

Rumo à eficiência: avaliando os ganhos de produtividade no transporte hidroviário no Rio Grande do Sul

Rodrigo da Rocha Gonçalves

Universidade Federal do Rio Grande Rio Grande – Rio Grande do Sul – Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0596-5576>

Joel Quevedo de Matos

FURG – Rio Grande – Rio Grande do Sul – Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4598-1730>

Guilherme Penha Pinto

Marinha do Brasil – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro – Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3565-2984>

Gabrielito Rauter Menezes

UFPEl – Pelotas – Rio Grande do Sul – Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7649-5132>

Resumo

O estado do Rio Grande do Sul (RS) apresenta uma matriz de transportes altamente concentrada no modal rodoviário e com carência de infraestrutura. Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo mensurar os impactos econômicos advindos do aumento da produtividade decorrente da ampliação da utilização das hidrovias no estado. Para isso, foi desenvolvido o modelo de equilíbrio geral computável inter-regional denominado TRANSP-RS, com uma análise detalhada dos transportes de cargas. As simulações foram realizadas comparando os ganhos de produtividade entre os transportes hidroviário, rodoviário e ferroviário. Os resultados indicaram que o transporte hidroviário pode oferecer retornos superiores aos do transporte rodoviário em termos de investimentos. No contexto regional, as simulações demonstraram um aumento em variáveis como produto regional bruto, valor agregado, emprego agregado, renda e consumo das famílias. Por fim, as regiões mais beneficiadas nas simulações foram o arranjo populacional e o resto do RS, evidenciando a relevância dessas áreas para setores dependentes de transporte, como agricultura e indústria de transformação.

Palavras-chave: Transporte Hidroviário. Equilíbrio Geral Computável. Economia Regional.

Towards Efficiency: Assessing Productivity Gains in Waterway Transportation in Rio Grande do Sul

Abstract

The state of Rio Grande do Sul (RS) presents a highly concentrated transportation matrix in the road modal with a lack of infrastructure. Given this scenario, this article aims to measure the economic impacts arising from increased productivity resulting from expanding the use of waterways in the state. For this purpose, the computable general equilibrium inter-regional model named TRANSP-RS was developed, providing a detailed analysis of freight transportation. Simulations were conducted, comparing the productivity gains between waterway, road, and a combination of both transports. The results indicated that waterway transportation can offer superior returns compared to road transport in terms of investments. Regionally, the simulations showed an increase in variables such as regional gross product, added value, aggregate employment, income, and household consumption. Ultimately, the most benefited regions in the simulations were the populated arrangement and the rest of RS, highlighting the significance of these areas for transport-dependent sectors such as agriculture and manufacturing.

Keywords: Waterway Transport. Computable General Equilibrium. Regional Economy.

Hacia la eficiencia: evaluación de las ganancias de productividad en el transporte fluvial en Rio Grande do Sul

Resumen

El estado de Rio Grande do Sul (RS) presenta una matriz de transporte altamente concentrada en el modo carretero y con carencia de infraestructura. Ante este escenario, este artículo tiene como objetivo medir los impactos económicos derivados del aumento de la productividad derivado de la mayor utilización de las vías fluviales en el estado. Para ello, se desarrolló el modelo de equilibrio general computable interregional denominado TRANSP-RS, con un análisis detallado del transporte de carga. Las simulaciones se realizaron comparando las ganancias de productividad entre el transporte fluvial, carretero y ferroviario. Los resultados indicaron que el transporte fluvial puede ofrecer retornos superiores al transporte carretero en términos de inversiones. En el contexto regional, las simulaciones mostraron un aumento en variables como el producto regional bruto, el valor agregado, el empleo agregado, los ingresos y el consumo de los hogares. Finalmente, las regiones más beneficiadas en las simulaciones fueron el arreglo poblacional y el resto de RS, evidenciando la relevancia de estas áreas para sectores dependientes del transporte, como la agricultura y la industria manufacturera.

Palabras clave: Transporte fluvial. Equilibrio general computable. Economía regional.

1 Introdução

Este estudo tem como objetivo analisar os impactos econômicos decorrentes do aumento da produtividade na utilização das hidrovias no estado do Rio Grande do Sul (RS), visando identificar estratégias mais eficazes para ampliar a competitividade desse estado em escala nacional e global. A análise do transporte hidroviário é essencial devido ao seu custo reduzido, que proporciona economias de escala e emissões de carbono mais baixas (CUNHA, 2014).

Conforme indicado pelo Plano Estadual de Logística do Rio Grande do Sul (PELT/RS, 2014), a matriz de transporte no estado mostra uma considerável

concentração, com o transporte rodoviário respondendo por mais de 80% do volume total de cargas movimentadas. Dados do Ministério do Transporte (MT, 2012) revelam que uma parcela significativa dos produtos, como grãos, carnes congeladas e móveis, é transportada diariamente pelas estradas, correspondendo a cerca de 80% do movimento do porto de Rio Grande, localizado no Extremo Sul gaúcho e um dos maiores do país.

A hidrovia gaúcha possui uma capacidade praticamente ilimitada para exploração na navegação interna. Uma alternativa que reduziria a dependência das estradas seria a utilização da Lagoa dos Patos, a maior hidrovia do Brasil, conectando aproximadamente 220 km da região Sul do estado à região metropolitana de Porto Alegre (ANTAQ, 2016). Além disso, o Plano Estadual de Logística do Rio Grande do Sul (PELT-RS, 2014), em conjunto com a superintendência de portos e hidrovias do estado, propõe melhorias na Lagoa dos Patos, expandindo sua área de navegação em 300 km para acelerar o tráfego nesse segmento. Portanto, visando minimizar as perdas econômicas decorrentes dessa concentração e aprimorar a logística de transportes estadual, busca-se promover maior utilização do transporte hidroviário, reconhecido por seu custo comparativamente inferior por km/tonelada e menor impacto ambiental (MT, 2012).

A avaliação dos impactos econômicos resultantes de melhorias no transporte pode ser realizada por meio de diversas metodologias; entretanto, a literatura econômica empírica concentra-se predominantemente em modelos econométricos e modelos de equilíbrio geral computável (EGC). Para análises agregadas, a última metodologia se mostra mais apropriada, considerando os efeitos indiretos entre os setores, como enfatizado por Bröcker (2002) e por Robson, Wijyaratnadixit e Dixit (2018). Assim, o modelo EGC, aplicado neste estudo, permite avaliar os impactos dessa política simultaneamente em atividade econômica, renda, emprego, finanças públicas, exportações, desempenho de setores específicos e medidas de bem-estar.

Por essa razão, os modelos de EGC estão cada vez mais sendo empregados para analisar questões relacionadas ao transporte, considerando custos de transporte de mercadorias e passageiros. Robson, Wijyaratnadixit e Dixit (2018) apontam que, nos modelos de EGC utilizados, as redes de transporte são integradas com o tempo e os custos financeiros de transporte entre espaços, podendo ter ênfase nacional, regional ou urbana. Dessa forma, é possível identificar uma série de impactos decorrentes da implementação dessa política, como nos níveis de atividade econômica, emprego, salários e distribuição espacial da renda, entre outros aspectos. No contexto internacional, autores como Bröcker (2002), Knaap e Oosterhaven (2011), Bröcker e Korzhenevych (2013), Verikios e Zhang (2013), Nieuwkoop (2014) e Robson, Wijyaratnadixit e Dixit (2018), Cai et al. (2023), Wang e Dixit (2024) têm explorado essa abordagem.

No Brasil, o uso de modelos de EGC para questões de transporte é extenso, com trabalhos relevantes como os de Haddad e Domingues (2001), Almeida (2004), Haddad (2004), Araújo (2006), Domingues et al. (2010), Betarelli Júnior (2012), Torres (2013), Vassalo (2015), Campos e Haddad (2016), Gonçalves (2018), Matos, Gonçalves e Pinto (2022), Pontes et al. (2022), Proque, Betarelli Junior e Perobelli (2022) e Betarelli Junior, Domingues e Hewings (2023). A maioria desses estudos empregou modelos de equilíbrio geral computável para analisar os impactos de melhorias no transporte, com foco especialmente no sistema de transporte rodoviário das regiões

Sudeste e Norte. Portanto, este artigo visa preencher a lacuna da escassez de estudos focados no transporte hidroviário, principalmente nos estados da região Sul do Brasil.

O modelo a ser adaptado (B-MARIA) faz parte dos modelos de equilíbrio geral computável inter-regional, reconhecidos pela capacidade de capturar os efeitos entre os setores da economia. Como o setor de transporte pode ser considerado um custo de produção para todos os outros setores da economia, o modelo escolhido deve ser dessa natureza para avaliar o impacto de uma redução no custo do transporte. O modelo desagrega as margens de transporte em seis tipos, com o propósito de analisar os efeitos provocados pelos diferentes modais de transporte, especialmente o transporte hidroviário, sobre a economia do estado do RS.

Na literatura econômica, diversos estudos baseados em modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) destacam que melhorias na infraestrutura de transporte impactam significativamente o desenvolvimento regional. No caso do modal hidroviário, tais aprimoramentos contribuem para a redução dos custos de transporte e ampliam a conectividade entre as áreas produtoras e os mercados consumidores. Esse processo desencadeia efeitos multiplicadores, que dinamizam as cadeias produtivas, como o agronegócio, a indústria e os serviços, atraem novos investimentos e estimulam a reconfiguração espacial das atividades econômicas (Rosik; Wójcik, 2023).

Nesse contexto, os modelos de EGC, especialmente aqueles com extensões espaciais (SCGE), constituem instrumentos analíticos apropriados para mensurar os efeitos diretos, indiretos e inter-regionais decorrentes de melhorias na infraestrutura hidroviária. Esses modelos possibilitam a simulação dos impactos de choques relacionados à redução dos custos de transporte e ao aumento da acessibilidade sobre variáveis econômicas, como produto, emprego e renda regional. Além disso, permitem analisar os efeitos de transbordamento (spillovers), pelos quais os ganhos logísticos obtidos em determinada região se propagam para territórios vizinhos, promovendo maior coesão territorial e eficiência sistêmica.

A fundamentação teórica da Teoria da Localização de Lösch reforça esse argumento ao demonstrar que a redução dos custos de transporte amplia as áreas de mercado, estimula a concorrência, reduz os preços e intensifica a circulação de renda (Almeida et al., 2021). Dessa forma, o fortalecimento da infraestrutura hidroviária, quando analisado por meio de modelos EGC, revela-se uma política com elevado potencial para a promoção de um desenvolvimento regional mais equilibrado.

Após esta introdução, segue-se com uma revisão de literatura concentrada no transporte hidroviário do Rio Grande do Sul. Na terceira seção, são apresentados os procedimentos metodológicos. A quarta seção aborda os resultados e as discussões. Por fim, são apontadas as considerações finais dessa pesquisa.

2 Transporte hidroviário no Rio Grande do Sul

O transporte hidroviário apresenta características estruturais e operacionais distintas em relação aos modais ferroviário e rodoviário, com potencial relevante para a redução de custos logísticos e ganhos de eficiência produtiva. Sua adoção, no entanto, envolve desafios técnicos, ambientais e institucionais, especialmente

quando se trata da criação de novos canais navegáveis. Dada a elevada complexidade e o custo das intervenções, a alternativa mais viável, do ponto de vista econômico, consiste na requalificação e aproveitamento de vias aquáticas já existentes, mediante ações como a dragagem para remoção de sedimentos e a adequação da navegabilidade.

A literatura aponta que o transporte hidroviário apresenta vantagens econômicas expressivas. Segundo Vassalo (2015), o modal aquaviário possui o menor custo por tonelada-quilômetro, sendo 56% mais econômico que o rodoviário, 20% mais vantajoso que o ferroviário e 29% mais barato que o dutoviário. Na prática, o custo de transportar uma carga por 1 km em rodovias equivale ao transporte da mesma carga por 2,27 km em hidrovias. Apesar dessa vantagem comparativa, o Brasil ainda enfrenta gargalos na infraestrutura. O país ocupa a 56ª posição global em competitividade de transporte, mas cai para a 114ª posição quando se avalia a qualidade da infraestrutura (VASSALO, 2015).

No contexto do Rio Grande do Sul, observa-se um descompasso entre o potencial hidrográfico e a utilização efetiva das hidrovias. Segundo o Plano Estadual de Logística de Transporte (PELT-RS, 2018), aproximadamente 88% das cargas são transportadas por rodovias, 6% por ferrovias e apenas 3% por hidrovias. Esse percentual é significativamente inferior à média nacional, que apresenta 65% para rodovias, 16% para hidrovias e 15% para ferrovias. Esse cenário é especialmente relevante ao considerar que o estado abriga o Porto do Rio Grande, um dos maiores do país, com capacidade instalada e infraestrutura intermodal (rodoviária e ferroviária) que favorecem a integração logística.

Betarelli Júnior (2013) salienta que melhorias na infraestrutura de transporte geram efeitos diretos sobre a acessibilidade e efeitos multiplicadores sobre os demais setores econômicos, medidos pelos coeficientes de ligação para frente e para trás. A ampliação da capacidade hidroviária, portanto, pode dinamizar cadeias produtivas, favorecer o comércio exterior e estimular a reconfiguração espacial da atividade econômica. Além disso, ao reduzir os custos logísticos, essas melhorias ampliam a competitividade regional e contribuem para o desenvolvimento econômico com menor impacto ambiental.

Nesse sentido, a subutilização do modal hidroviário no Rio Grande do Sul representa uma oportunidade estratégica. Ao dispor de um sistema hídrico integrado, com destaque para a Lagoa dos Patos e a conexão com o Porto do Rio Grande, o estado possui condições logísticas favoráveis à adoção de políticas públicas voltadas à ampliação da infraestrutura aquaviária como instrumento de desenvolvimento regional.

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) aponta que os principais entraves ao desenvolvimento do transporte hidroviário no Brasil são a precariedade da infraestrutura e as barreiras regulatórias, agravadas pela escassez de investimentos, pela ausência de sinalização e pelas dificuldades na construção de novos canais navegáveis. Cunha (2014) corrobora essa análise ao destacar deficiências específicas no contexto gaúcho, como a falta de sinalização na Lagoa dos Patos e a descontinuidade nas operações de dragagem. Ademais, a burocratização excessiva do setor compromete a eficiência operacional e inibe a atuação de novas empresas.

Apesar das limitações, o modal hidroviário permanece subutilizado, ainda que seu maior aproveitamento possa representar ganhos econômicos expressivos para o estado. O PELT-RS (2018) destaca a baixa utilização da cabotagem no Rio Grande do Sul, sugerindo maior integração dos portos de Rio Grande, Pelotas e Porto Alegre à logística regional. Considerando que aproximadamente 80% do PIB brasileiro é gerado em áreas localizadas a até 200 km do litoral, a ampliação da cabotagem interligando o estado a outras unidades da federação representa uma alternativa logística viável e estratégica.

A subutilização das hidrovias é uma realidade nacional. Segundo Teixeira et al. (2018), embora o Brasil possua uma vasta rede hidrográfica, sua integração ao sistema de transporte ocorreu majoritariamente nos períodos colonial e imperial, sendo posteriormente preterida por outros modais. Em contrapartida, países desenvolvidos continuam investindo na modernização de seus sistemas de transporte aquaviário, reconhecendo suas vantagens comparativas.

O PELT-RS (2018) projeta investimentos de R\$ 361,2 milhões na rede hidroviária estadual até 2024, com predominância de recursos federais. Contudo, subsistem incertezas quanto à capacidade de atrair capital privado, mesmo com a previsão de concessões e parcerias público-privadas (PPPs). O plano contempla a ampliação de 380 km de trechos navegáveis, a manutenção de 776 km, a construção ou reforma de 13 terminais hidroviários e a realização de estudos sobre frete, demanda declarada, tráfego, ineficiência logística e custos operacionais. Essas ações envolvem articulação com o governo federal em aspectos regulatórios, normativos e de financiamento.

Tabela 1 – Plano de investimentos do PELT-RS, Custos de Implantação de Obras Hidroviárias por Rota e Horizonte de Projeto (em R\$)

Competência	2019	2024	Total Geral
Investimentos Estaduais	113.700.000	-	113.700.000
Número de Intervenções Estaduais	2	-	2
Investimentos Federais	119.900.000	-	119.900.000
Número de Intervenções Federais	2	-	2
Investimentos em Terminais Estaduais ou Concessões	50.000.000	35.200.000	85.200.000
Número de Terminais Estaduais	3	6	9
Competência	2019	2024	Total Geral
Investimentos em Terminais Federais ou Concessões	-	20.000.000	20.000.000
Número de Terminais Federais	-	2	2
Investimentos em Terminais no Uruguai	-	22.400.000	22.400.000
Número de Terminais no Uruguai	-	2	2
Total Geral	283.600.000	77.600.000	361.200.000

Número Total de Intervenções	7	10	17
------------------------------	---	----	----

Fonte: Adaptado de PELT-RS (2018).

A Tabela 1 sintetiza o plano de investimentos do PELT-RS, detalhando os montantes e o número de intervenções previstas por competência e horizonte temporal. Esses dados evidenciam o esforço planejado para revitalizar a infraestrutura hidroviária, embora os recursos destinados ainda sejam modestos quando comparados aos aportes em outros modais.

Além das questões operacionais, existem desafios geográficos. Cunha (2014) observa que muitas hidrovias brasileiras não possuem ligação direta com o oceano, exigindo integração com outros modais para completar o escoamento. Collaziol (2003) ressalta a importância de ações coordenadas para a modernização da infraestrutura logística, que envolvam desde a renovação dos equipamentos e capacitação da gestão até a requalificação dos canais de navegação, especialmente no que tange à dragagem e à sinalização noturna.

A reestruturação do sistema hidroviário no Rio Grande do Sul é projetada para gerar benefícios como a redução do custo de frete, a diminuição dos gastos com construção e manutenção de rodovias e, potencialmente, a queda na incidência de acidentes, tendo em vista que as hidrovias apresentam, estatisticamente, menor taxa de sinistros. A revisão das normas regulatórias também pode mitigar os efeitos negativos sobre as operações logísticas, considerando a atual falta de clareza normativa, a sobreposição de competências entre diferentes órgãos e a existência de diretrizes divergentes, conforme aponta Collaziol (2003).

Segundo o mesmo autor, a partir de 1997, aproximadamente 90% dos portos gaúchos passaram à administração privada. No entanto, o sistema portuário estadual carece de competitividade, assemelhando-se a uma estrutura oligopolista, com baixa concorrência entre os terminais. Essa configuração tem resultado na perda de competitividade ao longo do tempo, no deslocamento de cargas para o modal rodoviário e na estagnação do setor hidroviário. Tais efeitos decorrem de diversos fatores, entre os quais se destacam a priorização do modal rodoviário nas políticas públicas, a desmobilização da indústria naval e o corporativismo presente na gestão portuária.

Gonçalves (2018) e os dados do PELT-RS evidenciam a ausência de conexões inter-regionais eficientes por meio das hidrovias e ferrovias, o que favorece a predominância do transporte rodoviário na matriz logística estadual. A geografia heterogênea do território gaúcho também contribui para as disparidades regionais, visto que a construção de infraestrutura de transporte é mais onerosa em áreas de relevo acidentado. As trocas comerciais com o Uruguai podem ser realizadas por hidrovias internas ou por rotas costeiras. Ademais, já existe uma rota parcialmente operacional entre Porto Alegre e a Argentina, percorrendo aproximadamente dois terços do trajeto.

O complexo aquaviário mais relevante do estado é formado por uma rede de rios e lagos que se conectam ao Oceano Atlântico por meio da Barra do Rio Grande, integrando zonas industriais, agroindustriais e agrícolas, inclusive a Região Metropolitana de Porto Alegre, que responde por cerca de 80% do PIB estadual, conforme o PELT-RS (2015). Apesar desse potencial, a navegação de cabotagem segue subutilizada. Considerando que a maior parte do PIB nacional é gerada em

áreas situadas a até 200 km da costa, os portos de Rio Grande, Pelotas e Porto Alegre poderiam ser mais bem explorados para o transporte interestadual de mercadorias.

A Secretaria de Infraestrutura e Logística, por meio do PELT-RS, apresenta projetos voltados à expansão e modernização da rede hidroviária, os quais incluem estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental para a implementação de hidrovias em regiões como a bacia do rio Uruguai, bem como a construção de novos terminais hidroviários em municípios estratégicos. No curto prazo, destacam-se ações como o transporte fluvial de madeira de Pelotas até o terminal industrial em Guaíba, com um volume estimado entre 1,0 e 2,0 milhões de toneladas anuais. Essa alternativa apresenta vantagens econômicas significativas, uma vez que o custo por quilômetro transportado é inferior ao dos demais modais. O aumento da participação do modal hidroviário na matriz logística regional contribui para a redução dos custos sistêmicos, impulsiona a produção interna e gera externalidades positivas para a economia gaúcha.

Ainda assim, de acordo com o PELT-RS (2018), apenas 3% da carga total movimentada no estado é transportada por hidrovias. Essa baixa participação está associada à carência de infraestrutura adequada, incluindo calados compatíveis com a navegação comercial e sinalização eficaz, fatores que comprometem a segurança e a regularidade das operações, conforme observa Cunha (2014). Apesar da vantagem geográfica natural, persistem entraves estruturais significativos. O estado é dividido em três regiões hidrográficas distintas:

- 1) A região litorânea, com seis bacias hidrográficas;
- 2) A região do lago Guaíba, com nove bacias;
- 3) A região do Rio Uruguai, também com nove bacias.

Essas áreas abrigam dez trechos comerciais de navegação. O trecho mais extenso é o que liga Itapuã ao porto de Rio Grande, com 267 km de extensão e calado de 5,2 metros. O menor trecho é o que conecta a Foz do rio com a BR-116, com apenas 3 km, também com calado de 5,2 metros. O menor calado registrado nas hidrovias gaúchas é de 2,5 metros, o que limita a navegabilidade de embarcações de maior porte e, conseqüentemente, reduz a competitividade do modal.

Tabela 2 – Hidrovias com Operação Comercial no Rio Grande do Sul

Hidrovia	Trecho	Calado (m)	Extensão (km)
Rio Jacuí	Cachoeira do Sul – Charqueadas	2,5	174
Rio Jacuí	Charqueadas – Porto Alegre	4,0	54
Rio Taquari	Triunfo – Estrela	2,5	86
Rio Caí	Foz – Montenegro	2,5	56
Rio dos Sinos	Foz – São Leopoldo	2,5	48
Rio Gravataí	Foz – BR-116	5,2	3
Delta do Jacuí	Porto Alegre – Polo Petroquímico	5,2	28
Lago Guaíba	Porto Alegre – Itapuã	5,2	48
Lagoa dos Patos	Itapuã – Rio Grande	5,2	267
Canal São Gonçalo	Lagoa dos Patos – Porto de Pelotas	5,2	12

Fonte: Adaptado de PELT-RS (2018).

O Porto de Rio Grande, como um dos maiores do país, desponta como um ponto focal para o transporte aquaviário por meio da Lagoa dos Patos, apresentando-se como uma via estratégica para alcançar a capital do estado, Porto Alegre. Cunha (2014) sugere que o custo de manutenção dessa via seria consideravelmente inferior quando comparado ao modal rodoviário.

Outro ponto de grande interesse é o potencial do Vale do Jacuí, localizado em Cachoeira do Sul. Esse vale abrange cerca de 600 km de possíveis rotas de navegação, ainda necessitando de estudos detalhados para determinar aspectos cruciais do projeto. A utilização desse recurso atrai a atenção de empresas exportadoras devido à potencial redução nos custos de transporte, o que poderia aumentar significativamente a eficiência econômica do estado. Além disso, o Rio Jacuí desempenha um papel crucial no transporte de granéis e biodiesel entre a região nordeste do país e o porto de Rio Grande.

3 Metodologia e dados

3.1 O modelo TRANSP-RS e os dados

Nesta seção, aborda-se a parte técnica do modelo de EGC adaptado, onde os principais modelos utilizados foram: i) B-MARIA e ii) B-MARIA-27, detalhes adicionais sobre o TRANSP-RS podem ser encontrados em Matos, Gonçalves e Pinto (2022). A estrutura do modelo TRANSP-RS é construída a partir de definições microeconômicas de oferta e demanda dos agentes que compõem o sistema econômico em concorrência perfeita. A definição das equações corresponde à especificação das funções, aos objetivos dos agentes e às suas respectivas restrições. Por sua vez, as condições de equilíbrio são estabelecidas para resolver os problemas de otimização por maximização ou minimização. O modelo é, portanto, microfundamentado por blocos que estabelecem as demandas por insumos de produção, demanda por investimentos, demanda das famílias e do governo, demanda externa, demanda por margens e outros blocos.

A codificação das equações, a montagem da base de dados, as hipóteses comportamentais dos agentes que compõem o sistema econômico, a implementação do modelo e os choques de produtividade foram realizados no software *General Equilibrium Modelling PACKage* (GEMPACK versão 12.1). Assim, o modelo TRANSP-RS é baseado na versão do B-MARIA adaptado de Haddad (2004).

Estruturalmente, o modelo conta com os seguintes módulos de equações: 1) Núcleo central de produção, consumo e equilíbrio de mercado; 2) mercado de trabalho e migração regional; 3) finanças públicas; 4) acumulação de capital e investimento 5) Outras especificações. Em resumo, são representados 22 setores¹, 6

¹ São eles: 1. Agricultura, 2. Pecuária, 3. Produtos Alimentares, 4. Máquinas e Equipamentos, 5. Outras Indústrias, 6. Eletricidade, 7. Água, 8. Construção, 9. Comércio, 10. Transporte Rodoviário, 11. Transporte Hidroviário, 12. Transporte Ferroviário, 13. Transporte Aeroviário, 14. Demais transportes, 15. Alojamento, 16. Comunicação, 17. At. Financeiro, 18. At. Mobiliário, 19. At. Científico, 20. Atividade

demandantes finais (produtores, investidores, famílias, exportadores, Governos (Federal e Regional) e estoques), 2 fatores produtivos (trabalho e capital), 5 fontes para os insumos intermediários (município principal, arranjo populacional, resto do estado, resto do Brasil e resto do mundo) e 7 margens (uma de comércio e seis de transporte).

O núcleo central do modelo é composto por blocos de equações relacionadas à demanda por insumos de produção, demanda por investimentos, demandas das famílias e do governo, demanda externa e demanda por margens. O equilíbrio de mercado é alcançado a partir de suposições microeconômicas e macroeconômicas, sendo estabelecidos nesse bloco agregados como PIB, saldo comercial, investimento, consumo privado e público.

Uma característica distintiva dos modelos da família B-MARIA é a interação de dados econômicos com variáveis demográficas. Nesse sentido, Porsse (2005) destaca que, no módulo de mercado de trabalho e migração regional, a população em cada região é definida através da interação de variáveis demográficas, incluindo migração inter-regional, estabelecendo uma conexão entre população regional e oferta de trabalho. Assim, considera-se a especificação do funcionamento do mercado de trabalho, em que a oferta de trabalho pode ser determinada por diferenças inter-regionais de salário ou taxas de desemprego regional, conjuntamente com variáveis demográficas, usualmente definidas de modo exógeno (PORSSE, 2005). Ademais, o principal benefício do modelo B-MARIA utilizado nesta dissertação foi a possibilidade de realizar choques nas margens de transporte por tipo de agente: produtores (consumo intermediário) e demandantes finais (famílias e investidores).

A construção da base de dados foi realizada com base na Matriz Insumo-Produto Inter-Regional do Arranjo Populacional de Porto Alegre estimada por Haddad, Araújo e Perobelli (2020) e em dados demográficos e sociais (população, migração regional e inter-regional e demanda e oferta por emprego regional do IBGE (2020). A Tabela 3 demonstra a lista de regiões da base de dados e apresenta uma síntese da Matriz Insumo-Produto do Arranjo de POA.

Administrativa, 21. Administração Pública, 22. Educação, 23. Saúde, 24. Artes e Cultura, 25. Outros Serviços, 26. Serviços domésticos.

Tabela 3 – Lista de regiões

D	Nome da RA/RM	Municípios	PIB (2015)	PIB (%)	População (2015)	População (%)
1	Município de Porto Alegre	1	68.132.502	1,14%	1.476.867	0,72%
2	Arranjo Populacional de POA	11	51.744.774	0,86%	1.590.496	0,78%
3	Restante do RS	485	262.115.314	4,37%	8.180.609	4,00%
4	Restante do Brasil	5.073	5.613.794.408	93,63%	193.202.077	94,50%
	BRASIL	5.570	5.995.786.998	100,00%	204.450.049	100,00%

Fonte: Haddad, Araújo e Perobelli (2020).

Adicionalmente, as elasticidades e os demais parâmetros foram coletados da literatura empírica nacional. As margens de transporte foram decompostas por região, utilizando dados do Ministério dos Transportes, da Matriz Insumo-Produto nacional de 2015, da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS-2015) e do Plano Estadual de Logística do Rio Grande do Sul (PELT-RS). Em termos econômico, as simulações realizadas neste trabalho partem da equação abaixo:

$$P1(i, s, j) = \{BAS1(i, s, j) + \sum_{n=1}^N \{MAR1(i, s, j, n) + TAX1(i, s, j)\} \} \setminus BAS1(i, s, j) \quad (1)$$

Sendo, preços e quantidades do ano base definidas desta forma para satisfazer as equações do modelo adaptado demonstrando que:

- (2) Quantidade demandada do produto i = quantidade ofertada;
- (3) Valor da produção do valor na indústria j = Valor dos insumos js acrescidos de impostos sobre produção;
- (4) Valores pagos = Valores básicos mais as margens e impostos sobre vendas;

As margens podem ser vistas como:

$$X1MAR(i, s, j, r) = X1(i, s, j) * A1MARG(i, s, j, r). \quad (2)$$

Onde $X1MAR(i, s, j, r)$ é a utilização de margem mercadoria r (por exemplo, o transporte hidroviário) para facilitar o fluxo de insumo intermediário i de fonte s (doméstica ou importada) para indústria j . $X1(i, s, j)$ é o uso do bem i fonte s para indústria j como insumo intermediário. $A1MARG(i, s, j, r)$ é a utilização de margem mercadoria r por unidade de fluxo de insumo intermediário (i, s) para a indústria j .

Posteriormente, são realizadas simulações que mensuram ganhos de produtividades nos setores de transporte do Rio Grande do Sul, buscando realizar um comparativo do custo-benefício por tipo de transporte.

3.2 Descrição das simulações

A literatura demonstra que as questões de infraestrutura, regulamentação e carga tributária são importantes fatores na determinação dos preços de transporte (assim como de outros produtos). Neste trabalho, diferentes propostas para a melhoria do transporte hidroviário serão comparadas entre si e com melhorias em outras formas de transporte, a título de avaliar sua utilidade relativa para a sociedade. Conforme mostrou-se previamente, o Rio Grande do Sul possui uma matriz de transporte fortemente dependente do modal rodoviário, tendo em mente que o modal hidroviário pode ser consideravelmente mais barato, uma vez que possui melhores retornos de escala, mas que os problemas de infraestrutura e regulamentação do transporte hidroviário geram fortes desvantagens para esse modal.

Segundo a Fundação Dom Cabral (FDC, 2018), em uma pesquisa realizada com 130 empresas correspondentes a 15,4% do PIB brasileiro, 22,3% das quais têm a matriz situadas na região sul do Brasil, 12,37% dos custos das empresas são considerados custos logísticos (um aumento em relação aos 11,19% em 2014). Desses 12,27% destinados a custos logísticos, 40,1% são destinados a custos de transporte de longa distância, 23,4% (2,87118%) a distribuição urbana, 9,9% (1,21473%) a custos portuários e 26,6% (3,26382%) aos demais custos logísticos. Com base nessas concepções, elaboram-se seis cenários para a realização de choques na economia para melhorias no transporte hidroviário, assim como algumas comparações com melhorias nos outros meios de transporte com fechamentos de curto e longo prazo no modelo B-MARIA.

Quadro 1 – Política de transportes e efeitos na redução dos custos de transporte

Cenários	Tipo de choque	Região de implementação do choque
1) Choques de margens no transporte hidroviário	Redução de 10% na margem técnica e na demanda final	Arranjo populacional de Porto Alegre e restante do estado do RS
2) Choque na produtividade do capital do setor Hidroviário	Aumento da produtividade do capital em 10%	Arranjo populacional de Porto Alegre e restante do estado do RS
3) Choque de poder das tarifas sobre o transporte hidroviário	Redução de 10% sobre o poder das tarifas	Arranjo populacional de Porto Alegre e restante do estado do RS
4) Choque na produtividade do capital do setor Rodoviário	Aumento da produtividade do capital em 10%	Arranjo populacional de Porto Alegre e restante do estado do RS
5) Choque na produtividade do capital do setor Ferroviário	Aumento da produtividade do capital em 10%	Arranjo populacional de Porto Alegre e restante do estado do RS
6) Choque na produtividade do capital dos setores Rodoviário, Ferroviário e Hidroviário	Aumento da produtividade do capital em 10%	Município de Porto Alegre

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos cenários criados, o aumento na produtividade do capital pode ser utilizado como uma forma de simular a melhoria na infraestrutura de transporte. Afinal, a melhor infraestrutura significa uma melhor produtividade com o mesmo nível de investimento (embora haja um custo para a realização da melhoria), enquanto a redução no poder das tarifas é um incentivo direto para a utilização de um modal específico.

4 RESULTADOS

Após a construção do banco de dados e a programação do modelo, foi executado o teste de homogeneidade como primeiro procedimento. A aplicação de um choque de 10% na taxa de câmbio (natphi) resultou na indicação de equilíbrio do modelo. Além disso, diversos testes de robustez foram conduzidos, modificando as elasticidades, e os resultados evidenciaram a robustez do modelo em relação à sensibilidade dos parâmetros.

4.1 Resultados nacional

Os resultados obtidos, registrados na Tabela 4, oferecem um panorama dos impactos nas variáveis macroeconômicas nacionais nas simulações de curto e longo prazo em cada cenário. Uma observação relevante é a diminuição da taxa de desemprego em todos os cenários analisados, à exceção do terceiro cenário no curto prazo. Contrariamente, o consumo real das famílias mostra um aumento em quase todos os cenários, exceto no cenário 3 no curto prazo. De forma congruente com a literatura, o PIB real e o nível de atividade aumentam em todos os cenários simulados. Haddad (2004) já indicava que melhorias na infraestrutura de transporte têm um efeito positivo sobre o PIB.

A redução nos custos de transporte reflete na diminuição dos preços dos produtos indexados pelo PIB na maioria dos cenários. Um dado relevante é o aumento no volume de importação na maioria dos cenários de longo prazo, enquanto o volume de exportação diminui nesse mesmo período. Essa mudança sugere que a melhoria no transporte pode não implicar necessariamente em uma melhoria na balança comercial a longo prazo. Entretanto, no curto prazo, onde gastos do governo e investimentos são exógenos, observa-se um impacto majoritariamente positivo sobre as exportações e negativo sobre as importações.

Quando analisados quantitativamente, no cenário 1, um choque de redução na margem do transporte hidroviário em 10% resulta em aumentos percentuais no PIB real nacional de 0.002761% no curto prazo e de 0.005861% no longo prazo. Além disso, no curto prazo, observam-se aumentos de 0.003483% no consumo real das famílias, 0.003308% no emprego, 0.004338% no volume de exportações e 0.001649% no nível de atividade econômica. No longo prazo, os aumentos correspondentes foram de 0.011318% no consumo real das famílias, 0.000288% no emprego e 0.003589% no nível de atividade.

Tabela 4 – Resultados macroeconômicos

Variáveis macro	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Taxa de desemprego	-0.003055	-0.000062	-0.001049	-0.000018	0.003090	-0.000004
Consumo real das famílias	0.003483	0.011318	0.001181	0.003658	-0.003328	0.003818
Emprego de pessoas	0.003308	0.000288	0.001136	0.000083	-0.003346	0.000018
Volume de exportação	0.004338	-0.005987	0.001294	-0.002021	0.027038	0.030549
PIB real	0.002761	0.005861	0.000958	0.001948	-0.002932	0.002609
Volume de importação	0.001062	0.009283	-0.000401	0.002184	-0.005832	-0.001442
Emprego agregado, peso de contas do salário	0.003146	0.000086	0.001085	0.000024	-0.003363	0.000002
Salário nominal pago por produtores	0.000413	0.020240	-0.000339	0.006066	-0.025342	-0.019844
Investimento a preço indexado	-0.000975	0.008960	-0.000809	0.002365	-0.020861	-0.019422
Index de preço do consumidor	0.000413	0.009231	-0.000339	0.002512	-0.025342	-0.023630
Exportação a preço indexado	-0.002786	0.003646	-0.000911	0.001168	-0.016950	-0.020847
Preço indexado pelo PIB	-0.000119	0.010659	-0.000520	0.002953	-0.027050	-0.025096
Preço relativo de capital e trabalho	-0.002175	0.016921	-0.000822	0.005406	-0.009362	-0.000980
Nível de atividade	0.001649	0.003589	0.000569	0.001190	-0.001763	0.003537
Comércio inter-regional a preço indexado	-0.000468	0.008784	-0.000901	0.002103	-0.022282	-0.021955

Variáveis macro	Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Taxa de desemprego	-0.001672	-0.000121	-0.001245	-0.000024	-0.000128	-0.000006
Consumo real das famílias	0.002094	0.012683	0.001410	0.004315	0.000121	0.000736
Emprego de pessoas	0.001810	0.000558	0.001348	0.000112	0.000139	0.000034
Volume de exportação	0.009427	0.000737	0.001367	-0.002448	0.000521	-0.000268
PIB real	0.003258	0.008323	0.001106	0.002269	0.000185	0.000470
Volume de importação	-0.008292	0.002105	-0.000336	0.002702	-0.000410	0.000181
Emprego agregado, peso de contas do salário	0.001520	0.000157	0.001280	0.000034	0.000181	0.000098

Salário nominal pago por produtores	-0.004925	0.016960	-0.000262	0.007240	-0.000260	0.000988
Investimento a preço indexado	-0.006406	0.004007	-0.000785	0.002905	-0.000378	0.000202
Index de preço do consumidor	-0.004925	0.005005	-0.000262	0.003052	-0.000260	0.000289
Exportação a preço indexado	-0.005319	-0.000176	-0.000964	0.001449	-0.000334	0.000177
Preço indexado pelo PIB	-0.005709	0.006032	-0.000457	0.003589	-0.000318	0.000368
Preço relativo de capital e trabalho	-0.007449	0.014942	-0.001013	0.006355	-0.000285	0.000923
Nível de atividade	0.000797	0.004673	0.000671	0.001406	0.000095	0.000310
Comércio inter-regional a preço indexado	-0.005865	0.003978	-0.000891	0.002597	-0.000334	0.000228

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses resultados estão em conformidade com a literatura recente que utiliza modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) para avaliar os impactos de choques no setor de transporte, conforme evidenciado por Proque, Betarelli Júnior e Perobelli (2022), Betarelli Júnior, Domingues e Hewings (2023) e Cai et al. (2023).

4 Resultados regionais e comparações entre os modais

Os resultados das simulações em termos regionais, destacados na Tabela 5, evidenciam que o ganho de tarifas é o ganho agregado. Considerando que o investimento em infraestrutura de transporte constitui um gasto estatal, é relevante analisar o retorno desse investimento para os cofres públicos. Os resultados indicam que, no longo prazo, o ganho de tarifas é positivo em praticamente todas as regiões e na maioria dos cenários (com exceção do cenário 3, que simula uma isenção de tarifas).

No cenário 1, a região mais impactada é o restante do estado, com um aumento de 0.021414% no curto prazo e de 0.049284% no longo prazo. Já no cenário 2, o restante do arranjo é o melhor beneficiado, com um aumento de 0.007761% no curto prazo e de 0.018041% no longo prazo. Entretanto, o cenário 3 não oferece perspectivas positivas para o ganho de tarifas, com a região do município principal registrando as maiores perdas, aproximadamente -0,79% a curto e longo prazo.

No cenário 4, observam-se apenas quedas no curto prazo, afetando principalmente o município principal com uma diminuição de -0.046959%. No longo prazo, os resultados são mais favoráveis, sendo o resto do arranjo a região mais afetada, apresentando um crescimento de 0.046622%. O cenário 5 impacta principalmente o restante do arranjo, com um aumento de 0.006887% no curto prazo e de 0.020265% no longo prazo. Quanto ao cenário 6, como antecipado, afeta principalmente o município principal (Porto Alegre), registrando um crescimento de 0.005012% no curto prazo e de 0.020472% no longo prazo.

Tabela 5 – Produto Regional Bruto

Produto Regional Bruto	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Munic_Princ	0.005174	0.022332	0.001241	0.006456	-0.002032	0.002033
Rest_Arranj	0.015427	0.045356	0.005204	0.017214	-0.002247	0.004942
Restante_UF	0.020110	0.048374	0.004324	0.012721	-0.002168	0.004992
Restante_BR	0.001817	0.003334	0.000772	0.001271	-0.002959	0.002546
Produto Regional Bruto	Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Munic_Princ	0.008831	0.047618	0.002014	0.009242	0.008754	0.024579
Rest_Arranj	0.053079	0.133245	0.008408	0.023962	0.001427	0.003401
Restante_UF	0.036547	0.095877	0.006671	0.017172	0.000490	0.001673
Restante_BR	0.001308	0.002814	0.000784	0.001316	0.000064	0.000104

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados da Tabela 5 mostram uma variação significativa nas regiões afetadas. Nos cenários 1, 2 e 5, há maior impacto no restante do estado a curto prazo (0.080394%, 0.011302% e 0.013286%, respectivamente), enquanto a longo prazo afeta mais o restante do arranjo (0.166336%, 0.031472% e 0.037519%). No cenário 3, ocorrem quedas no curto prazo e ganhos no longo prazo, chegando a um efeito de 0.004992% no restante do estado. Já os cenários 4 e 6 afetam principalmente o restante do arranjo e Porto Alegre, respectivamente. A longo prazo, o cenário 4 gera um aumento de 0.180182% no resto do arranjo, enquanto o cenário 6 produz um aumento de 0.040499% sobre o município principal.

Os resultados, tabela 6, indicam um impacto positivo no valor agregado da produção em todos os cenários, corroborando com Araújo (2006), que destacava a propagação dos choques entre regiões mesmo quando aplicados em uma área específica. Contrariamente à teoria de Araújo (2006), neste modelo observa-se que as regiões diretamente afetadas pelo choque apresentam um aumento mais expressivo na produção. Essa constatação pode ser relacionada, conforme indicado por Haddad (2004), à aplicação do choque nas margens de transporte sem um investimento compensatório.

No cenário 1, o restante do estado é a região mais impactada, com um aumento de 0.043456% no longo prazo. Já no cenário 2, o restante do arranjo populacional registra um aumento de 0.016939% em longo prazo. O cenário 3 apresenta uma queda no curto prazo, com efeitos negativos de -0.001847% no município principal, mas no longo prazo há aumentos de até 0.006372% no restante do estado. No cenário 4, o impacto maior ocorre no restante do estado a curto prazo (0.020813%) e no resto do arranjo a longo prazo (0.102856%). O cenário 5 afeta principalmente o resto do arranjo, com um aumento de 0.022516% no longo prazo, enquanto o cenário 6 impacta mais o município principal, atingindo 0.024833% no longo prazo.

Tabela 6 – Valor agregado da produção

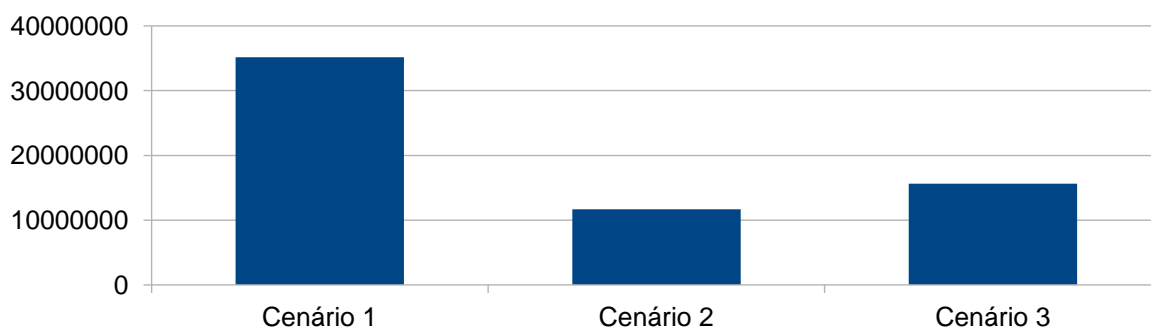
Valor agregado da produção	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Munic_Princ	0.003144	0.019934	0.000902	0.005876	-0.001847	0.001882
Rest_Arranj	0.011495	0.041329	0.004979	0.016939	-0.000850	0.005740
Restante_UF	0.013715	0.043456	0.004186	0.012828	-0.000402	0.006372
Restante_BR	0.000957	0.001127	0.000351	0.000431	-0.001836	0.003400
Valor agregado da produção	Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo	Curto prazo	Longo prazo
Munic_Princ	-0.000676	0.038070	0.001290	0.008334	0.007783	0.024833
Rest_Arranj	0.019924	0.102856	0.006758	0.022516	-0.000391	0.001740
Restante_UF	0.020813	0.085422	0.005639	0.016770	0.000041	0.001283
Restante_BR	-0.000324	-0.000507	0.000369	0.000392	0.000009	-0.000048

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os gráficos a seguir fornecem uma síntese comparativa dos resultados. No Gráfico 3, é possível observar que o cenário 1 (redução de 10% nas margens) apresenta os melhores resultados para o PIB e os maiores ganhos na arrecadação de tarifas. Este gráfico visa simular uma intervenção que facilite o comércio, incluindo a exportação.

Quanto ao cenário 3, nota-se o impacto positivo no PIB referente a redução de tarifas no longo prazo, dentre os cenários em que o choque é aplicado sobre o resto do arranjo e o resto do estado. Essa constatação era esperada, uma vez que esse cenário simula uma redução direta de tarifas como incentivo ao transporte modal hidroviário, gerando um efeito positivo no longo prazo. Comparativamente, os resultados indicam que a política de redução de tarifas pode ter efeitos mais robustos que ganhos de produtividade para o transporte hidroviário.

Gráfico 3 – Comparação entre os investimentos no transporte hidroviário (PIB) em valores absolutos (PIB real fechamento de longo prazo)

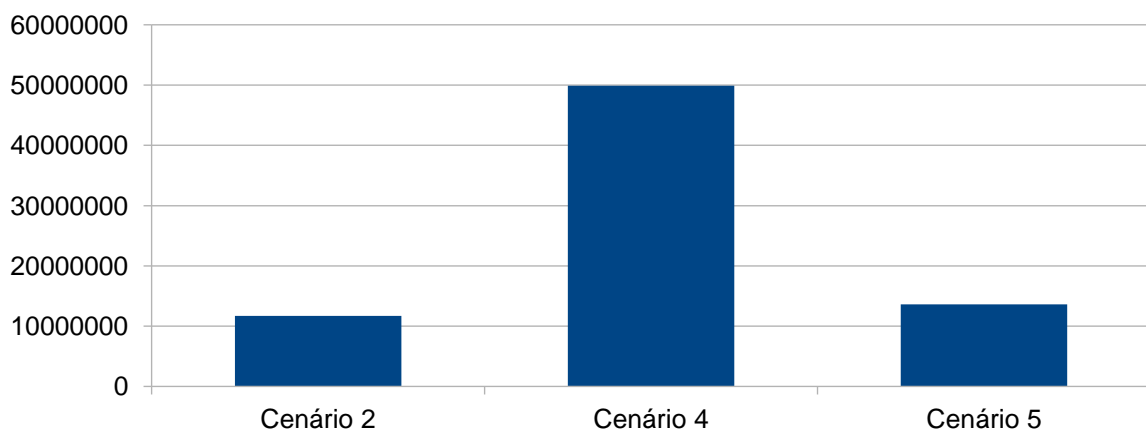


Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 4 destaca que o cenário 4 é aquele que oferece o melhor resultado quando consideramos seu impacto no PIB. Isso era esperado, já que esse cenário simula uma melhoria de 10% no transporte rodoviário, o modal mais utilizado no estado. Contudo, como o transporte rodoviário é o mais extensivamente usado, os custos para seu desenvolvimento também seriam consideravelmente maiores. Considerando a quantidade de carga transportada por cada modal e a necessidade de investimentos para as intervenções, o transporte hidroviário apresenta o maior retorno, dada sua possível relação custo-benefício em comparação aos demais modais.

Quando comparamos o retorno no PIB entre o transporte rodoviário e o ferroviário, levando em conta seu uso no estado, o transporte ferroviário demonstra um ganho superior. No entanto, ao considerarmos o trabalho de Cunha (2014), nota-se que o transporte hidroviário é considerado menos poluente do que seus concorrentes.

Gráfico 4 – Comparação entre os investimentos por modal de transporte no (PIB) em valores absolutos² (PIB real fechamento de longo prazo)

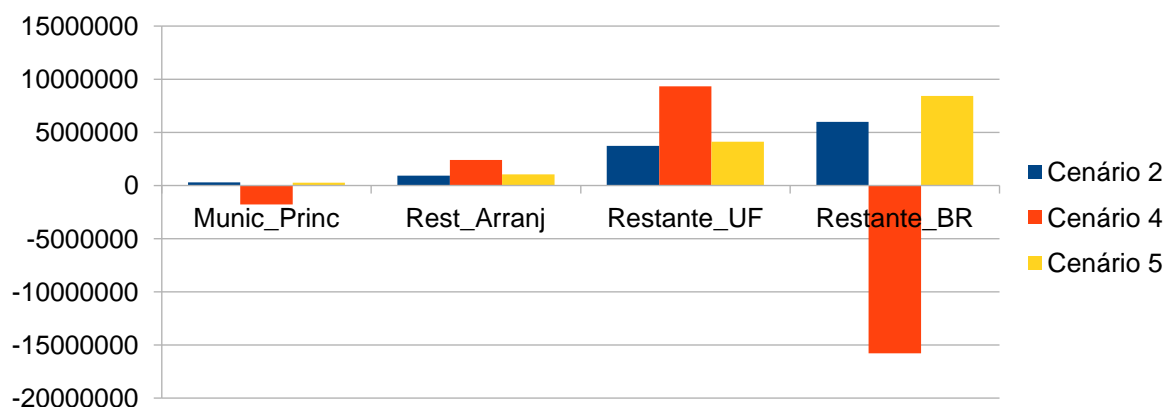


Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 5, observa-se que o ganho de tarifas no cenário 4 é positivo para a região afetada, mas negativo para as regiões adjacentes. Por outro lado, os resultados dos cenários 2 e 5 são positivos para todas as regiões. Esses resultados são cruciais para o planejamento de políticas federais voltadas para a melhoria nacional, pois evidenciam que o investimento em transporte rodoviário e ferroviário é mais vantajoso para o restante do Brasil, enquanto o transporte rodoviário beneficia apenas os cofres estaduais.

² Valores absolutos são obtidos multiplicando os ganhos encontrados nos resultados macroeconômicos por valores correspondentes na MIP.

Gráfico 5 – Comparação entre os investimentos por modal e região em valores absolutos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em síntese, os resultados regionais das simulações reforçam a relevância da abordagem de equilíbrio geral computável (EGC) para a compreensão dos efeitos espaciais e distributivos das políticas de transporte. Conforme destacado por Betarelli Júnior, Domingues e Hewings (2023) e Campos e Haddad (2016), os modelos EGC com desagregação regional permitem captar os efeitos diretos e indiretos dos choques logísticos sobre variáveis como produto, valor agregado e arrecadação de tarifas públicas, considerando as interdependências produtivas e comerciais entre as regiões.

O comportamento diferenciado entre regiões diretamente impactadas e regiões adjacentes evidencia a importância dos efeitos de transbordamento (spillovers regionais), frequentemente ressaltados por autores como Robson, Wijayarathnaxit e Dixit (2018) e Rosik e Wójcik (2023). Os ganhos mais expressivos nas regiões do interior do estado e nos arranjos populacionais conectados ao eixo hidroviário demonstram que melhorias localizadas podem gerar reequilíbrios espaciais positivos, promovendo maior coerência territorial e redução das disparidades regionais.

Adicionalmente, os resultados corroboram a teoria proposta por Bröcker e Korzhenevych (2013), segundo a qual os investimentos em infraestrutura logística ampliam a conectividade espacial e reduzem as barreiras entre mercados regionais, favorecendo, no longo prazo, a especialização produtiva e o aumento da

competitividade regional. Esse efeito tende a ser mais significativo quando se trata de modais de transporte com menores custos logísticos, como o hidroviário.

A performance mais robusta dos cenários de investimento no transporte hidroviário, em comparação aos demais modais, em termos de valor agregado da produção e PIB regional, está alinhada com os achados de Proque, Betarelli Júnior e Perobelli (2022), que ressaltam que a escolha do modal adequado constitui elemento central nas estratégias de desenvolvimento regional. O transporte hidroviário, ao combinar baixos custos operacionais, menor impacto ambiental e elevada capacidade de carga, apresenta uma vantagem competitiva relevante, especialmente em estados com potencial hidrográfico, como o Rio Grande do Sul.

Outro aspecto a ser considerado, conforme argumentado por Araújo (2006), é que os efeitos regionais dos choques no transporte hidroviário não se restringem às regiões diretamente beneficiadas. Contudo, os resultados observados indicam que os impactos se concentram nas áreas em que os custos foram diretamente reduzidos (margens hidroviárias), sugerindo a necessidade de políticas complementares de articulação logística e de integração modal para maximizar os benefícios em todo o território estadual.

Em suma, ao evidenciar os diferenciais entre os modais e seus retornos econômicos e espaciais, os resultados regionais oferecem suporte empírico à priorização de políticas públicas voltadas à modernização da infraestrutura hidroviária no estado do Rio Grande do Sul, com ênfase no aproveitamento da Lagoa dos Patos e na conexão entre o Porto de Rio Grande e a Região Metropolitana de Porto Alegre.

5 Considerações finais

Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos econômicos e regionais de melhorias no transporte hidroviário no estado do Rio Grande do Sul, utilizando um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) com desagregação regional. Por meio da simulação de diferentes cenários, buscou-se compreender os efeitos de políticas de redução de custos logísticos e de investimentos em infraestrutura sobre variáveis macroeconômicas e espaciais, como produto interno bruto, valor agregado da produção, emprego, arrecadação de tarifas e consumo das famílias. A escolha pelo modal hidroviário se justifica não apenas por seu baixo custo operacional, mas também por seu potencial de induzir ganhos sistêmicos de competitividade e de coesão territorial.

Os resultados indicam que, mesmo partindo de uma participação reduzida na matriz de transportes do estado, o transporte hidroviário apresenta retornos significativos, sobretudo nas regiões diretamente beneficiadas pelos choques de política. A redução das margens de transporte afeta positivamente variáveis como o produto agregado e a arrecadação pública, demonstrando a relevância da logística para a estrutura produtiva regional. Além disso, foram identificados efeitos de transbordamento sobre regiões adjacentes, o que confirma que os ganhos gerados pela melhoria da infraestrutura de um território podem se irradiar para outras regiões economicamente integradas. Esse resultado é compatível com a literatura recente sobre desenvolvimento regional e infraestrutura, conforme apontado por autores

como Rosik e Wójcik, Betarelli Júnior, Domingues e Hewings, e Bröcker e Korzhenevych.

A comparação entre os modais também apresenta contribuições relevantes. Embora o transporte rodoviário seja o mais utilizado no estado, seus custos operacionais e ambientais são mais elevados quando comparados ao transporte hidroviário. As simulações demonstraram que o modal hidroviário é capaz de gerar ganhos similares, ou mesmo superiores, em termos de valor agregado e produto regional. Isso reforça seu potencial como eixo estruturador de uma política de desenvolvimento territorial sustentável. Além disso, conforme destacado por Cunha, trata-se do modal com menor emissão de carbono por tonelada transportada, o que o torna estratégico no contexto da transição para uma economia de baixo carbono e no cumprimento de compromissos climáticos internacionais assumidos pelo Brasil.

O modelo EGC adotado revelou-se adequado para captar os efeitos diretos e indiretos das intervenções logísticas em um contexto regionalizado. Ele permitiu a identificação de encadeamentos produtivos e impactos intersetoriais relevantes para a formulação de políticas públicas. No entanto, o modelo apresenta limitações, como a baixa desagregação setorial em setores estratégicos como agropecuária e indústria de transformação, e a ausência de uma representação explícita da rede intermodal de transporte, o que limitaria a análise das interações espaciais com maior grau de robustez. Tais limitações sinalizam caminhos para futuras pesquisas que poderão incorporar essas dimensões com o uso de bancos de dados mais detalhados e metodologias complementares.

Políticas públicas voltadas à expansão e modernização da infraestrutura hidroviária no estado do Rio Grande do Sul, especialmente na região da Lagoa dos Patos e em sua conexão com o Porto de Rio Grande e a Região Metropolitana de Porto Alegre, devem ser priorizadas. A baixa utilização do modal hidroviário no estado, apesar de sua capacidade instalada e de sua posição estratégica, sugere um desequilíbrio na alocação de investimentos em transporte, historicamente concentrados no modal rodoviário. Além disso, o fortalecimento da cabotagem e da navegação interior exige a superação de entraves regulatórios, bem como o estímulo à entrada de novos operadores logísticos e à revitalização da indústria naval nacional.

Em síntese, os resultados apresentados fornecem suporte empírico consistente à formulação de políticas integradas de transporte e desenvolvimento regional. Ao evidenciar os diferenciais econômicos, espaciais e ambientais do modal hidroviário, este estudo contribui para o avanço de uma agenda de planejamento logístico mais equilibrada e sustentável, com vistas à promoção do crescimento econômico, à redução das desigualdades territoriais e à racionalização da alocação de recursos públicos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. S. Duplicação da rodovia Fernão Dias: uma análise de equilíbrio geral. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA*, 32., 2004. **Anais [...]**. 2004. São Paulo: Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2004/artigos/A04A130.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

ALMEIDA, C. F. et al. *Exploring the Relationship between Transportation Infrastructure and Regional Economic Growth Using Lösch's Location Theory*. **Journal of Sustainable Development**, v. 14, n. 3, p. 168–176, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5539/jsd.v14n3p168>

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuários Estatísticos do Transporte Aquaviário**. Brasília: ANTAQ, 2016. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/portaltv3/PDF/Anuarios/ApresentacaoAnuario2016.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Anuário Estatístico de 2019**. Brasília: ANTAQ, 2019. Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Anu%C3%A1rio-2019-vFinal-revisado.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

ARAÚJO, M. P. **Infraestrutura de transporte e desenvolvimento regional: uma abordagem de equilíbrio geral inter-regional**. Tese (Doutorado em Economia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BETARELLI JÚNIOR, A. A. B. **Análise dos modais de transporte pela ótica dos blocos comerciais: uma abordagem intersetorial de insumo-produto**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4807/3/Premio%20BNDES_32_An%C3%A1lise%20dos%20modais%20de%20transporte%20pela%20%C3%B3tica%20dos%20blocos%20comerciais_P.pdf. Acesso em: 18 maio 2021.

BETARELLI JÚNIOR, A. A. B. **Um modelo de equilíbrio geral com retornos crescentes de escala, mercados imperfeitos e barreiras à entrada: aplicações para setores regulados de transporte no Brasil**. Tese (Doutorado em Economia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BETARELLI JÚNIOR, A. A. B.; DOMINGUES, E. P. Efeitos econômicos da proposta de redução tarifária sobre as operações domésticas de cabotagem no Brasil (2013-2025). **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 44, n. 3, p. 663-710, dez. 2014.

BETARELLI JUNIOR, A. A.; DOMINGUES, E. .; HEWINGS, G. J. D. *Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil*. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, [S. l.], v. 135, p. 1–23, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.018>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BRÖCKER, J.; KORZHENEVYCH, A. Forward looking dynamics in spatial cge modelling. **Economic Modelling**, v. 31, n. C, p. 389-400, 2013.

BRÖCKER, J. Passenger flows in cge models for transport project evaluation. In: CONGRESS OF THE EUROPEAN REGIONAL SCIENCE ASSOCIATION, 42., 2002. **Proceedings [...]**. Dortmund: ERSA Congress, 2002.

- CAI, Y.; WOOLLACOTT, J.; BEACH, R. H.; RAFELSKI, L. E.; RAMIG, C.; SHELBY, M. *Insights from adding transportation sector detail into an economy-wide model: The case of the ADAGE CGE model*. **Energy Economics**, [S. l.], v. 123, p. 106710, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106710>
- CAMPOS, R. C.; HADDAD, E. A. avaliação dos impactos espaciais do sistema viário oeste-Bahia: uma abordagem a partir da modelagem de equilíbrio geral computável. fonte: **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, v. 16, n. 2, p. 25-47, 2016.
- CASTRO, N. Os desafios da regulação do setor de transporte no Brasil. **Revista Brasileira de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, p. 119-142, 2000.
- COLLAZIOL, A. **Transporte Hidroviário no Rio Grande do Sul**. Monografia (Especialização em Gestão Pública) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). **Transporte em Números**. Brasil, dezembro de 2019. Disponível em: <https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/ea14e970-c1e2-455e-950b-88a956467812.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.
- CUNHA, G. T. **Navegação hidroviária no interior do RS: vantagem econômica comparada aos outros modais e implementação do calado sazonal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. Employment by occupation and industry, 2004 and 2014: technical documentation. **Centre of Policy Studies**, p. 1-34, may 2006. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/ftp/techusage1.pdf>. Acesso em: 5 maio 2020.
- DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. The US economy from 1992 to 1998: results from a detailed CGE model. **General Works Paper**, Centre of Policy Studies n. G-144, p. 1-22, apr. 2004.
- DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. **Validating a detailed, dynamic cge model of the U.S.:** technical documentation. Centre of Policy Studies, 2009. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/ftp/techusage3.pdf>. Acesso em: 28 maio 2021.
- DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. Tese (Doutorado em Economia) – Departamento de Economia, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- DOMINGUES, E. P.; HADDAD, E. A. Política Tributária e Relocalização. **RBE**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 4, p. 849-871, out./dez. 2003.
- DOMINGUES, E. P. et al. Redução das desigualdades regionais no Brasil: os impactos de investimentos em transporte rodoviário. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 38., 2010. **Anais [...]**. Recife: ANPEC, 2010.

FARIA, W. R. **Efeitos regionais de investimentos em infraestrutura de transporte rodoviário**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FOCHEZATTO, A. Modelos de equilíbrio geral aplicados na análise de políticas fiscais: uma revisão da literatura. **Análise**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 113-136, 2005.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL (FDC). **Diagnóstico e Projeções para a Infraestrutura de Logística de Transportes no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/centro-de-referencia-site/Materiais/PILT%20>

FDC_%20Diagn%C3%B3stico%20e%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20de%20ILT%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 31 maio 2021.

GONÇALVES, R. R. **Avaliação de impactos econômicos de melhorias em transporte no Rio Grande do Sul**: uma abordagem com equilíbrio geral dinâmico. Tese (Doutorado em Economia do Desenvolvimento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

GUILHOTO, J. **Um modelo computável de equilíbrio geral para planejamento e análise de políticas agrícolas (papa) na economia brasileira**. Tese (Livre Docência em Economia) – University Library of Munich, Monique, 1995.

HADDAD, E. A. **Modelo B-MARIA: “A Saga”**. [material didático]. São Paulo: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 2020.

HADDAD, E. A. **Retornos crescentes, custos de transporte e crescimento regional**. Tese (Doutorado em Economia) – Departamento de Economia, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

HADDAD, E.; DOMINGUES, E. EFES: um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004. **Estudos Econômicos**, v. 31, n. 1, p. 89-125, 2001.

HADDAD, E. A.; ARAÚJO, I. F.; PEROBELLI, F. S. **Matriz Inter-regional de Insumo-Produto para o Arranjo Populacional de Porto Alegre, 2015**. São Paulo: Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP – NEREUS; Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FIPE 2020.

HORRIDGE M., **ORANI-G**: a general equilibrium model of the Australian economy. CoPS/IMPACT Working Paper Number OP-93. Victoria: Centre of Policy Studies, Victoria University, 2014. Disponível em: www.copsmodels.com/elecprapr/op-93.htm. Acesso em: 19 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico**. Brasília: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-2020-censo4.html?=&t=downloads>. Acesso em: 28 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema de Contas Nacionais**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

KNAAP, T.; OOSTERHAVEN, J. Measuring the welfare effects of infrastructure: a simple spatial equilibrium evaluation of dutch railway proposals. **Research in Transportation Economics**, v. 31, n. 1, p. 19-28, maio 2011.

MAYERES, I.; PROOST, S. Testing alternative transport pricing strategies: a cge analysis for Belgium. In: CONFERENCE ON “INPUT-OUTPUT AND GENERAL EQUILIBRIUM: DATA, MODELING AND POLICY ANALYSIS”, 2004. **Proceedings [...]**. p. 1-15. Disponível em: <https://www.iioa.org/conferences/intermediate-2004/pdf/421.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Estatísticas Comércio Exterior**. 2020. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/>. Acesso em 16 set. 2020.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Plano mestre do complexo portuário Rio Grande e Pelotas**. v. 1. Brasília; Florianópolis: Ministério da Infraestrutura; Universidade Federal de Santa Catarina; Laboratório de Transportes e Logística, 2020. Disponível em: http://antigo.infraestrutura.gov.br/images/2020/documentos/01/plano_mestre/RIG_PET_VF_Vol1.pdf. Acesso em: 19 maio 2021.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (MT). **Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT: Relatório final**. Brasília: Secretaria de Política Nacional de Transportes, 2012.

NIEUWKOOP, R. H. V. **Transportation networks and economic equilibrium modeling issues and applications**. Zurich: ETH, 2014.

ROSIK, P.; WÓJCIK, J. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. **Sustainability**, v. 15, n. 548, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15010548>

PEROBELLI, F. **Análise espacial das interações econômicas entre os estados brasileiros**. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo: USP, 2004.

PETER, M. W. *et al.* **The Theoretical Structure Of MONASH-MRF**. Preliminary Working Paper n. OP-85, IMPACT Project. Clayton: Monash University, 1996. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/ftp/workpapr/op-85.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

PLANO ESTADUAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES DO RIO GRANDE DO SUL (PELT/RS). **Relatório Parcial com as Hipóteses de Referência**. Porto Alegre: Secretaria de Infraestrutura e Logística, 2014. Disponível em: <http://www.pelt-rs.stm.rs.gov.br/images/produtos/Produto%209.1.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.

PLANO ESTADUAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES DO RIO GRANDE DO SUL (PELT/RS). **Produto P 9.2: Relatório Cenários Prospectivos**. v. 1. Porto Alegre: Secretaria de Infraestrutura e Logística, 2015. Disponível em:

<https://transportes.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/06173245-produto-p09-2-cenarios-prospectivos.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

PLANO ESTADUAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES DO RIO GRANDE DO SUL (PELT/RS). **Relatório Final**: documento síntese. Porto Alegre: Secretaria de Infraestrutura e Logística, 2018. Disponível em: <https://transportes.rs.gov.br/upload/arquivos/201903/01154133-relatorio-sintese-pelt-rs.pdf>. Acesso em: 19 maio 2021.

PODER EXECUTIVO. **PL 4199/2020**. Brasília: Senado Federal, 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2260433>. Acesso em: 28 maio 2021.

PONTES, R. P. ; BARBOSA, M. N. ; LIMA, C. Z. ; TROTTER, I. M. ; MENEZES, G. R. . Redução de custos de transportes sobre a produção de soja: uma aplicação de equilíbrio geral computável para as grandes regiões brasileiras. **Planejamento e Políticas Públicas**, v. 62, p. 135-168, 2022.

PORSSE, A. A. **Competição tributária regional, externalidades fiscais e federalismo no Brasil**: uma abordagem de equilíbrio geral compatível. Tese (Doutorado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PROQUE, ANDRESSA LEMES ; BETARELLI JUNIOR, ADMIR ANTONIO ; PEROBELLI, FERNANDO SALGUEIRO. Fuel tax, cross subsidy and transport: Assessing the effects on income and consumption distribution in Brazil. **Research in Transportation Economics**, v. 101204, p. 1-17, 2022

ROBSON, E; WIJAYARATNA, K. P.; DIXIT, V. V. A Review of computable general equilibrium modelling for transport appraisal. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 116, n. C, p. 31-53, 2018.

SANTOS, G. F. **Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira**. Tese (Doutorado em Economia) – Departamento de Economia, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOS, G. F. **Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira**. Rio de Janeiro: BNDES, 2012.

SILVEIRA, M. R. **A importância geoeconômica das estradas de ferro no Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.

TEIXEIRA C. A. N. *et al.* Navegação Interior Brasileira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 47, p. 437-482, mar. 2018.

TORRES, C. E. G. Planejamento do transporte rodoviário em Minas Gerais: uma análise de equilíbrio geral computável incorporando o custo dos acidentes para as rodovias BR-381, BR-262 e BR-116. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 40, p. 183-218, jan./jun. 2013.

WANG, J.; DIXIT, V. Calibration and validation of a national transport computable general equilibrium model for economic impact assessment. **Transport Economics and Management**, [S. l.], v. 2, p. 214–226, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.team.2024.08.001>. Acesso em: 30 jun. 2025.

VASSALO, M. D. **Análise de impactos econômicos setoriais e regionais docerrentes de investimentos em infraestrutura de transportes**. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

VERIKIOS G.; ZHANG X. Reform of australian urban transport: a cge-microsimulation analysis of the effects on income distribution. **Economic Modelling**, v. 44, p. 7-17, jan. 2013.

Rodrigo da Rocha Gonçalves. Doutor. FURG. Professor Adjunto. Universidade Federal do Rio Grande, ICEAC. Avenida Itália, Km 8 Carreiros 96201900 - Rio Grande, RS - Brasil. E-mail: rrochagoncalves@gmail.com

Joel Quevedo de Matos. Mestre. FURG. Universidade Federal do Rio Grande, ICEAC. Avenida Itália, Km 8 Carreiros 96201900 - Rio Grande, RS - Brasil. E-mail: joel_thor@hotmail.com

Guilherme Penha Pinto. Doutor. FURG. Marinha do Brasil - Rio Grande, RS - Brasil. E-mail: guilherme.penha.pinto@gmail.com

Gabrielito Rauter Menezes. Doutor. UFPel. Professor Adjunto. Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro Centro 96010610 - Pelotas, RS – Brasil. E-mail: gabrielitorm@gmail.com

Submetido em: 14/06/2024

Aprovado em: 27/11/2025

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Conceituação (Conceptualization) Joel Quevedo de Matos

Curadoria de Dados (Data curation): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos

Análise Formal (Formal analysis): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos; Guilherme Penha Pinto; Gabrielito Rauter Menezes

Obtenção de Financiamento (Funding acquisition):): Rodrigo da Rocha Gonçalves

Investigação/Pesquisa (Investigation):): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos

Metodologia (Methodology):): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos

Administração do Projeto (Project administration):): Rodrigo da Rocha Gonçalves

Recursos (Resources): Rodrigo da Rocha Gonçalves

Software: Guilherme Penha Pinto

Supervisão/orientação (Supervision): Rodrigo da Rocha Gonçalves

Validação (Validation): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos

Visualização (Visualization): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos;

Guilherme Penha Pinto; Gabrielito Rauter Menezes

Escrita – Primeira Redação (Writing – original draft): Rodrigo da Rocha Gonçalves; Joel Quevedo de Matos; Guilherme Penha Pinto; Gabrielito Rauter Menezes

Escrita – Revisão e Edição (Writing – review & editing): Rodrigo da Rocha Gonçalves ; Joel Quevedo de Matos; Guilherme Penha Pinto; Gabrielito Rauter Menezes

Fontes de financiamento:

Fontes de financiamento: Este trabalho contou com o auxílio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal, através de 1 (uma) bolsa de mestrado da CAPES e apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) Auxílio Recém Doutor (ARD).