508-518, 2010.

ESTRADA, E. **The structure of complex networks: theory and applications**. Oxford University Press. 2012.

EPE – EMPRESA DE PERQUISA ENERGÉTICA. **Precificação de óleo combustível marítimo para cabotagem**. Rio de Janeiro: dezembro de 2019.

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Boletim de Logística 1º semestre de 2019**. Brasília: EPL, 2019. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2020/09/boletim-logistico-1semestre2019.pdf> Acesso em: 09 jan. 2021.

EPL - EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Cabotagem: A Importância para o Transporte Brasileiro e as Medidas de Estímulo do BR do Mar**. Boletim de Logística, 2020. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/publicacoes/boletins-de-logistica/> Acesso em: 28 de maio de 2022.

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **O BR do mar e a redução de custos logísticos**. Artigo técnico, n. 02, Fevereiro, 2021. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Artigo-tecnico-n-02.pdf>
Acesso em: 28 de maio de 2022.

EPL – EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA S.A. **Transporte inter-regional de carga no Brasil - Panorama 2015**. Brasília: EPL, 2015. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015>.

FACHINELLO, A. L.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Gripe aviária no Brasil: uma análise econômica de equilíbrio geral. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 3, p. 539-566, 2010.

FACHINELLO, A. L.; NASCIMENTO, S. P. Cabotagem como alternativa para o transporte de carnes da região Sul para o Norte/Nordeste brasileiro: um estudo de caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, p. 969-988, 2008.

FERREIRA, D. N.; MONTENEGRO, L. A.; NOBRE, F. R. F. O poder marítimo do Brasil: Uma análise da potencialidade do Nordeste Brasileiro no fomento da projeção de poder sobre o Atlântico Sul. **REI - Revista de Estudos Internacionais**. v. 11, n. 2. 2020.

FIGUEIREDO, D. R. Introdução a redes complexas. **Atualizações em Informática**, PUCRio, p. 303–358, Cap. 7, 2011.

FLEMING, D.K. A geographical perspective of the transshipment function. **International Journal of Maritime Economics**, v. 2, p. 163-176, 2000.

FONSECA, R. O. A navegação de cabotagem de carga no Brasil. **Mercator (Fortaleza)**. v. 14, p. 21-46. 2015.

FONSECA, R. O. Circulação e Cabotagem: Aportes para uma leitura geográfica da conjuntura do modal no Brasil. **Formação (Online)**, v. 1, n. 22, 2015A.

GASS, S. I. Decision-aiding models: validation, assessment, and related issues for policy analysis. **Operations Research**, v. 31, n. 4, p. 603-631, 1983.

GOMES, C. F. S.; SANTOS, J. P. C.; COSTA, H. G. Eficiência Operacional dos Portos Brasileiros: Fatores Relevantes. **Sistemas & Gestão**, v. 8, n. 2, p. 118-128, 2013.

GROSS J.; YELLEN, J. **Discrete mathematics and its applications**, 1999.

GUIMARÃES, V. A.; D'AGOSTO, M. A.; LEAL JUNIOR, I. C.; SILVA, M. A. V.; DE CASTRO, J.; FRANCA, L. S. Análise da evolução da eficiência energética no setor de transporte brasileiro. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 27., 2013, Belém. **Anais [...]**. Belém: ANPET, 2013.

GUO, J.; WANG, S.; WANG, D.; LIU, T. Spatial structural pattern and vulnerability of China-Japan-Korea shipping network. **Chinese Geographical Science**, v. 27, p. 697-708, 2017.

HADDAD, E. A.; AZZONI C. R.; PUTY FILHO S. A.; CARDOSO H. N.; DOMINGUES E. P. Impactos Socioeconômicos de Grandes Investimentos em Transportes no Estado do Pará. **Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS)**, 2011.

HOSSAIN, M. M.; ALAM, S. A complex network approach towards modeling and analysis of the Australian Airport Network. **Journal of Air Transport Management**, v. 60, p. 1-9, 2017.

HU, Y.; ZHU, D. Empirical analysis of the worldwide maritime transportation network. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 388, n. 10, p. 2061-2071, 2009.

IBGE. Mapa de Biomas e Vegetação. 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> Acesso em: 1 set. 2021.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, 2023. Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O Efeito Estufa e o Setor Energético Brasileiro**. Rio de Janeiro: IPEA, 2000. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=3988 . Acesso em: 10 jan. 2021.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Portos brasileiros: Diagnóstico, Políticas e Perspectivas. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro**. Comunicados do Ipea n. 48, 2010.

IRAJÁ, V. Comércio por via marítima cresce 25,2% no terceiro trimestre de 2022. **VEJA**, 2022. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/coluna/radar-economico/comercio-por-via-maritima-cresce-252-no-terceiro-trimestre-de-2022/> . Acesso em: 15 de maio de 2023.

JIANG, L.; JIA, Y.; ZHANG, C.; WANG, W.; FENG, X. Analysis of topology and routing strategy of container shipping network on “Maritime Silk Road”. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v. 21, p. 72-79, 2019.

JOLY, O. **La structuration des réseaux de circulation maritime: position des plates-formes d'interconnexion en Europe du Nord-Ouest**. 1999. Tese de Doutorado. Le Havre.

JÚNIOR, V. G. A.; PINHEIRO, P. R. Sobre portos, cargas, competição e concentração de mercado na indústria portuária brasileira. **Gestão Executiva**, v. 1, n. 3, p. 18-24, 2022.

JUNIOR, I. C. L.; VALVA, D. C.; GUIMARÃES, V. A.; TEODORO, P. Análise da Matriz de Transportes Brasileira: Consumo de Energia e Emissão de CO₂. **Revista Uniabeu**, v. 8, n. 18, p. 49-64, 2015.

KALUZA, P.; KÖLZSCH, A.; GASTNER, M.T.; BLASIUS, B. The Complex Network of Global Cargo Ship Movements. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 7, n. 48, p. 1093-1103, 2010.

KANG, D.J.; BANG, H.S.; WOO, S. A study on the liner shipping network of the container port. **Journal of Korea Port Economic Association**, v. 30, n. 1, p. 73-96, 2014.

KANG, D.J.; WOO, S.H. Liner shipping networks, port characteristics and the impact on port performance **Maritime Economics & Logistics**, v. 19, p. 274-295, 2017.

KEHOE, T.J. An evaluation of the performance of applied general equilibrium models of the impact of NAFTA. **Federal Reserve Bank of Minneapolis**, Research Department Staff Report 320, 2003.

KEHOE, T. J.; POLO, C.; SANCHO, F. An evaluation of the performance of an applied general equilibrium model of the Spanish economy. **Economic Theory**, v. 6, n. 1, p. 115-141, 1995.

KIM, A.; LU, J. A study on the effects of network centrality and efficiency on the throughput of Korean and Chinese container ports. In: **Fifth International Conference on Transportation Engineering**, p. 760–769, 2015.

LAM, J.S.L.; YAP, W.Y. Dynamics of liner shipping network and port connectivity in supply chain systems: analysis on East Asia. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 6, p. 1272-1281, 2011.

LANGEN, P. W. **The performance of seaport clusters: a framework to analyze cluster performance and an application to the seaport clusters of Durban, Rotterdam and the lower Mississippi**. 2003. Tese (PHD) - Erasmus University Rotterdam, 2003.

LAXE, F. G., SEOANE, M. J. F., MONTES, C. P. Maritime degree, centrality and vulnerability: port hierarchies and emerging areas in containerized transport (2008–2010). **Journal of Transport Geography**, v. 24, p. 33-44, 2012.

LORDAN, O.; SALLAN, J. M.; SIMO, P. Study of the topology and robustness of airline route networks from the complex network approach: a survey and research agenda. **Journal of Transport Geography**, v. 37, p. 112-120, 2014.

LEE, T. C.; LEE, P. T. W.; CHEN, T. Economic impact analysis of port development on the South African economy. **South African Journal of Economics**, [s. l.], v. 80, n. 2, p. 228-245, 2012.

LEITE, V. P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. **VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde**, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020.

LIMA, C. Z. **Impacts of low carbon agriculture in Brazil: a CGE application**. Universidade de Viçosa, MG. 2017.

LIU, T; SHOU, P; HUIMIN, H; XU, H. Analyzing the environmental and economic impact of industrial transfer based on an improved CGE model: taking the Beijing–Tianjin–Hebei region as an example. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 83, p. 106386, 2020.

LU, C. S.; LAI, P. L.; CHIANG, Y. P. Container terminal employees' perceptions of the effects of sustainable supply chain management on sustainability performance. **Maritime Policy & Management**, v. 43, nº5, p.597- 613, 2016.

LU, W.; PARK, S.H.; LIU, S.; NAM, T.H.; YEO, G.T. Connection analysis of container ports of the Bohai Rim Economic Circle (BREC). **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 34, n. 2, p. 145-150, 2018.

MACEDO, F. M. S.; FERRARI, G.; FERREIRA, T. A. A ineficiência do Transporte Rodoviário Brasileiro e sua influência no custo dos produtos alimentícios no país. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 3, p. 619-637, 2023.

MAGALHAES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas, custos de redução de emissões de gases de efeito estufa e impactos sobre as famílias. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 41., Foz do Iguaçu. **Anais** [...], Foz do Iguaçu: ANPEC, 2013.

MDIC – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Resultados da Balança Comercial Brasileira de 2022**. Brasília, 02 de janeiro de 2023.

MENEZES, G. R. Ensaio Sobre Economia do Empreendedorismo. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, 2015.

METZ, J; CALVO R.; SENO, E. R. M.; ROMERO, R. A.; LIANG, Z. **Redes complexas: conceitos e aplicações**. Relatórios Técnicos do ICMC (Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação), Universidade de São Paulo, 2007. ISSN: 0103-2569.

MIGUEL, P. L. S.; JÊNIOR, G. G. C. Criação de Valor na Utilização da Cabotagem no Brasil. **Revista Brasileira de Transportes**, v. 1, n. 2, p. 70-97, 2021.

Ministério da Infraestrutura. **Anuário Estatístico de Transportes 2010 – 2021, 2022.** Disponível em: [Anuário Estatístico – ONTL \(infrasa.gov.br\)](https://www.infrasa.gov.br) Acesso em: 10 março 2023.

Ministério da Infraestrutura. **Arrecadação de AFRMM, Quantitativo e Destinação dos valores Arrecadados ao Fundo da Marinha Mercante - 4º Trimestre de 2022.** Brasília, 2023.

Ministério da Infraestrutura - GOV. BR do Mar Programa de Incentivo à Cabotagem PL Nº 4199/2020. Boletim Informativo, 2020.

MINISTÉRIO DA DEFESA E DOS TRANSPORTES. **Plano Nacional De Logística e Transportes: 2008-2033. Relatório Executivo.** Brasília, DF. Abril, 2007.

Ministério da Infraestrutura – GOV.br. **Regime Tributário para Incentivo à Modernização e à Ampliação da Estrutura Portuária – Reporto, 2022.** Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte_aquaviario/snpta/regime-tributario-para-incentivo-a-modernizacao-e-a-ampliacao-da-estrutura-portuaria-reporto . Acesso em: 5 de outubro de 2022.

MONTES, C. P.; SEOANE, M. J. F; LAXE, F. G. General cargo and containership emergent routes: a complex networks description. **Transport Policy**, v. 24, p. 126-140, 2012.

MONZONI, M.; BIDERMAN, R. **Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no Brasil: energia, transporte e agropecuária.** São Paulo: Vox Editora, 2010. 105 p.

MORAES, G. I. **Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável.** 2010. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOREIRA, W. S. **O Desenvolvimento da Navegação de Cabotagem no Brasil.** FIESP. 6º Encontro de Logística e Transportes. Junho/2011.

MOU, N., LIU, C., ZHANG, L., FU, X., XIE, Y., LI, Y., PENG, P., 2018. Spatial pattern and regional relevance analysis of the Maritime Silk Road shipping network. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 977, 2018.

MOURA, D. A.; BOTTER, R. C. Transporte marítimo: o corredor verde para o Brasil. **Revista Gestão Industrial**, v. 12, n. 2, 2016.

NAZÁRIO, P. Intermodalidade: importância para a logística e estágio atual no Brasil. **Ilos**, 10 abr. 2000. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/tag/gestao-estrategica-dos-transportes/page/3/> .

NETO, C. A. S. C.; FILHO, B. P.; ROMMINGER, A. E.; FERREIRA, I. M.; VASCONCELOS, L. F. S. **Gargalos e demandas da infraestrutura portuária e os investimentos do pac: mapeamento IPEA de obras portuárias**. Textos para Discussão nº1423. Brasília: IPEA, 2009.

NEVES, M. J. Regras de Rotterdam: A viabilidade de adesão e ratificação em favor do transporte marítimo. **Revista de Direito da Unigranrio**, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2022.

NICOLAU, O. N. B.; CHAVES, G. L. D.; ZANCHETTA, I. T. Avaliação do consumo energético e emissões de dióxido de carbono do transporte rodoviário do Brasil (2016-2026). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, 2020.

NÓBREGA, E. **Evolução e perspectivas de desenvolvimento da marinha mercante brasileira**. Senado Federal, Consultoria Legislativa, 2008.

O'KELLY, M. E. Network hub structure and resilience. **Networks and Spatial Economics**, v. 15, p. 235-251, 2015.

OLIVEIRA, A. L. R.; SÁ PORTO, P. C. Serviços de cabotagem no Brasil: principais vantagens e desafios atuais. **Revista Espacios**, Vol. 37 (Nº 08), 2016.

OLIVEIRA, C. W. A.; COELHO, D. S. C.; BAHIA, L. D.; FERREIRA FILHO, J. B. S. **Impactos macroeconômicos de investimentos na cadeia de petróleo brasileira**. Brasília, DF: IPEA, 2011. 26 p.

OLIVEIRA, R. G. D.; PINHEIRO, R. F. Oportunidades e desafios da atividade de Cabotagem no Brasil: Um levantamento do potencial da Cabotagem voltado à integração entre modais e seus respectivos gargalos através dos componentes logísticos operacionais. **XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2016.

OLIVEIRA, D. Associação Brasileira de Importadores e Distribuidores de Pneus – ABIDIP, 2022. **AFRMM teve arrecadação de R\$ 13,5 bilhões em 2021**. Disponível em: <https://abidip.com.br/noticias/afrrmm-teve-arrecadacao-de-r-135-bilhoes-em-2021/> Acesso em: 1 de outubro de 2022.

ONTL - Observatório Nacional de Transporte e Logística. **Boletim de Logística – Cabotagem: A Importância para o Transporte Brasileiro e as Medidas de Estímulo do BR do Mar**. Brasília/DF. 2021. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2021/03/importancia-da-navegacao-de-cabotagem.pdf> Acesso em: 15 jun. 2021.

OUYANG, M.; ZHAO, L.; HONG, L.; PAN, Z. Comparisons of complex network based models and real train flow model to analyze Chinese railway vulnerability. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 123, p. 38-46, 2014.

PENG, P.; CHENG, S; LU, F. Characterizing the Global Liquefied Petroleum Gas Trading Community Using Mass Vessel Trajectory Data. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119883, 2020.

PENG, P.; POON, J.P.; YANG, Y.; LU, F.; CHENG, S. Global Oil Traffic Network and Diffusion of Influence Among Ports Using Real Time Data. **Energy**, v. 172, p. 333-342, 2019.

PEREIRA, R. M.; ALMEIDA, A. N.; GONÇALVES, R. R. Exportações de carne bovina brasileira: uma análise a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. **Perspectiva Econômica**, v. 15, n. 1, p. 31-50, 2019.

PORTO, S. L. Z. Portos na Cadeia Logística Brasileira – Passado, Presente e Futuro. In: **VI Congresso Internacional de desempenho portuário**. 2019.

POTENZA, R. F.; QUINTANA, G. O.; CARDOSO, A. M.; TSAI, D. S.; CREMER, M. S.; SILVA, F. B.; GRACES, I.; CARVALHO, K.; COLUNA, I.; SHIMBO, J.; SILVA, C.; QUINTELLA, M.; SUCENA, M. Cabotagem no Brasil: grande oportunidade pós COVID-19?. **FGV Transportes**, 2020.

QING, Y. E. Vulnerability analysis of rail transit based on complex network theory. **China Safety Science Journal**, v. 2, p. 122-126, 2012.

QUINTELLA, M.; SUCENA, M. Cabotagem no Brasil: grande oportunidade pós COVID-19?. **FGV Transportes**, 2020.

REBELO, J. **Logística de Carga no Brasil: como reduzir custos logísticos e melhorar eficiência? – Sumário Executivo**. Banco Mundial: Departamento de Desenvolvimento Sustentável, 2011.

REGT, R.; FERBER, C.; HOLOVATCH, Y.; LBOVKA, M. Public transportation in Great Britain viewed as a complex network. **Transportmetrica A: Transport Science**, v. 15, n. 2, p. 722-748, 2019.

RIBEIRO, A. C. B. M.; HOECKEL, P. H. O.; MORAES, G. I. Tributação sobre gases de efeito estufa no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral computável. **Ensaio FEE**, v. 38, n. 4, p. 683-706, 2018.

RIBEIRO, J. BR do Mar: Caem vetos ao Reporto e AFRMM. Aumento de tripulação nacional não passa. **FGV Transportes**, 2022. Disponível em: <https://transportes.fgv.br/noticias/br-do-mar-caem-vetos-ao-reporto-e-afrmm-aumento-de-tripulacao-nacional-nao-passa> . Acesso em: 1 de outubro de 2022.

RIBEIRO, L. C.; LÔBO A. S.; SILVA L. D.; ANDRADE N. F. S. Padrões de crescimento econômico dos municípios do MATOPIBA. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 58, p. e212613, 2020.

ROBINSON, R. **Spatial Structuring of Port-Linked Flows: The Port of Vancouver, Canada, 1965**. Tese de Doutorado. University of British Columbia, 1968.

ROCHA NETO, J. M.; CRAVIDÃO, F. D. Portos no contexto do meio técnico. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, p. 23-37, 2014.

RODRIGUE, J. P. **The Geography of Transport Systems**, Routledge, 2020.

RODRIGUE, J.P.; NOTTEBOOM, T.E. Foreland-Based Regionalization: Integrating Intermediate Hubs with Port Hinterlands. **Research in Transportation Economics**, 27 (1): 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.12.004> , 2010.

RODRIGUE, J.P.; NOTTEBOOM, T. E. The Geography of Cruises: Itineraries, not Destinations. **Applied Geography**, v. 38, p. 31-42, 2013.

RUTHERFORD, T. F. **GTAP6inGAMS: The dataset and static model**. <http://www.mpsge.org/gtap6/gtap6gams.pdf> , 2005.

RUTHERFORD, T. F.; PALTSEV, S. V. **GTAPin GAMS and GTAP-EG: Global datasets for economic research and illustrative models**. [S.1.], 2000.

SABERI, M.; RASHIDI, T. H.; GHASRI, M.; EWE, K. A complex network methodology for travel demand model evaluation and validation. **Networks and Spatial Economics**, v. 18, p. 1051-1073, 2018.

SABOORI, B.; SAPRI, M.; MAIZAN, B. B. Crescimento econômico, consumo de energia e emissões de CO2 no setor de transportes da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico): Uma abordagem de relacionamento bidirecional totalmente modificada. **Energia**, v. 66, p. 150-161, 2014.

SANTOS, C. C. R. **Redes marítimas e TVG da cabotagem brasileira: estrutura especial e dinâmica regional**. 2018. 109 f. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2018.

SANTOS, C. C. R.; PEREIRA, H. B. B.; CUNHA, M. V. Identificando hubs na rede marítima da cabotagem brasileira utilizando time-varying graphs. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)**, v. 3, n. 2, 2018.

SANTOS, C. C. R.; PEREIRA, H. B. B.; PALMEIRA A. S.; CUNHA, M. V. Aplicação da Teoria de Redes para Análise Logística dos Hubsports da Cabotagem Brasileira. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, Paranaguá, PR, v. 4, n. 3, maio de 2019.

SCARANELLO, T. **O Programa BR do Mar: análise do AFRMM**. Editora Jus Podivm, 2021. Disponível em: <https://meusitejuridico.editorajuspodivm.com.br/2021/08/23/oprograma-br-mar-analise-afrrm/> . Acesso em: 20 set. 2022.

SEOANE, M. J. F.; LAXE, F. G.; MONTES, C. P. Foreland determination for containership and general cargo ports in Europe (2007–2011). **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 56-67, 2013.

SILVA, M. M. M.; SILVA, L. X.; SILVA, M. A.; DUARTE, T. G.; OLIVEIRA, A. C. A. Efeitos do Dióxido de Carbono na saúde e no meio ambiente. *In*: SEMINÁRIO PESQUISAR, 5., 2016, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Faculdade Alfredo Nasser, 2016.

SILVA, F. P. F.; STUKART, B. R. L.; MORAIS, L. S. R.; STELLING, P. F. B.; CAVALCANTI, M. C. B.; COSTA, A. O. Políticas públicas para o transporte rodoviário de cargas no Brasil: impactos sobre a demanda energética e a emissão de poluentes atmosféricos. **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2020**. 2020.

SILVA, R. P.; GILIO, L.; CASTRO, N. R. Impactos da eliminação da queimada da cana sobre o setor sucroenergético: uma análise de equilíbrio geral. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 1, p. 9-21, 2019.

SLACK, B.; GOVERNAL E. Container Transshipment and Logistics in the Context of Urban Economic Development. **Growth and Change** 47 (3): 406–415. <https://doi.org/10.1111/grow.12132> , 2015.

SLOCAT. **Tracking Trends in a Time of Change: The Need for Radical Action Towards Sustainable Transport Decarbonisation, Transport and Climate Change Global Status Report – 2nd edition**. 2022. *Disponível em*: <https://unfccc.int/documents/461585> Acesso em: 04 junho 2023.

SNPTA – SECRETARIA NACIONAL DE PORTOS E TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Boletim Informativo BR do Mar**. Brasília: SNPTA, 2020. Disponível em: <https://www.sopesp.com.br/wp-content/uploads/2020/08/Boletim-Infomativo-BR-do-Mar.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

SOALHEIRO, G. H. S.; MORAES, G. C. P.; CELESTINO, O. J. S. **Cabotagem: alternativa para reduzir impactos ao meio ambiente no Brasil**. X FATECLOG, 2019.

SOARES, J. A. B. **Cabotagem como complemento na matriz de transportes: uma análise dos desafios para seu crescimento no sistema de transportes brasileiro no século 21**. 2019. Tese de Doutorado.

SOH, H.; LIM, S.; ZHANG, T.; FU, X.; LEE, G. K.; HUNG, T. G.; WONG, L. Weighted complex network analysis of travel routes on the Singapore public transportation system. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 389, n. 24, p. 5852-5863, 2010.

SONG, L.; GEENHUIZEN, M. V. Port infrastructure investment and regional economic growth in China: Panel evidence in port regions and provinces. **Transport Policy**, v. 36, p. 173-183, 2014.

SOUZA, E.; ZIMBRES, B.; ALENCAR A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T. Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para o Brasil 1970 – 2021. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG**, 10. ed., 2023.

SOUZA, G. M. A Importância do Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem - BR do Mar para a Logística do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 4, p. 1132-1150, Abril, 2022.

SOUZA, G. R.; LEITE, N. A. M. A BR do Mar e as operações de Cabotagem no Brasil: Um estudo exploratório. **Revista Foco**, Curitiba (PR), v. 16, n. 6, p. e2218-e2218, 2023.

TALLEY, W. K. **Port economics**, Routledge, 2017.

TAHERIPOUR, F.; HERTEL, T. W.; TYNER, W. E. Implications of biofuels mandates for the global livestock industry: a computable general equilibrium analysis. **Agricultural Economics**, v. 42, n. 3, p. 325-342, 2011.

TAYLOR, L.; BACHA, E.L.; CARDOSO, E.A.; Lysy, F.J. 1980. **Models of Growth and Distribution in Brazil**. Oxford University Press, Oxford.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Obstáculos ao Desenvolvimento da Cabotagem. **Relatório de Auditoria Operacional do TCU**. Acórdão nº 1383, 2019.

TCU CABOTAGEM, TC 023297 2018 2 Apenso TC 003.329 2019 4.rtf. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/obstaculos-ao-desenvolvimento-da-cabotagem.htm> Acesso em: 5 de junho de 2022.

TEIXEIRA, C. A. N.; ROCIO, M. A. R.; MENDES, A. P. A.; OLIVEIRA, L. A. S. Navegação de cabotagem brasileira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 47, p. 391-435, 2018.

UNCTAD – CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE COMÉRCIO E DESENVOLVIMENTO. **Review of Maritime Transport**. Geneva: UNCTAD, 2017. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2017_en.pdf. Acesso em: 17 jan. 2021.

VALENZUELA, E.; HERTEL, T. W.; KEENEY, R.; REIMER, J. J. Assessing global computable general equilibrium model validity using agricultural price volatility. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 89, n. 2, p. 383-397, 2007.

VAN DIJK, M.; PHILIPPIDIS, G.; WOLTJER, G. **Catching up with history: A methodology to validate global CGE models**. LEI Wageningen UR, FOODSECURE project office, 2016.

VISCONDI, G. F.; SILVA, A. F.; CUNHA, K. B. Geração termoeétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle. São Paulo: IEMA, 2016. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/IEMA-EMISSOES.pdf>

WALRAS, L., 1874. **Elements of Pure Economics**. George Allen and Unwin, Crows Nest.

WANG, Y.; CULLINANE, K. P. B. Determinants of port centrality in maritime container transportation. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 95, p. 326-340, 2016.

WANG, Y.; CULLINANE, K. P. B. Measuring container port accessibility: an application of the Principal Eigenvector Method (PEM). **Maritime Economics & Logistics**, v. 10, p. 75-89, 2008.

WANG, Y.; CULLINANE, K. P. B. Traffic consolidation in East Asian container ports: a network flow analysis. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 61, p. 152-163, 2014.

WANG, J.; MO, H.; WANG, F.; JIN, F. Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 4, p. 712-721, 2011.

WANG, L.H., ZHU, Y., DUCRUET, C., BUNEL, M., LAU, Y.Y., 2018. From hierarchy to networking: the evolution of the "21st century maritime silk road" container shipping system. **Transport Reviews**, v. 38, n. 4, p. 416–435, 2018.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of "small-world" networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.

WESTERDAHL, C. Traditional zones of transport geography in relation to ship types. **Shipshape. Essays for Ole Crumlin-Pedersen**, p. 213-230, 1995.

XU, Z.; HARRISS, R. Exploring the structure of the US intercity passenger air transportation network: a weighted complex network approach. **GeoJournal**, v. 73, p. 87-102, 2008.

YANG, Y.; CHEN, S. Determinants of global logistics hub ports: Comparison of the port development policies of Taiwan, Korea, and Japan. **Transport Policy**, v. 45, p. 179-189, 2016.

YANG, Y.; LIU, Y.; ZHOU, M.; LI, F.; SUN, C. Robustness assessment of urban rail transit based on complex network theory: A case study of the Beijing Subway. **Safety science**, v. 79, p. 149-162, 2015.

YU, H.; FANG, Z.; PENG, G.; FENG, M. Revealing the linkage network dynamic structures of Chinese maritime ports through automatic information system data. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1913, 2017.

ZHAO, Y. Z.; ZHOU, J. M.; KUANG, H. B. Hierarchical structures of hub ports in the global container shipping network based on centralities analysis. **Advances in Transportation Studies**, 2014.

ZHANG, W.; DENG, W.; LI, W. Statistical properties of links of network: a survey on the shipping lines of worldwide marine transport network. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 502, p. 218-227, 2018.

ZELAYA, L. G.; MATTOS, N. O.; CORREIA, S. Z.; CORREIA, M. F. Z. Logística portuária brasileira sua evolução do setor e perspectivas. In: **XI Congresso Nacional De Excelência Em Gestão**, p. 28, 2015.