Amós Gustavo Quaresma Bitencourt

INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA NO BRASIL E SUA CONTRIBUIÇÃO AO CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA ANÁLISE ECONOMÉTRICA COM BASE EM UMA REVISÃO HISTÓRICO-INSTITUCIONAL

Horizontina/RS

2025

Amós Gustavo Quaresma Bitencourt

INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA NO BRASIL E SUA CONTRIBUIÇÃO AO CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA ANÁLISE ECONOMÉTRICA COM BASE EM UMA REVISÃO HISTÓRICO-INSTITUCIONAL

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas pelo Curso de Ciências Econômicas da Faculdade Horizontina (FAHOR).

ORIENTADOR: Marcio Leandro Kalkmann, Mestre
CO-ORIENTADOR: Stephan Sawitzki, Mestre

Horizontina/RS

2025

FAHOR – FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Infraestrutura Logística No Brasil E Sua Contribuição Ao Crescimento Econômico: Uma Análise Econométrica Com Base Em Uma Revisão Histórico-Institucional”

Elaborada por:

Amós Gustavo Quaresma Bitencourt

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Econômicas

Aprovado em: 04/12/2024

Pela Comissão Examinadora

_____
MESTRE, MÁRCIO LEANDRO KALKMANN
Presidente da Comissão Examinadora – Orientador

_____
MESTRE, STEPHAN SAWITZKI
FAHOR - Faculdade Horizontina – Co-orientador

_____
MESTRE, IVETE RUPPENTHAL EBRIN
FAHOR - Faculdade Horizontina

Horizontina/RS
2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Tainá, pelo apoio incondicional, pela paciência e pela força que sustentaram nossa rotina firme, mesmo em muitas noites de aula e em tantos outros momentos em que precisei estar ausente; à minha filha Aurora, que iluminou a reta final deste curso com o seu nascimento; e à minha família, pelo apoio constante e por sempre acreditarem no meu caminho. A todos vocês, minha profunda gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir a realização deste trabalho, concedendo-me saúde, sabedoria e força ao longo dessa caminhada. Ao meu orientador, Me. Márcio Leandro Kalkmann, que esteve presente desde a primeira fase do TCC, oferecendo orientações pontuais e necessárias para o desenvolvimento deste estudo. Ao meu co-orientador, Me. Stephan Sawitzki, pela cooperação e pelas contribuições importantes nesta etapa final. À Me. Ivete Ruppenthal Ebrin, pelas sugestões pertinentes e enriquecedoras, que agregaram qualidade essencial ao texto. Meu sincero agradecimento a todos que, de alguma forma, colaboraram para a concretização desta jornada acadêmica.

“Confia no Senhor de todo o teu coração e não te apoies no teu próprio entendimento.”
Provérbios 3:5

RESUMO

A infraestrutura logística desempenha papel central no desenvolvimento econômico, especialmente em países de dimensões continentais, como o Brasil, nos quais a fluidez territorial e a eficiência dos modais de transporte condicionam diretamente a competitividade produtiva. Este estudo analisa de que forma os desafios estruturais, políticos e econômicos da infraestrutura logística brasileira influenciam o crescimento econômico nacional, com base em uma abordagem que integra revisão histórico-institucional e análise econométrica. Inicialmente, apresenta-se a evolução da logística no país, destacando a predominância do modal rodoviário, a baixa integração intermodal e as fragilidades associadas aos investimentos públicos e privados em transporte, armazenagem e tecnologia. Em seguida, discute-se a importância dos indicadores econômicos derivados da contabilidade social na compreensão das relações entre infraestrutura e atividade econômica. Metodologicamente, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e explicativa, combinando métodos histórico, comparativo, estatístico e monográfico, com análise quantitativa baseada em dados secundários de órgãos oficiais. Para mensurar os efeitos da infraestrutura logística sobre o crescimento econômico, foram estimados modelos de regressão linear múltipla considerando o PIB como variável dependente e diferentes indicadores logísticos como variáveis explicativas. Os resultados evidenciam que a concentração excessiva no modal rodoviário, embora garanta capilaridade, eleva custos logísticos e reduz a eficiência sistêmica, enquanto investimentos em modais alternativos, especialmente ferroviário, apresentam contribuições positivas e estatisticamente significativas para o desempenho econômico. Adicionalmente, a análise identifica limitações estruturais, como deficiências na intermodalidade e inconsistências histórico-institucionais de planejamento. Conclui-se que a infraestrutura logística possui capacidade explicativa relevante sobre o desenvolvimento econômico brasileiro e que a diversificação e modernização dos modais são condições indispensáveis para estimular a produtividade, reduzir custos e ampliar a competitividade global.

Palavras-chave: Infraestrutura logística. Crescimento econômico. Análise econométrica.

ABSTRACT

Logistics infrastructure plays a central role in economic development, especially in countries with continental dimensions such as Brazil, where territorial fluidity and the efficiency of transport modes directly condition productive competitiveness. This study analyzes how the structural, political, and economic challenges of Brazilian logistics infrastructure influence national economic growth, based on an approach that integrates a historical-institutional review and econometric analysis. Initially, the evolution of logistics in the country is presented, highlighting the predominance of the road modal, the low level of intermodal integration, and the weaknesses associated with public and private investments in transportation, storage, and technology. The study then discusses the importance of economic indicators derived from social accounting for understanding the relationship between infrastructure and economic activity. Methodologically, the research is characterized as exploratory and explanatory, combining historical, comparative, statistical, and monographic methods, with quantitative analysis based on secondary data from official agencies. To measure the effects of logistics infrastructure on economic growth, multiple linear regression models were estimated, considering GDP as the dependent variable and different logistical indicators as explanatory variables. The results show that excessive reliance on the road modal, although ensuring capillarity, increases logistical costs and reduces systemic efficiency, while investments in alternative modes, especially railways, present positive and statistically significant contributions to economic performance. Additionally, the analysis identifies structural limitations, such as deficiencies in intermodality and long-standing historical-institutional inconsistencies in planning. It is concluded that logistics infrastructure has relevant explanatory power over Brazilian economic development and that the diversification and modernization of transport modes are essential conditions for fostering productivity, reducing costs, and enhancing global competitiveness.

Keywords: Logistics infrastructure. Economic growth. Econometric analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Extensão da malha rodoviária brasileira (km) 36
Figura 2 – Extensão da malha ferroviária brasileira (km) 38
Figura 3 –Extensão da malha hidroviária brasileira (km) 40
Figura 4 - Relação entre extensão territorial e a extensão das malhas rodoviária e ferroviária no Brasil, China e Estados Unidos 42

Quadros

Quadro 1 - Classificação, Natureza e Função Econômica das Variáveis do Modelo 46
Quadro 2 - Tratamento e Fonte das Variáveis do Modelo 48
Quadro 3 Estruturação dos Cenários Econométricos e Critérios de Seleção de Variáveis 56

Tabelas

Tabela 1 - Média de investimento em infraestrutura de transporte, de 2010 a 2021 (% PIB) 44
Tabela 2 - Matriz Inicial de Observações (Série Histórica 2000–2019) 52
Tabela 3 - Matriz de Correlação entre as Variáveis do Modelo Econométrico 57
Tabela 4- Série Histórica das Variáveis do Cenário 1 (2000–2019) 61
Tabela 5 - Regressão linear múltipla do Cenário 1 62
Tabela 6 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 2 (2000–2019) 63
Tabela 7 - Regressão linear múltipla do Cenário 2 64
Tabela 8 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 3 (2000–2019) 65
Tabela 9 - Regressão linear múltipla do Cenário 3 65
Tabela 10 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 4 (2000–2019) 67
Tabela 11 - Regressão linear múltipla do Cenário 4 67
Tabela 12 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 5 (2000–2019) 68
Tabela 13 - Regressão linear múltipla do Cenário 5 69
Tabela 14 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 6 (2000–2019) 70
Tabela 15 - Regressão linear múltipla do Cenário 6 70
Tabela 16 - Sumário estatístico da regressão dos cenários 75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REFERENCIAL TEÓRICO 14
2.1 FUNDAMENTOS DE LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA 14
2.1.1 Fundamentos de infraestrutura logística 15
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA NO BRASIL 16
2.2.1 Obstáculos estruturais, políticos e econômicos à eficiência logística 18
2.3 MODAIS DE TRANSPORTE 20
2.3.1 Modal rodoviário 21
2.3.2 Modal ferroviário 22
2.3.3 Modal aquaviário (marítimo e hidroviário) 23
2.3.4 Modal aéreo ou aeroviário 24
2.3.5 Modal dutoviário 24
2.4 INTERMODALIDADE E MULTIMODALISMO 25
2.5 CONTABILIDADE SOCIAL E INDICADORES ECONÔMICOS 26
2.6 ANÁLISE ECONOMÉTRICA 27
2.6.1 Regressão linear 28
3 METODOLOGIA 31
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS 31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 35
4.1 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA BRASILEIRA 35
4.1.1 Modal Rodoviário 35
4.1.2 Modal Ferroviário 37
4.1.3 Modal Hidroviário 40
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA BRASILEIRA EM CONTEXTO INTERNACIONAL 42
4.3 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO 45
4.3.1 Indicadores de Infraestrutura Logística Selecionados como Variáveis Explicativas do PIB 45

4.3.2 Construção dos cenários econométricos 54

4.3.3 Especificação Formal do Modelo 58

4.4 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS REGRESSÕES DOS CENÁRIOS 60

4.5 SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 72

4.5.1 Avaliação comparativa dos cenários econométricos 73

4.5.2 Implicações econômicas dos resultados para a infraestrutura logística no Brasil 76

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 81

REFERÊNCIAS 85

1 INTRODUÇÃO

A crescente competitividade do comércio internacional exige que os países busquem uma logística cada vez mais eficiente, para alcançar um crescimento econômico sustentável e a ampliação da sua participação no mercado global. Nesse contexto, a logística se tornou um dos alicerces do desenvolvimento econômico, possibilitando a redução de barreiras comerciais e o aprimoramento dos processos de transporte, armazenamento e distribuição. A eficiência logística não apenas impulsiona a produtividade interna, mas também fortalece a posição de um país no cenário global.

Esse cenário de transformação logística é intensificado pelo avanço da globalização, que tem elevado significativamente o nível de circulação de mercadorias ao redor do mundo (Silveira, 2018). Com fronteiras comerciais cada vez mais estreitas ou praticamente eliminadas, as empresas passaram a buscar alternativas para reduzir custos e tornar suas cadeias logísticas mais ágeis e eficientes. Ao mesmo tempo, a globalização trouxe consigo um ambiente de maior competitividade e consumidores mais exigentes, que agora demandam entregas mais rápidas e com menores custos.

No cenário global de alta competitividade, as particularidades logísticas de países de dimensões continentais ganham destaque. Segundo Dias (2025), superar grandes distâncias e a deficiência estrutural exige soluções criativas. No caso do Brasil, investir em transporte eficiente é essencial para elevar a produtividade, como demonstram as recentes transformações no setor rodoviário agrícola, que ampliaram a capacidade e até dobraram os limites de carga dos caminhões.

A eficiência da logística multimodal depende da capilaridade dos modais de transporte, o que exige considerar não apenas demandas regionais, mas também o potencial produtivo e os gargalos de integração. No Brasil, a forte dependência do modal rodoviário — responsável por cerca de 65% da movimentação de cargas (Brasil, 2025) — eleva custos, amplia vulnerabilidades climáticas e reduz o aproveitamento de alternativas mais econômicas e sustentáveis, como ferrovias e hidrovias, comprometendo a competitividade de diversos setores.

Diante dessa complexidade estrutural, em um país como o Brasil — marcado pela diversidade climática, social, econômica e territorial — a necessidade de uma estrutura logística robusta é fundamental para garantir competitividade no cenário internacional. A falta de planejamento e investimentos adequados no setor resulta em custos logísticos elevados, que acabam limitando o crescimento de diversos segmentos da economia.

A fim de compreender com maior precisão os impactos da infraestrutura logística sobre a dinâmica econômica brasileira, este estudo utilizou a análise econométrica como ferramenta central. Essa abordagem permitiu mensurar relações causais entre variáveis logísticas e indicadores de desempenho econômico, com base em dados extraídos da contabilidade social. Nesse contexto, este estudo tem como tema a análise dos desafios da infraestrutura logística brasileira e sua contribuição ao crescimento econômico.

Diante dessa análise, torna-se fundamental compreender de que forma esses entraves afetam a economia nacional, a fim de identificar caminhos que promovam um crescimento mais sustentável. Assim, o problema de pesquisa desta monografia é: Em que medida a infraestrutura logística brasileira influencia o crescimento econômico medido pelo PIB no período de 2000 a 2019?

A fim de responder à questão proposta, foram formuladas e analisadas as seguintes hipóteses de pesquisa:

1. A infraestrutura logística brasileira exerce influência positiva sobre o crescimento econômico, apresentando capacidade explicativa relevante sobre o PIB.
2. O aumento da produtividade e da atividade econômica dos modais logísticos — especialmente ferroviário e rodoviário — impacta positivamente o PIB.
3. Os investimentos públicos em infraestrutura logística tendem a influenciar o PIB, mas seus efeitos são predominantemente de médio e longo prazo, não se manifestando plenamente no curto prazo.
4. A taxa de câmbio afeta a dinâmica logística e comercial do país, podendo influenciar negativamente o PIB ao encarecer importações e pressionar custos logísticos.

Considerando esse contexto de desafios estruturais já exposto, o presente trabalho se justifica, portanto, pela necessidade de compreender, de forma ampla e

técnica, como os desafios logísticos se relacionam com o crescimento econômico brasileiro, com ênfase na busca por soluções que favoreçam o desenvolvimento sustentável. Ao analisar as características da infraestrutura atual e suas implicações, o estudo oferece subsídios teóricos e práticos para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais mais eficazes.

Além disso, essa investigação contribui para o campo da ciência econômica ao ampliar o debate sobre os fatores estruturais que limitam o potencial produtivo do país, ao mesmo tempo em que fornece informações úteis para o setor público, a iniciativa privada e a sociedade em geral. A relevância do tema também se reflete em seu impacto direto na qualidade de vida da população, na geração de emprego e renda, e na redução das desigualdades regionais.

Alinhado à problemática apresentada e à relevância do tema para o desenvolvimento econômico nacional, este trabalho tem como objetivo geral analisar de que forma a infraestrutura logística brasileira, em seus principais modais, contribui para o crescimento econômico do país. Para atingir esse objetivo, propõe-se cumprir os seguintes objetivos específicos:

a) Contextualizar historicamente a infraestrutura logística no Brasil, destacando sua origem e transição para o contexto empresarial;
b) Investigar os principais obstáculos estruturais, políticos e econômicos que limitam o desenvolvimento e a eficiência da infraestrutura logística no Brasil;
c) Analisar a evolução e o estado atual da infraestrutura logística no país, avaliando o potencial de expansão e os desafios para o fortalecimento da intermodalidade e do transporte multimodal;
d) Identificar os principais indicadores econômicos, com base na contabilidade social, que permitam analisar a relação entre a infraestrutura logística e o crescimento econômico;
e) Mensurar a contribuição da logística para o crescimento econômico por meio de uma análise econométrica fundamentada em dados relevantes.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro apresenta a introdução ao tema. O segundo traz a revisão da literatura sobre infraestrutura logística e seu papel no desenvolvimento econômico. No terceiro, descreve-se a metodologia adotada para a análise. O quarto expõe os resultados obtidos, e o quinto reúne as considerações finais, com implicações práticas e sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentam-se os fundamentos teóricos que sustentam a análise da logística e da infraestrutura como elementos estruturantes do desenvolvimento econômico nacional. São discutidos os conceitos essenciais que delineiam a logística desde suas origens históricas no âmbito militar até sua consolidação como instrumento estratégico no setor produtivo contemporâneo. Abordam-se, igualmente, as funções, objetivos e a abrangência da infraestrutura física, a qual engloba rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos, destacando sua relação intrínseca com a competitividade territorial. Além disso, enfatiza-se a interação entre políticas públicas e iniciativas privadas na conformação e modernização dos sistemas logísticos, evidenciando a relevância do planejamento estatal e da coordenação institucional para assegurar maior fluidez e eficiência nos fluxos econômicos.

Esta seção também analisa os principais gargalos estruturais, institucionais e tecnológicos que condicionam o desempenho logístico brasileiro, discutindo desafios relacionados à governança, à distribuição desigual de investimentos e à fragmentação dos sistemas de transporte. Examina-se a funcionalidade e as limitações de cada modal, bem como o papel estratégico da intermodalidade e do multimodalismo no aumento da eficiência sistêmica. Por fim, são apresentados os referenciais da contabilidade social e os métodos econométricos utilizados para mensurar o impacto da infraestrutura logística sobre o crescimento econômico, estabelecendo o arcabouço conceitual e metodológico que orienta a análise empírica desenvolvida nas etapas subsequentes deste trabalho.

2.1 FUNDAMENTOS DE LOGÍSTICA E INFRAESTRUTURA

Historicamente, a logística tem suas origens em operações militares, com destaque para Alexandre, o Grande, e Napoleão Bonaparte, cujas campanhas exigiam alto nível de organização (Paura, 2012). A Segunda Guerra Mundial é considerada o marco da logística moderna, quando os conceitos passaram a ser sistematizados e adotados pela indústria. Com o passar do tempo, a logística deixou

de ser uma prática exclusivamente militar e passou a abranger múltiplas dimensões do campo econômico, envolvendo atividades como planejamento, transporte, distribuição e o gerenciamento de cadeias de suprimento.

> A logística planeja, executa, coordena e controla a movimentação e o armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semiacabados e produtos acabados, desde sua origem até o local de consumo, com o propósito de atender às exigências do cliente final (Council of Supply Chain Management Professionals, s.d. apud Dias, 2025, p.3).

Em uma abordagem mais contemporânea, voltada às empresas e inserida em um contexto globalizado, a busca pela satisfação e pelo encantamento do cliente tornou-se um fator determinante na nova realidade econômica, centrada na eficiência e no diferencial competitivo. Nesse cenário, diversos elementos podem influenciar positiva ou negativamente o nível de competitividade de um país no comércio internacional, sendo a infraestrutura um dos mais relevantes. Conforme Albuquerque et al. (2019, p.1), “existem, contudo, vários fatores que podem diminuir a competitividade de um país frente à concorrência externa, e dentre esses fatores encontra-se a infraestrutura”.

2.1.1 Fundamentos de infraestrutura logística

A infraestrutura logística é um elemento fundamental para a articulação eficiente dos fluxos de bens, serviços e informações, impactando diretamente a competitividade econômica e a integração territorial. Conforme Silveira (2010), as evoluções logísticas representam revoluções que transformam a organização do espaço e as dinâmicas territoriais brasileiras, influenciando desde a distribuição dos centros urbanos até a configuração das cadeias produtivas, evidenciando a importância da infraestrutura não apenas para o escoamento da produção, mas também para o desenvolvimento regional equilibrado e sustentável.

Ainda de acordo com o mesmo autor, a definição de infraestrutura logística pode ser compreendida, tanto a partir de sua importância estratégica no contexto de defesa nacional quanto de sua origem histórica no meio militar. Em cenários de conflito, especialmente em áreas de fronteira, a presença do Estado e a capacidade de resposta das Forças Armadas dependem diretamente da existência de uma infraestrutura logística eficiente. Veículos militares, suprimentos e tropas exigem

sistemas estruturados de transporte e armazenagem, os quais só são possíveis mediante investimentos coordenados nesse setor.

> Considera-se que investimentos na melhoria da infraestrutura logística tornarão efetivas as vantagens decorrentes do aumento da produtividade obtido no campo, bem como que o esforço em se promover melhorias em infraestrutura logística e de transportes na região poderá consistir em ação integradora, com componente territorial importante (Pereira, 2017, p.43).

De maneira análoga ao cenário militar, no qual a garantia plena da soberania de um país depende de uma estrutura logística eficiente, os investimentos em infraestrutura logística também impulsionam a dinâmica econômica. Conceitualmente, esses investimentos promovem a ampliação das conexões entre diferentes regiões, fortalecendo os fluxos econômicos espaciais. Isso resulta na integração de novas áreas de produção, na articulação de cadeias produtivas e na descentralização do emprego e da renda, especialmente de regiões com maior concentração territorial e maior fluidez econômica (Silveira, 2010).

Para que essa integração regional e a expansão dos fluxos econômicos sejam efetivas, é fundamental a diversificação e o fortalecimento dos modais de transporte que compõem a infraestrutura logística (Silveira et al., 2017). Rodovias, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos atuam de forma complementar para garantir o escoamento eficiente de mercadorias e a mobilidade de pessoas, reduzindo custos e tempos de deslocamento.

A sinergia entre esses modais potencializa o desenvolvimento econômico ao ampliar o alcance dos mercados, promover a competitividade e aumentar a resiliência das cadeias produtivas frente a eventuais falhas em um modal específico. Gama, Silva e Costa (2019), destacam que “desta combinação podem resultar importantes reduções dos custos económicos, maior segurança rodoviária, menores índices de poluição e consumo de energia, além da redução do tráfego rodoviário”. Dessa forma, a modernização e a integração dos diferentes modais configuram-se como pilares essenciais para o fortalecimento da infraestrutura logística nacional.

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA NO BRASIL

A partir da década de 1990, a infraestrutura logística brasileira passou a experimentar transformações profundas, impulsionadas tanto por mudanças nas

práticas empresariais quanto pelos investimentos públicos decorrentes das privatizações e da abertura econômica. Barbosa, Lima e Chagas (2012) destacam que esse período marcou um salto qualitativo nos serviços de transporte, na eficiência operacional e na modernização das comunicações, especialmente com o avanço tecnológico e com a incorporação de sistemas integrados de gestão. Esse movimento permitiu às empresas adotar uma lógica mais racionalizada de produção e distribuição, favorecendo a expansão do comércio, a redução de custos e a consolidação de novas exigências logísticas, como maior velocidade no atendimento, integração informacional e maior precisão nos fluxos operacionais.

Essas transformações, entretanto, não ocorreram apenas no âmbito corporativo. Conforme analisa Silveira (2018, p. 3), o Estado desempenhou um papel decisivo ao direcionar políticas públicas para três frentes principais:

> 1) a construção e melhoria das infraestruturas em nós estratégicos da rede de circulação nacional, como dragagem e derrocagem em canais portuários, túneis, pontes, contornos e duplicações rodoviárias e outros; 2) a construção de novas infraestruturas estratégicas (portos, autoestradas, Portos Secos, linhas ferroviárias e outros) capaz de mudar a antiga lógica espacial de circulação regional (concentrada no Sudeste e no Sul) para outra, um pouco mais descentralizada, em que se direcionaram tanto recursos públicos e privados quanto público-privados (parcerias público-privadas); 3) a formulação e implementação de um sistema de normas e tributação (sistemas de ações, relações de produção), com a finalidade de desburocratizar a movimentação de mercadorias (importação/exportação e circulação interna), abrandar e padronizar impostos e taxas.

Ainda segundo Silveira (2018), a articulação desses esforços caracterizou uma “logística de Estado” direcionada a promover maior fluidez territorial e a mitigar os custos associados à circulação do capital, criando condições para que o setor privado fortalecesse sua competitividade e acompanhasse de forma mais eficiente o crescimento das necessidades logísticas nacionais.

A abertura comercial e a chegada de produtos estrangeiros intensificaram a concorrência e alteraram o perfil do consumidor, exigindo das empresas brasileiras não apenas preços competitivos, mas também serviços logísticos mais eficientes. Nesse cenário, os custos de transporte, estoque e armazenagem passaram a ser monitorados com maior rigor, enquanto tecnologias de informação como ERP, WMS e TMS foram incorporadas para otimizar processos e reduzir o lead time. Além disso, a intermodalidade e o surgimento dos operadores logísticos consolidaram-se como alternativas estratégicas, possibilitando maior integração entre os diferentes elos da

cadeia de suprimentos e ampliando a capacidade de resposta das organizações frente às novas demandas do mercado (Machado, 2022).

2.2.1 Obstáculos estruturais, políticos e econômicos à eficiência logística

Segundo Kobayashi (2000, apud Machado; Santos, 2021), a eficiência de um sistema logístico depende diretamente da forma como está organizada a estrutura político-social. Nesse sentido, observa-se que os desafios enfrentados pela logística não se restringem apenas a questões técnicas ou operacionais, mas estão profundamente relacionados a fatores institucionais, econômicos e sociais.

Ainda baseado no mesmo autor, a organização político-social influencia diretamente a capacidade de o Estado formular políticas logísticas consistentes, estabelecer prioridades claras e garantir a integração entre diferentes instituições responsáveis pela gestão do transporte e da infraestrutura. Quando essa estrutura é fragmentada ou marcada por sobreposição de competências, criam-se barreiras que dificultam a coordenação entre os agentes públicos, atrasam decisões estratégicas e reduzem a eficiência do sistema como um todo. Assim, a logística passa a depender de arranjos institucionais instáveis, que comprometem a continuidade de projetos e o avanço de melhorias estruturais.

O mesmo autor cita ainda que além disso, os efeitos da instabilidade política repercutem na execução de políticas de longo prazo e no direcionamento adequado de investimentos. Mudanças frequentes de orientação governamental, revisões sucessivas em marcos regulatórios e ausência de planificação integrada tendem a interromper projetos essenciais e reduzir a previsibilidade necessária à modernização logística. Essa falta de continuidade acaba criando ciclos de precariedade, nos quais obras iniciadas não são concluídas, programas perdem financiamento e o setor permanece vulnerável a decisões conjunturais.

Conforme Silveira (2018), muitos desses entraves estruturais se acentuam porque a rede logística brasileira foi historicamente construída de forma desigual, privilegiando alguns corredores enquanto deixava vastas regiões com infraestrutura limitada. Essa assimetria territorial gera gargalos físicos, como vias saturadas, ferrovias desconectadas e portos insuficientemente integrados, que ampliam custos,

retardam o fluxo de mercadorias e dificultam o aproveitamento equilibrado do potencial produtivo nacional.

No âmbito econômico, Albuquerque et al. (2019) ressaltam que o baixo nível de investimento contínuo e adequado na infraestrutura de transportes constitui um dos principais fatores que limitam a eficiência logística. A insuficiência de recursos destinados à manutenção, expansão e modernização das redes resulta em estruturas degradadas, menor capacidade operacional e custos logísticos elevados, comprometendo diretamente a competitividade das cadeias produtivas e o desempenho econômico do país.

De acordo com Machado e Santos (2021), o desempenho logístico dos países é fortemente influenciado tanto pela estabilidade política quanto pelos custos envolvidos na prestação de serviços, fatores que impactam simultaneamente as regulações institucionais e as atividades das empresas privadas.

Ainda segundo este autor, a estabilidade institucional e a clareza das normas são essenciais para que empresas e operadores consigam tomar decisões estratégicas com segurança. Quando o ambiente regulatório é marcado por incertezas, por revisões constantes ou pela ausência de diretrizes de longo prazo, o planejamento logístico se torna mais arriscado e oneroso. Esse cenário afeta desde a definição de rotas e investimentos privados até a contratação de serviços e a implementação de tecnologias, prejudicando a eficiência e ampliando custos em toda a cadeia.

O mesmo autor complementar que a complexidade burocrática também intensifica esses desafios, uma vez que processos como licenciamento de obras, liberação de cargas, concessões e autorizações operacionais frequentemente apresentam prazos longos e etapas redundantes. Essa rigidez administrativa reduz a agilidade das operações, dificulta a integração entre modais e cria barreiras para a renovação tecnológica, restringindo a capacidade de o sistema logístico acompanhar as necessidades da economia contemporânea.

Nesse contexto, somam-se ainda os obstáculos de natureza ambiental, que representam importante fonte de atraso e incerteza na execução de obras essenciais ao aprimoramento da infraestrutura logística. Conforme o IPEA (2023), projetos de grande porte costumam enfrentar processos de licenciamento marcados por múltiplas etapas técnicas, exigências de órgãos de controle e frequente judicialização, sobretudo quando envolvem comunidades locais ou potenciais

impactos socioambientais. A atuação simultânea de diferentes instituições e a ausência de mecanismos mais eficientes de coordenação geram interrupções, solicitações sucessivas de ajustes e ampliação dos prazos previstos. Esse cenário reforça a imprevisibilidade na implementação de empreendimentos estratégicos e, consequentemente, limita a capacidade do país de expandir e modernizar seus corredores logísticos de forma tempestiva.

Além desses entraves, também se destacam os desafios relacionados à governança da infraestrutura, que influenciam diretamente a coerência e a efetividade das políticas logísticas. Como analisam Gomide e Pereira (2018), a fragmentação institucional entre ministérios, agências reguladoras, estatais e entes federativos dificulta a coordenação das ações governamentais, favorecendo sobreposição de competências, decisões desarticuladas e baixa continuidade administrativa. A influência de interesses partidários na gestão de órgãos estratégicos, somada à atuação intensa de instâncias de controle e ao elevado grau de judicialização, contribui para atrasos, aumento de custos e perda de eficiência no processo decisório. Assim, a insuficiência de governança amplia a complexidade já existente na execução de projetos logísticos, prejudicando a integração entre modais e comprometendo a implementação de investimentos de longo prazo necessários ao desenvolvimento econômico.

2.3 MODAIS DE TRANSPORTE

Os modais de transporte estão diretamente ligados à infraestrutura logística, sendo os meios pelos quais os produtos são movimentados ao longo da cadeia de suprimentos. Cada modal possui características específicas que influenciam diretamente fatores como custo, tempo de entrega, segurança e eficiência no escoamento da produção. Segundo Caxito (2019), a escolha do modal mais adequado deve considerar o menor custo possível, a capacidade de transporte, a natureza da carga, bem como aspectos como versatilidade, segurança e rapidez.

Ainda conforme Caxito (2019), os modais de transporte são classificados em três grandes grupos: terrestre (rodoviário, ferroviário e dutoviário), aquaviário (marítimo e hidroviário) e aéreo. Todos apresentam vantagens e desvantagens, e

sua aplicabilidade depende de um conjunto de fatores relacionados às características da carga e às exigências logísticas do percurso.

Além disso, o uso combinado de dois ou mais modais, por meio da intermodalidade ou do multimodalismo, decorre das necessidades logísticas específicas de cada operação (Silveira et al., 2017). Essas estratégias permitem integrar os pontos fortes de diferentes modais, aumentando a eficiência, reduzindo custos e otimizando prazos. Assim, compreender as especificidades de cada modal e as possibilidades de integração entre eles é fundamental para a tomada de decisões logísticas mais eficazes, especialmente em cenários que exigem agilidade, redução de custos e sustentabilidade.

2.3.1 Modal rodoviário

O modal rodoviário refere-se ao modal de transporte terrestre que se baseia no uso de rodovias e estradas. Apesar dos grandes avanços desse modal ele ainda se caracteriza pela quantidade limitada de carga. As tratar das vantagens e desvantagens desse modal, Souza e Souza (2013) e Santos e Santos (2021), destacam que as condições das estradas e a necessidade de contínua manutenção orientam para que esse modal seja adotado para curtas e médias distâncias, onde apresenta maior velocidade se comparado com outros modais.

Segundo Machado (2022), existe uma principal vantagem e uma desvantagem desse modal. A principal vantagem está na possibilidade de realizar o transporte porta a porta, eliminando a necessidade de transferências intermediárias. Por outro lado, a desvantagem refere-se à limitação de espaço das carretas, exigindo que a carga se adeque a esse tamanho, além da obrigatoriedade de autorizações especiais para o transporte de cargas de grandes dimensões ou perigosas.

Ainda segundo o autor, o modal rodoviário é largamente adotado por diversos países. O principal motivo para sua escolha está na sua flexibilidade e capilaridade, permitindo o acesso a regiões onde outros modais, como o ferroviário ou hidroviário, não alcançam com facilidade. Além disso, destaca-se pela agilidade no transporte de mercadorias em curtas e médias distâncias, bem como pela possibilidade de

realizar entregas diretas, o que reduz etapas logísticas e facilita o escoamento da produção, especialmente em áreas com infraestrutura limitada.

Apesar de sua ampla utilização, baseado no mesmo autor, o modal rodoviário apresenta custos relativamente elevados, tanto na fase de implementação quanto na de manutenção. A construção de rodovias exige altos investimentos em infraestrutura, como terraplenagem, pavimentação e instalação de sistemas de segurança. Além disso, a constante necessidade de reparos devido ao desgaste causado pelo tráfego intenso e pelas condições climáticas, contribui para um alto custo de manutenção. Esses fatores tornam o transporte rodoviário menos competitivo em termos econômicos quando comparado a outros modais em longas distâncias, especialmente o ferroviário e o hidroviário, que apresentam menor custo operacional por tonelada transportada.

2.3.2 Modal ferroviário

O modal ferroviário consiste no transporte de cargas por meio de ferrovias, sendo geralmente caracterizado por sua menor velocidade e maior adequação ao escoamento de matérias-primas ou produtos manufaturados de baixo valor agregado. Além disso, sua implementação requer um planejamento logístico bem estruturado, uma vez que é um meio de transporte não flexível, com rotas fixas e rigidez nos horários (Avella; Santos; Baptista, 2022). Além disso, depende de uma malha ferroviária eficiente, bem distribuída e com integração intermodal para auxiliar nas entregas das mercadorias até o destino.

Segundo Machado (2022), uma desvantagem desse modal é a falta de flexibilidade nas rotas, já que muitas vezes é necessário realizar o transbordo das cargas devido à ausência de padronização das bitolas, especialmente em operações de transporte internacional. Essa incompatibilidade entre os sistemas ferroviários de diferentes países ou até mesmo entre regiões de um mesmo território dificulta a continuidade do trajeto, gerando atrasos, aumento de custos logísticos e maior complexidade nas operações. Além disso, a necessidade de infraestrutura adequada para o transbordo, como terminais intermodais bem equipados, nem sempre está

disponível, o que compromete ainda mais a eficiência do modal ferroviário em cenários que exigem integração com outros sistemas de transporte.

Em contrapartida, ainda segundo este mesmo autor, sua principal vantagem está na capacidade de movimentar grandes volumes de carga a longas distâncias com menor custo por tonelada-quilômetro, especialmente em países de grande extensão territorial ou com forte economia voltada ao agronegócio. Esse tipo de transporte é ideal para escoar produtos agrícolas e minerais das áreas produtoras até os centros de consumo ou portos, promovendo uma logística mais econômica e sustentável. Além disso, o uso da ferrovia contribui para diminuir o tráfego nas rodovias, reduzindo o desgaste das vias e os riscos de acidentes.

Apesar de exigir investimentos iniciais significativos em infraestrutura, o sistema ferroviário possui baixo custo de transporte e baixo custo de manutenção, de acordo com o Ministério dos Transportes (2013, apud Santos e Silva, 2015). Outra vantagem está no menor impacto ambiental em comparação ao transporte rodoviário, conforme Avella, Santos e Baptista (2022, p. 4), “as ferrovias são consideradas um meio [de] transporte ecologicamente correto, visto que são menos contaminantes, já que emitem poucos poluentes como o dióxido de carbono”.

2.3.3 Modal aquaviário (marítimo e hidroviário)

O sistema de transporte aquaviário, hidrovias interiores e cabotagem marítima possui baixo custo de transporte e grande capacidade para transporte de cargas (Brasil, 2025). Santos e Santos (2021) reforçam que algumas características do transporte aquaviário são:

- Transporte de grandes quantidades a longas distâncias;
- Baixo custo;
- Menor impacto ambiental;
- Limitação de tamanho de navios por conta da infraestrutura dos portos;
- Pouca flexibilidade por conta de fatores tais como, navegabilidade dos rios, rotas e horários.
- Opera em baixa velocidade devido a características do canal navegável. (Santos; Santos, 2021, p. 15)

Devido a essas características, é o transporte mais adotado no contexto de comércio internacional, especialmente para mercadorias com alto volume e baixo valor agregado, como commodities agrícolas e minerais. Além disso, Parra et al. (2021), pontuam que este modal é utilizado para mercadorias líquidas, secas,

embaladas ou ainda em contêiners, sendo que, no agronegócio, é empregado especialmente para o escoamento de grãos, açúcar, minérios, líquidos e outras commodities.

Além do mais, a eficiência energética dos navios em relação à quantidade de carga transportada contribui para a redução de emissões de gases poluentes, tornando-o uma alternativa ambientalmente mais sustentável (Oliveira; Madeira; Servare Junior, 2024). Nesse aspecto de cunho ambiental, o modal aquaviário tem grande semelhança com o transporte ferroviário, tendo baixa participação em emissão de dióxido de carbono e baixo consumo de energia, considerando todo o setor de transportes (Brasil, 2021).

2.3.4 Modal aéreo ou aeroviário

Segundo Castiglioni (2014, apud Santos; Santos, 2021), o modal de transporte aéreo é considerado o mais adequado para mercadorias de alto valor agregado, pequenos volumes ou que necessitam urgência na entrega. Entretanto, o autor destaca que esse modal apresenta o custo mais elevado em comparação aos demais sistemas de transporte, devido tanto ao alto custo fixo quanto ao custo variável consideravelmente elevado.

Por outro lado, este meio de transporte de cargas possui a velocidade elevada, o que possibilita uma redução de estoques. A possibilidade de viagens de longas distâncias e a segurança relacionada a roubos, danos ou extravios são outras vantagens destacadas desse modal. Outro aspecto relevante é que, “mesmo com custo altíssimo observa-se crescimento de demanda por este tipo de modal.” (Müller, 2017, p. 21).

2.3.5 Modal dutoviário

Sob a perspectiva de Caxito (2019), o transporte dutoviário pode ser classificado em oleodutos, minerodutos e gasodutos. Segundo o autor, esse modal ainda é pouco explorado no Brasil, em razão das limitações de suas aplicações, embora exerça papel relevante na movimentação de derivados da indústria petroquímica.

Trata-se de uma alternativa logística eficiente e segura, especialmente indicada para o transporte de líquidos, gases e minérios por longas distâncias — características alinhadas às necessidades logísticas do território brasileiro. No entanto, apesar dessas vantagens, sua expansão ainda enfrenta entraves significativos, como os elevados custos de implantação, a complexidade do arcabouço regulatório e a exigência de investimentos com retorno a longo prazo. CNT (2012, apud Pessoa, 2016, p. 63-64) afirma que, “a saída de commodities agrícolas, minerais e energéticas no país apresenta grandes entraves logísticos e são esses os produtos que mais se qualificam para o transporte dutoviário”.

2.4 INTERMODALIDADE E MULTIMODALISMO

A intermodalidade é um conceito fundamental no contexto da logística moderna, que consiste na utilização integrada de diferentes modos de transporte para o deslocamento de cargas ou passageiros. Esse sistema permite aproveitar as vantagens específicas de cada modal — rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo — de forma complementar, buscando otimizar custos, prazos e eficiência operacional. Segundo Caxito (2019, p.214), a forma intermodal de transporte pode ser entendida no contexto em que se “envolve mais de uma modalidade e para cada trecho/modal é realizado um contrato”. Por meio da intermodalidade, é possível superar limitações inerentes a um único modal, ampliando o alcance das redes de transporte e facilitando o acesso a mercados distantes ou de difícil acesso.

O multimodalismo, por sua vez, refere-se ao transporte realizado sob um único contrato (Caxito, 2019) e por meio da utilização de pelo menos dois modais diferentes para o transporte da carga, desde a origem até o destino. Esse sistema é caracterizado pela responsabilidade única do operador multimodal, que gerencia toda a cadeia logística, incluindo a coordenação dos modais envolvidos e a documentação necessária. O multimodalismo simplifica a operação para o remetente, garantindo maior segurança e eficiência no transporte, além de possibilitar maior competitividade nos custos e prazos.

Ambos os conceitos são essenciais para o desenvolvimento da logística sustentável e para a melhoria da infraestrutura de transportes nos países. A intermodalidade favorece a integração entre os modais, possibilitando a redução da

dependência exclusiva do transporte rodoviário, que, embora flexível, apresenta custos mais elevados e maior impacto ambiental. O multimodalismo contribui para a simplificação do processo logístico, oferecendo uma solução completa que pode acelerar o fluxo de mercadorias e reduzir os riscos de avarias e atrasos.

Entretanto, para que a intermodalidade e o multimodalismo funcionem de forma eficaz, é necessário superar diversos desafios estruturais e operacionais, tais como a falta de integração tecnológica entre os modais, a ausência de políticas públicas adequadas e a deficiência em terminais e infraestrutura de apoio. Conforme Parra et al. (2021, p. 7-8):

> [...] não há como estruturar um sistema intermodal sem investimentos em cada um dos modais separadamente. O sistema de transporte intermodal acentua tanto as características negativas como acentua as positivas de cada setor. Ou seja, falar da multimodalidade e intermodalidade é falar dos desafios, obstáculos de implantação, permanência e bom desenvolvimento de todos os modais no país, como um todo.

Dessa forma, ainda segundo esse mesmo autor, os investimentos em tecnologia da informação, na modernização dos modais e na desburocratização dos processos são medidas fundamentais para garantir que esses sistemas atinjam seu pleno potencial, contribuindo para um transporte mais eficiente, econômico e sustentável, além de reduzir substancialmente os gargalos logísticos no Brasil.

2.5 CONTABILIDADE SOCIAL E INDICADORES ECONÔMICOS

A contabilidade social emerge historicamente como uma resposta à crescente demanda por informações detalhadas sobre as variações quantitativas e qualitativas nas relações entre consumo, oferta e renda dentro de um sistema econômico (Lautert; Oliveira; Antonovz, 2018). Esse desenvolvimento reflete a ampliação da responsabilidade governamental em registrar, controlar e divulgar dados que permitam uma análise mais precisa do ambiente econômico, fundamental para a formulação de políticas públicas eficazes. A contabilidade social constitui então uma ferramenta indispensável para acompanhar o desempenho econômico, fornecendo subsídios para o planejamento e a avaliação das ações governamentais.

Na contabilidade social tem-se um sistema organizado de registro e controle de movimentações econômicas. De acordo com Lautert, Oliveira e Antonovz (2018), esses registros e controles são baseados no sistema de contas nacionais (SCN), o

que permite a síntese de informações sobre o nível de circulação de renda em todo o sistema econômico. O resultado disso é a geração de informações quantitativas e qualitativas, que através de indicadores traduzem a relação entre consumo, oferta e renda de determinado sistema econômico.

Conforme Braga e Paulani (2020), entre os indicadores econômicos destacam-se aqueles que contribuem para uma avaliação diagnóstica do estágio de desenvolvimento de um país. Esses indicadores englobam aspectos relacionados à distribuição de renda e às condições da população, especialmente no que tange à educação e à saúde. Além disso, tais indicadores são fundamentais para a formulação de políticas públicas eficazes que visem a redução das desigualdades sociais e a promoção do bem-estar coletivo.

Dessa forma, a contabilidade social e seus indicadores econômicos são fundamentais para compreender a dinâmica da economia de um país, fornecendo subsídios essenciais para a formulação e avaliação de políticas públicas eficazes. Eles permitem identificar os principais desafios estruturais que afetam o desenvolvimento e a distribuição de renda, orientando estratégias que visam o crescimento sustentável e a redução das desigualdades sociais. Assim, esses elementos são indispensáveis para embasar análises aprofundadas e decisões alinhadas aos objetivos centrais deste trabalho.

2.6 ANÁLISE ECONOMÉTRICA

A análise econométrica é uma disciplina que combina economia, estatística e matemática para examinar dados econômicos e testar teorias econômicas com base em evidências empíricas. Pereda e Alves (2018), definem a econometria na fusão dessas três disciplinas explicando que a economia embasa as relações que se deseja fazer a análise, a matemática, por sua vez, formaliza as relações econômicas através de funções e, por fim, a estatística possibilita deduzir as relações estudadas por meio de análise de dados amostrais. Complementando, Wooldridge (2023) define econometria como o desenvolvimento de métodos estatísticos para estimar relações econômicas, testar teorias e avaliar políticas públicas e empresariais.

Essa metodologia é fundamental para validar modelos econômicos, identificar relações causais entre variáveis e realizar previsões com maior grau de confiabilidade. No entanto, conforme destacado por Pereda e Alves (2018), é imprescindível, em um primeiro momento, compreender a distinção entre correlação e causalidade. A correlação indica que duas variáveis se movem conjuntamente — de forma positiva ou negativa — sem que isso implique, necessariamente, uma relação de causa e efeito. A causalidade, por sua vez, pressupõe que uma variável exerce influência direta sobre outra. Nesse sentido, o propósito central da econometria consiste em investigar relações causais entre variáveis econômicas, com base na análise de dados amostrais.

Um uso recorrente da econometria é a projeção de variáveis macroeconômicas relevantes, como as taxas de juros, os índices de inflação e o produto interno bruto (PIB). Nesse contexto, Wooldridge (2023) destaca que os métodos econométricos são aplicáveis a praticamente todos os campos da economia aplicada, sendo instrumentos essenciais para testar teorias econômicas que orientam decisões empresariais e formulações de políticas públicas. O autor ainda complementa que a análise empírica não apenas permite verificar a validade de uma teoria por meio dos dados disponíveis, como também possibilita a estimação precisa das relações entre variáveis econômicas, contribuindo para a elaboração de modelos mais robustos e fundamentados.

Por fim, a análise econométrica não se limita à academia, tendo papel central em instituições governamentais, bancos centrais, organismos internacionais e empresas privadas. Nessas organizações, a econometria auxilia no planejamento estratégico, avaliação de riscos e monitoramento econômico. Dessa forma, sua aplicação contribui para uma compreensão mais profunda da dinâmica econômica e para a formulação de soluções baseadas em dados reais, alinhadas aos objetivos de crescimento e estabilidade econômica.

2.6.1 Regressão linear

Conforme Wooldridge (2023), a regressão linear é um método estatístico e amplamente utilizado para analisar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, assumindo que essa relação é linear. A regressão

linear simples é um modelo em que uma variável é explicada (ou não) em termos da outra, enquanto na regressão múltipla é utilizada em análises que mais variáveis afetem a variável se está tentando explicar.

Ainda segundo esse mesmo autor, a regressão múltipla oferece maior precisão na análise sob a condição *ceteris paribus*[1], uma vez que possibilita o controle explícito de diversos fatores que influenciam simultaneamente a variável dependente. O autor ressalta ainda que, devido à capacidade dos modelos de regressão múltipla de acomodarem diversas variáveis explicativas, as quais podem apresentar correlações entre si, é possível inferir relações de causalidade em situações em que a análise de regressão simples poderia levar a conclusões equivocadas.

Além disso, a regressão múltipla apresenta uma flexibilidade significativamente maior. Esse modelo pode incorporar, de forma abrangente, diferentes formas funcionais e múltiplas variáveis explicativas simultaneamente, enquanto no modelo de regressão simples, apenas a função de uma única variável explicativa é considerada na equação (Wooldridge, 2023). Essa maior capacidade permite que a regressão múltipla capture relações econômicas mais complexas e realistas entre as variáveis analisadas.

No livro *Econometria Aplicada*, Pereda e Alves (2018) delimitam as etapas da análise empírica com base na abordagem estrutural. A obra enumera: (i) a formulação do problema de interesse; (ii) o desenvolvimento do modelo teórico formal, com a explicitação das equações matemáticas que representam a relação entre as variáveis; (iii) a descrição do modelo econométrico, incorporando os parâmetros e fatores não observáveis; (iv) a estimação dos parâmetros; e (v) a realização de testes sobre as hipóteses teóricas formuladas.

Na regressão múltipla, a formulação do modelo matemático então consiste em uma variável explicada (Y), variáveis explicativas (x_k), o intercepto do modelo ($ß_0$) e o termo do erro u_i. A representação, segundo Pereda e Alves (2018), é a seguinte:

---

[1] *Ceteris paribus* é uma expressão em latim que significa “mantendo-se as demais variáveis constantes” ou “tudo o mais constante”, usada para indicar que a análise foca na variação isolada de uma variável, desconsiderando influências externas não pertinentes ao estudo (Pereda e Alves, 2018).

$$Y = ß_0 + ß_1x_1 + ... + ß_kx_k + u$$

Como etapa fundamental da análise econométrica, a regressão linear — em especial a regressão múltipla — representa uma poderosa ferramenta para investigar relações entre variáveis econômicas. Sua aplicação permite não apenas a estimação de parâmetros com base em dados amostrais, mas também a realização de testes de hipóteses e a identificação de possíveis relações causais, contribuindo para interpretações mais robustas e decisões fundamentadas (Wooldridge, 2023). Portanto, compreender suas estruturas, pressupostos e aplicações é essencial para qualquer estudo empírico que busque interpretar e explicar fenômenos econômicos de forma precisa e cientificamente válida.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa. Detalhou-se o tipo de estudo, os métodos de abordagem e investigação, as técnicas de coleta e análise de dados, alinhados aos objetivos propostos no estudo sobre os desafios da infraestrutura logística no Brasil e seus efeitos sobre o desenvolvimento econômico.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Conforme Prodanov e Freitas (2013), a metodologia é fundamental para garantir a sistematização e a coerência da pesquisa científica, pois define os caminhos e instrumentos utilizados para a construção do conhecimento. Gil (2008) complementa, ao afirmar que a escolha adequada do método permite ao pesquisador alcançar os objetivos propostos com maior rigor e clareza, sendo a metodologia responsável por dar sustentação lógica e técnica ao estudo.

Primeiramente, esta pesquisa foi caracterizada, quanto aos seus objetivos, como de natureza exploratória, a qual tem como finalidade proporcionar mais informações, bem como delimitar o tema da pesquisa (Prodanov; Freitas, 2013). Tal classificação se justifica pela intenção de aprofundar o conhecimento sobre os desafios enfrentados pela infraestrutura logística brasileira, com o propósito de identificar variáveis relevantes, formular hipóteses iniciais e mapear lacunas estruturais que comprometem a eficiência do sistema logístico. A contextualização histórica, política e institucional é essencial para a construção de uma base teórica sólida, capaz de sustentar a análise dos dados e orientar a discussão crítica do tema.

Em um segundo momento, foi adotada uma abordagem explicativa, ao buscar compreender as relações de causa e efeito entre a infraestrutura logística e o desenvolvimento econômico do país. De acordo com Gil (2008, p. 28), as pesquisas explicativas “têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos”. Nesse contexto, a aplicação de métodos quantitativos e modelos estatísticos visa analisar objetivamente como

variáveis logísticas influenciam indicadores econômicos e sociais, contribuindo para a explicação de fenômenos complexos associados à competitividade, à sustentabilidade e ao crescimento regional.

Na primeira etapa da pesquisa, foi adotado o método de abordagem dialético. Gil (2008) define que a dialética oferece fundamentos para uma compreensão ampla e em constante transformação da realidade, ao considerar que os fatos sociais não devem ser analisados de forma isolada, mas sim em conexão com os contextos político, econômico, cultural e outros que os influenciam. Por esse motivo, essa escolha metodológica permite compreender os desafios da infraestrutura logística brasileira a partir da análise de suas origens, transformações e condicionantes históricos, sociais e políticos. O método dialético permite explorar as contradições presentes no processo de desenvolvimento logístico do país, evidenciando como fatores institucionais e decisões políticas moldaram a estrutura atual do sistema de transportes.

Ainda quanto ao método de abordagem, na sequência a pesquisa seguiu o método hipotético-dedutivo, partindo da formulação de hipóteses fundamentadas em teorias econômicas e logísticas. O método hipotético-dedutivo pode ser caracterizado pelo processo de identificação de “um problema ou uma lacuna no conhecimento científico, passando pela formulação de hipóteses e por um processo de inferência dedutiva” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 32). Essas hipóteses foram testadas por meio de técnicas econométricas que possibilitam a análise empírica das relações causais entre as variáveis estudadas. Esse método permite a verificação da validade empírica dessas relações, com base em dados reais, conferindo rigor e clareza ao estudo e assegurando a validade dos resultados para o avanço do conhecimento na área de infraestrutura logística.

Quanto aos métodos de investigação, esta pesquisa adotou uma abordagem múltipla, a fim de proporcionar uma análise abrangente da infraestrutura logística brasileira. Na primeira etapa, foram utilizados os métodos histórico e comparativo, com o objetivo de reconstruir a trajetória do setor ao longo do tempo, identificando os principais marcos e desafios enfrentados, bem como de comparar o desenvolvimento logístico nacional com experiências de outras realidades, enriquecendo o entendimento das particularidades e fragilidades do contexto brasileiro.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), o método histórico tem como objetivo investigar acontecimentos ou instituições do passado, buscando compreender sua influência na sociedade atual. Já o método comparativo visa analisar semelhanças e explicar divergências entre fenômenos. Em muitas situações, seus procedimentos, quando aplicados sob controle rigoroso, permitem um alto grau de generalização dos resultados.

Na segunda etapa, os métodos estatístico e monográfico foram aplicados. O primeiro, segundo Gil (2008), pode ser conceituado como o método capaz de testar estatisticamente a probabilidade de uma conclusão ser precisa bem como a margem de erro e, portanto, permite a análise quantitativa das variáveis logísticas e seus impactos sobre o desempenho econômico, utilizando ferramentas econométricas. Já o método monográfico é o processo de pesquisa que busca examinar com profundidade o tema possibilitando observar todos os fatores que influenciam (Prodanov; Freitas, 2013). Nesse sentido, esse método possibilitou uma investigação aprofundada de um recorte específico do setor logístico, a infraestrutura logística, contribuindo para a compreensão detalhada dos fatores estruturais e conjunturais que afetam sua eficiência.

As técnicas de coleta de dados utilizadas nesta pesquisa foram fundamentadas em fontes secundárias, destacando-se a pesquisa bibliográfica, abrangendo artigos científicos, livros e relatórios especializados. A pesquisa bibliográfica é definida por Gil (2008, p.50), como sendo “desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Além disso, também foi utilizada a pesquisa documental, que inclui dados provenientes de órgãos públicos e bases estatísticas oficiais, tais como IBGE, IPEA, ANTT, ANTAQ, Banco Mundial e OCDE. A pesquisa documental se distingue pela natureza de suas fontes, que consistem em materiais ainda não submetidos a uma análise aprofundada, como documentos oficiais, relatórios de pesquisa e outros registros institucionais (Gil, 2008).

Entre as variáveis analisadas, destacam-se o Produto Interno Bruto (PIB), o índice ABCR do modal rodoviário, o TKU dos modais ferroviário e aquaviário, os investimentos desses três principais modais e as variações cambiais. O estudo foi desenvolvido com base em dados secundários disponíveis em fontes públicas e confiáveis, no período entre 2000 e 2019, abrangendo uma série histórica suficiente para análises robustas.

A técnica de análise de dados adotada foi quantitativa, com o uso de ferramentas econométricas disponíveis no Excel e de outros softwares estatísticos adequados à complexidade dos modelos. Na definição de pesquisa quantitativa, Prodanov e Freitas (2013) ressaltam que tudo pode ser quantificado, ou seja, opiniões e informações podem ser convertidas em dados numéricos.

No desenvolvimento empírico desta pesquisa, foram estimados modelos de regressão linear múltipla em formato log-log, tomando como base seis cenários econométricos estruturados a partir de diferentes combinações das variáveis de infraestrutura logística. A construção desses cenários permitiu testar a robustez das relações entre os indicadores selecionados e o PIB, reduzindo a sensibilidade dos resultados às escalas das variáveis e possibilitando comparar a significância estatística de cada arranjo.

Durante a modelagem, empregaram-se procedimentos específicos para mitigar problemas recorrentes em séries econômicas, como a heterocedasticidade, tratada principalmente por meio da transformação logarítmica das variáveis, e a multicolinearidade, reduzida pela formulação de cenários progressivamente mais parcimoniosos e pela análise prévia das correlações entre os regressores. Os seis cenários estimados constituíram um processo iterativo de refinamento metodológico que permitiu identificar a configuração mais estável e teoricamente consistente para explicar as variações do PIB.

Dessa forma, o objetivo foi estimar modelos estatísticos capazes de mensurar o impacto da infraestrutura logística sobre indicadores econômicos relevantes, como o Produto Interno Bruto (PIB) e a produtividade. A condução da análise buscou assegurar consistência técnica e coerência interpretativa, de modo que tanto os procedimentos qualitativos quanto os quantitativos ofereçam subsídios robustos para as conclusões apresentadas e para a formulação de sugestões de trabalhos futuros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os principais resultados da pesquisa sobre a infraestrutura logística brasileira, evidenciando sua relação com o crescimento econômico. São analisados os principais modais de transporte, indicadores econômicos e o modelo econométrico aplicado. A discussão integra a análise quantitativa e qualitativa, destacando a influência das variáveis do modelo econométrico sobre o crescimento econômico, bem como as possíveis origens econômicas desses resultados e as inferências fundamentadas nas teorias discutidas e na revisão histórico-institucional.

4.1 PANORAMA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA BRASILEIRA

A análise apresentada nesta seção busca oferecer uma visão geral do cenário atual da infraestrutura logística brasileira, marcado por características que variam conforme as particularidades dos diferentes modais. Ao considerar o funcionamento das redes rodoviária, ferroviária e hidroviária, é possível observar elementos que ajudam a compreender como cada sistema contribui para o transporte de cargas e para a dinâmica econômica do país. O panorama aqui descrito permite visualizar aspectos operacionais, estruturais e regionais que influenciam a circulação de mercadorias, fornecendo subsídios para avaliar, de forma ampla, o papel da infraestrutura logística no desempenho produtivo nacional.

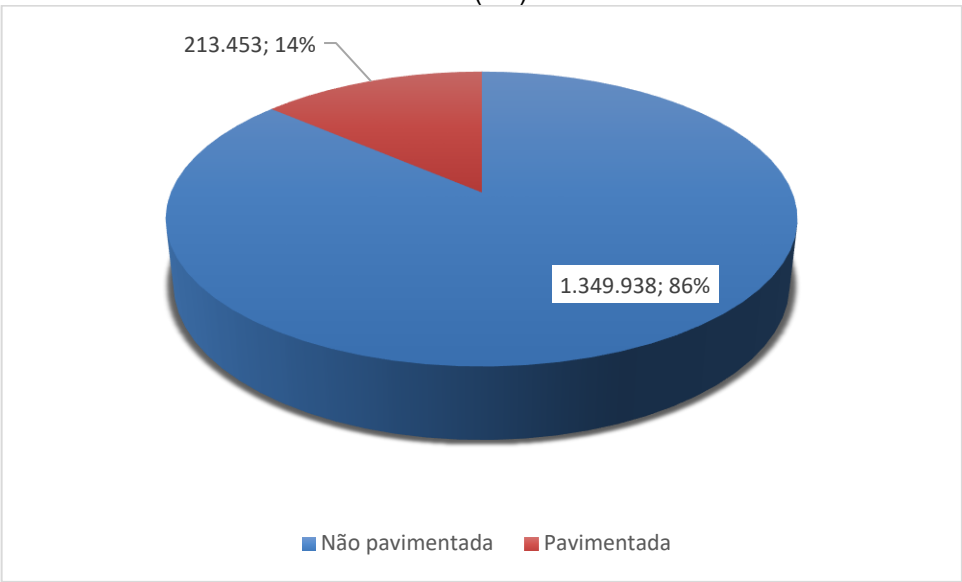
4.1.1 Modal Rodoviário

O modal rodoviário constitui o principal meio de transporte de cargas e passageiros no Brasil, sendo responsável por aproximadamente 65% da movimentação nacional (Brasil, 2025). Sua relevância decorre da alta capilaridade e da capacidade de integrar regiões produtivas ao consumo interno e externo, ainda que com elevados custos operacionais e dependência de combustíveis fósseis. De acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV) (2018, apud Santos *et. al.*, 2020), a malha rodoviária brasileira possui uma extensão total de 1.720.700 km, em que 213.453km (12,4%) são pavimentadas e 1.349.938 km (78,5%) não são

pavimentadas (federais, estaduais e municipais), configurando-se como uma das maiores do mundo em extensão territorial (Leal, 2012).

A Figura 1 apresenta um panorama geral da malha rodoviária nacional, indicando sua composição entre trechos pavimentados, não pavimentados e planejados.

Figura 1 - Extensão da malha rodoviária brasileira (km)



Fonte: Adaptado de SNV (2018, apud Santos *et. al.*, 2020).

Os dados da Figura 1 demonstram que apenas uma pequena parte da malha rodoviária total é pavimentada, o que evidencia o grande desafio logístico brasileiro. A baixa proporção de vias pavimentadas impacta diretamente o custo do transporte, a segurança viária e o tempo de deslocamento, especialmente em regiões com elevada dependência do transporte rodoviário para o escoamento de produção agrícola e industrial (Santos; Baptista, 2023).

Além disso, a distribuição regional da malha pavimentada apresenta fortes desigualdades, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste, em contraste com a Amazônia Legal, que ainda enfrenta sérias limitações de acesso (CNT, 2024). Essa assimetria logística reflete a concentração histórica de investimentos em eixos produtivos mais consolidados, o que acentua o desequilíbrio territorial e limita a competitividade das cadeias produtivas localizadas em regiões periféricas.

No que se refere às condições das rodovias, o CNT (2024) indica que mais da metade das vias públicas avaliadas apresenta algum tipo de deficiência em pavimentação, sinalização ou geometria. A análise evidencia que 73,5% da malha pública inspecionada possui condição regular, ruim ou péssima, sendo que apenas

26,5% foi classificada como boa ou ótima. Esses resultados demonstram a urgência de políticas públicas voltadas à conservação, duplicação e modernização da malha existente, tendo em vista o papel estratégico do modal rodoviário no escoamento de produtos agrícolas, industriais e no transporte de passageiros.

No campo dos investimentos históricos e planejados, observa-se que o setor rodoviário foi o principal destino dos recursos públicos em infraestrutura ao longo do século XX, sobretudo durante o processo de industrialização e expansão urbana das décadas de 1960 a 1980. Nesse período, as políticas federais priorizaram o transporte rodoviário como eixo de integração nacional, o que resultou na ampliação das rodovias federais e na consolidação da matriz de transporte atual (Silveira, 2018). Entretanto, a ausência de continuidade nos investimentos e a falta de manutenção sistemática levaram à deterioração da malha e à obsolescência de trechos críticos.

De acordo com o Plano Nacional de Logística (PNL 2035), divulgado pelo Ministério dos Transportes (2025), os investimentos planejados para o modal rodoviário visam a duplicação de 9.000 km de rodovias federais e a pavimentação de mais 25.000 km de novos trechos até 2035, com foco nos corredores estratégicos de exportação e integração intermodal. Tais medidas buscam reduzir o custo logístico nacional, atualmente estimado em cerca de 12,5% do PIB, e ampliar a competitividade do Brasil no comércio internacional.

Em síntese, o modal rodoviário permanece como o pilar da infraestrutura logística nacional, porém enfrenta limitações estruturais e históricas que exigem reequilíbrio entre os modais e investimentos contínuos para garantir eficiência, segurança e sustentabilidade ao sistema de transporte brasileiro.

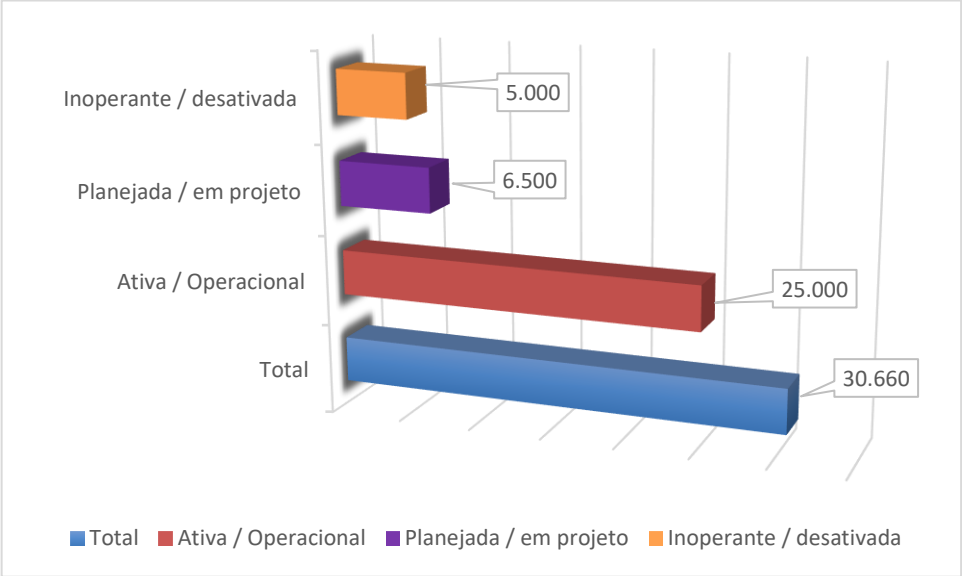
4.1.2 Modal Ferroviário

O modal ferroviário desempenha papel estratégico na integração logística e no escoamento de produtos de grande volume e baixo valor agregado, como minérios, grãos e combustíveis. Apesar de sua alta eficiência energética e baixo custo operacional por tonelada-quilômetro, o transporte ferroviário brasileiro ainda apresenta baixa participação na matriz nacional, respondendo por cerca de 20% da movimentação de cargas (Brasil, 2025). Essa participação limitada decorre da

concentração da malha em regiões específicas, da falta de integração intermodal e da descontinuidade dos investimentos públicos nas últimas décadas.

De acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV) e dados do Ministério dos Transportes (2024), a malha ferroviária brasileira possui uma extensão total de aproximadamente 30.660 km, sendo que parte significativa encontra-se sob concessão à iniciativa privada. A Figura 2 resume a composição da malha ferroviária nacional quanto à extensão total, trechos ativos, inoperantes e planejados.

Figura 2 – Extensão da malha ferroviária brasileira (km)



Fonte: Adaptado de SNV (2018); Ministério dos Transportes (2024).

Observa-se, na Figura 2, que cerca de 81,6% da malha ferroviária brasileira está ativa, enquanto aproximadamente 5 mil quilômetros permanecem inoperantes, o que revela o subaproveitamento de parte significativa da infraestrutura existente. As ferrovias ativas concentram-se principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde se localizam os maiores polos de produção e exportação de commodities, como soja e minério de ferro (Avella; Santos; Baptista, 2022).

Em contrapartida, o Relatório da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024) destaca que grande parte das ferrovias brasileiras apresenta limitações de desempenho relacionadas à idade da infraestrutura, à baixa padronização das bitolas e à falta de conectividade entre trechos. Essas restrições resultam em menores velocidades médias, custos adicionais com transbordo e gargalos logísticos

em terminais e portos. Estima-se que apenas 10% da malha ferroviária nacional opere em condições compatíveis com padrões internacionais de eficiência.

Historicamente, o desenvolvimento ferroviário no Brasil esteve associado a ciclos econômicos específicos, especialmente à exportação de café e minérios. Entre o final do século XIX e meados do século XX, o Estado e o capital estrangeiro desempenharam papel central na expansão da malha, voltada principalmente para o escoamento de produtos primários. Entretanto, a partir da década de 1960, houve uma retração dos investimentos públicos, concomitante à priorização do modal rodoviário, o que resultou em estagnação da malha ferroviária e perda de competitividade (Silveira, 2018).

Nos últimos anos, observa-se um retorno gradual dos investimentos ferroviários, impulsionado por concessões e parcerias público-privadas (PPPs). Segundo o Plano Nacional de Logística (PNL 2035), há 6.500 km de novas ferrovias planejadas ou em construção, com destaque para projetos estruturantes como a Ferrovia Norte-Sul, a Ferrogrão (EF-170), a Nova Ferroeste e a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL). Esses projetos buscam ampliar a intermodalidade e reduzir o custo logístico, conectando regiões produtoras do Centro-Oeste aos portos do Norte e do Nordeste.

O PNL 2035 também prevê a reativação e modernização de trechos desativados, com foco na interoperabilidade e no aumento da capacidade de transporte. Estima-se que os investimentos planejados no modal ferroviário até 2035 ultrapassem R$ 90 bilhões, o que representa uma das maiores agendas de expansão ferroviária desde a década de 1950 (Brasil, 2025). Tais iniciativas são fundamentais para reequilibrar a matriz de transportes, promover maior sustentabilidade ambiental e reduzir a dependência do modal rodoviário.

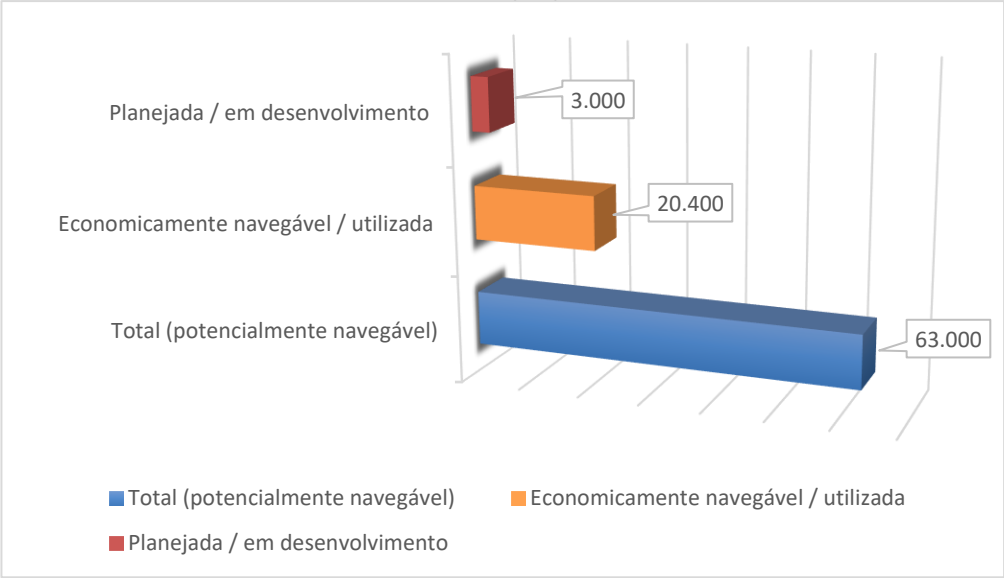
Em síntese, o modal ferroviário brasileiro apresenta avanços estruturais relevantes, mas ainda enfrenta desafios relacionados à integração, padronização e manutenção. A retomada dos investimentos e o fortalecimento das concessões privadas configuram um cenário promissor, desde que acompanhados por políticas públicas de longo prazo que garantam eficiência, segurança operacional e articulação intermodal sustentável.

4.1.3 Modal Hidroviário

O modal hidroviário constitui uma das alternativas mais eficientes e sustentáveis para o transporte de cargas de grande volume e baixo valor agregado, destacando-se pelo baixo custo operacional, pela elevada capacidade de carga e pela menor emissão de poluentes em comparação aos modais rodoviário e aéreo. No entanto, apesar de suas vantagens, o modal hidroviário ainda é subutilizado no Brasil, respondendo por cerca de 13% da matriz de transporte nacional (Brasil, 2025). Essa subutilização decorre de fatores como a falta de infraestrutura adequada nos portos fluviais, limitações de navegabilidade em diversos trechos e ausência de integração com os demais modais.

De acordo com o Sistema Nacional de Viação (SNV) e o Ministério dos Transportes (2024), o país possui aproximadamente 63 mil quilômetros de vias potencialmente navegáveis, dos quais apenas 20.400 km são considerados economicamente viáveis e efetivamente utilizados para transporte de cargas e passageiros. A Figura 3 apresenta o panorama da malha hidroviária brasileira, discriminando a extensão total, navegável e planejada.

Figura 3 –Extensão da malha hidroviária brasileira (km)



Fonte: Adaptado de SNV (2018); Ministério dos Transportes (2024).

Os dados da Figura 3 revelam que apenas 32% da malha hidroviária potencial do país é utilizada de forma efetiva, o que indica amplo espaço para expansão e

aproveitamento logístico. As principais hidrovias em operação concentram-se nas regiões Norte e Centro-Oeste, com destaque para os sistemas Tocantins-Araguaia, Madeira, Paraguai-Paraná e São Francisco, que são fundamentais para o escoamento de grãos e minérios. O Arco Norte, em especial, tem se consolidado como alternativa estratégica para exportações agrícolas, conectando estados produtores como Mato Grosso e Pará a portos fluviais e marítimos.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2024), os principais desafios da malha hidroviária brasileira estão relacionados à insuficiência de dragagens, à falta de sinalização adequada, à carência de terminais intermodais e à baixa regularidade na manutenção de eclusas e canais de navegação. Essas limitações comprometem a segurança e a previsibilidade das rotas, elevando os custos logísticos e reduzindo a competitividade do modal.

Historicamente, o investimento em infraestrutura hidroviária no Brasil foi limitado, com iniciativas pontuais concentradas em regiões de maior potencial exportador. Durante o século XX, predominou o foco em rodovias e ferrovias, enquanto as hidrovias ficaram em segundo plano no planejamento nacional (Silveira, 2018). Ainda assim, projetos relevantes foram executados, como a Hidrovia Tietê-Paraná, inaugurada em 1996, que interliga polos industriais do Sudeste ao Centro-Oeste, e o Aproveitamento Hidroviário do Rio Madeira, voltado ao transporte de grãos para o Porto de Itacoatiara (AM).

Nos últimos anos, o governo federal tem retomado os investimentos no setor, conforme previsto no Plano Nacional de Logística (PNL 2035), conforme Ministério da Infraestrutura (2021). O documento destaca investimentos previstos na ordem de mais de R$ 3,6 Bilhões, contemplando investimentos nas vias navegáveis, com derrocamentos, diversas melhorias e novas construções.

A Agenda Nacional de Hidrovias (ANTT, 2024) projeta investimentos públicos e privados superiores a R$ 22 bilhões até 2035, destinados à ampliação e modernização da malha, reforçando o papel do modal na matriz de transportes e seu potencial ambientalmente sustentável. Tais investimentos têm caráter estratégico, pois visam à desconcentração da matriz logística nacional, reduzindo a dependência do modal rodoviário e estimulando o desenvolvimento regional de áreas interiores e fronteiriças.

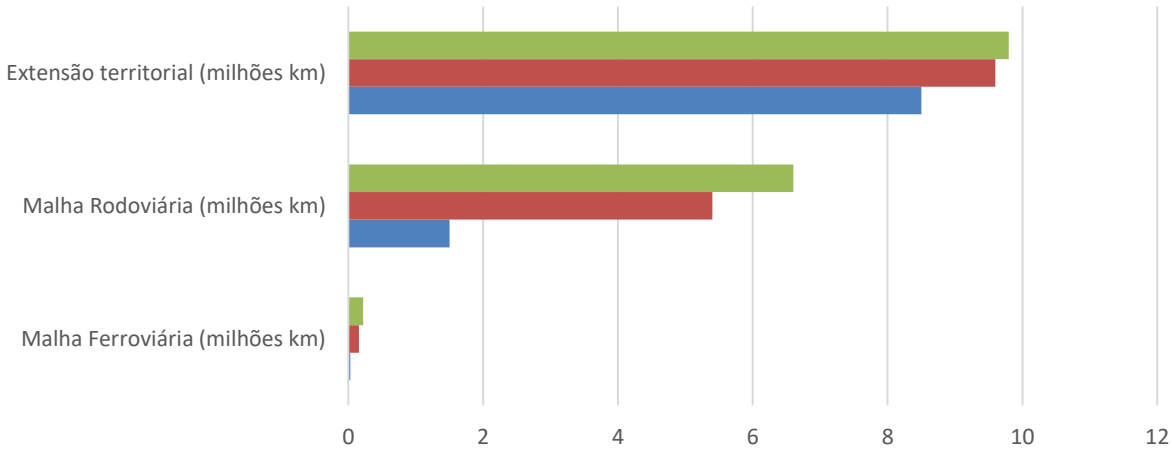
Em síntese, o modal hidroviário brasileiro possui grande potencial logístico e ambiental, mas sua consolidação depende de políticas de Estado contínuas,

integração intermodal e investimentos regulares em infraestrutura. A valorização das hidrovias representa não apenas uma alternativa econômica, mas também uma via sustentável para a ampliação da competitividade nacional no cenário global.

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA INFRAESTRUTURA LOGÍSTICA BRASILEIRA EM CONTEXTO INTERNACIONAL

A comparação internacional da infraestrutura logística permite compreender as diferenças estruturais entre países de dimensões continentais e evidenciar como o nível de investimento e maturidade industrial influenciam diretamente a eficiência econômica e a competitividade global. Países como Rússia, China, Estados Unidos e membros da União Europeia compartilham grandes extensões territoriais e desafios semelhantes na integração de suas redes de transporte, mas diferem amplamente na densidade, qualidade e no grau de modernização de suas infraestruturas.

Figura 4 - Relação entre extensão territorial e a extensão das malhas rodoviária e ferroviária no Brasil, China e Estados Unidos



	Malha Ferroviária (milhões km)	Malha Rodoviária (milhões km)	Extensão territorial (milhões km)
Estados Unidos	0,22	6,6	9,8
China	0,159	5,4	9,6
Brasil	0,0298	1,5	8,5

Estados Unidos China Brasil

Fonte: Adaptado de CIA (2025); World Population Review (2025).

De acordo com a CIA (2025), em termos territoriais, o Brasil (com 8,5 milhões km²) possui extensão comparável à da China (9,6 milhões km²) e dos Estados Unidos (9,8 milhões km²), porém apresenta uma densidade de infraestrutura muito inferior. Enquanto os Estados Unidos possuem mais de 6,6 milhões de quilômetros de rodovias pavimentadas e uma malha ferroviária superior a 220 mil quilômetros, o Brasil dispõe de apenas cerca de 1,5 milhões de quilômetros de rodovias e cerca de 30 mil quilômetros de ferrovias em operação (World Population Review, 2025). Essa disparidade reflete décadas de subinvestimento público e concentração de políticas de transporte em regiões mais desenvolvidas, limitando a competitividade das cadeias produtivas nacionais.

A Rússia, com 17 milhões de km², enfrenta desafios de natureza climática e geográfica semelhantes aos brasileiros, porém mantém uma estratégia contínua de investimento estatal e militar na infraestrutura de transporte, especialmente em ferrovias e oleodutos. Já a China, apesar de sua grande extensão territorial, consolidou uma das infraestruturas mais densas e integradas do mundo, resultado de políticas de investimento público superiores a 5% do PIB ao ano entre 2010 e 2021 (CNT, 2025). Essa proporção é quase 25 vezes maior que a do Brasil, cujo investimento médio foi de apenas 0,21% do PIB no mesmo período.

A CNT (2025) conforme Tabela 1 a seguir evidencia uma profunda assimetria entre o Brasil e as principais economias globais no volume de investimento destinado à infraestrutura de transporte. Enquanto países desenvolvidos, como Estados Unidos (0,6%) e Alemanha (0,7%), mantêm níveis relativamente baixos de investimento em proporção ao PIB devido à maturidade de suas redes, economias emergentes, como China (5,1%) e Geórgia (2,9%), continuam investindo fortemente na expansão e modernização de suas infraestruturas. O Brasil, por sua vez, permanece na última posição do ranking de 50 países analisados, com média de apenas 0,21% do PIB em investimentos públicos entre 2010 e 2021.

Tabela 1 - Média de investimento em infraestrutura de transporte, de 2010 a 2021 (% PIB)

País	*Média (% PIB)*	*Posição no ranking (51 países)*
China	5,0500	1º
Geórgia	2,8400	2º
Alemanha	0,6800	35º
Estados Unidos	0,5700	39º
Brasil	0,2100	51º

Fonte: Adaptado de CNT (2025).

Essa diferença estrutural está associada não apenas ao volume de investimentos, mas também ao grau de industrialização e à maturidade logística de cada economia. Países com alto nível industrial, como Estados Unidos, Alemanha e China, desenvolveram sistemas intermodais integrados, conectando rodovias, ferrovias, portos e aeroportos de forma eficiente. Essas redes possibilitam o escoamento rápido e de baixo custo de insumos e produtos acabados, reduzindo o tempo logístico e fortalecendo as cadeias de valor.

No caso brasileiro, a falta de coordenação intermodal e o histórico de políticas públicas descontinuadas resultaram em uma estrutura de transporte concentrada no modal rodoviário, que responde por cerca de 65% da movimentação de cargas. Essa dependência reduz a resiliência logística e amplia os custos de transporte, que chegam a representar cerca de 15% do PIB nacional, valor consideravelmente superior à média dos países da OCDE (8-10%), conforme IDB (2020, apud Fall; Fialho; Huang, 2024).

A análise qualitativa revela, portanto, que as nações com maior grau de industrialização e planejamento de longo prazo — como Estados Unidos, Alemanha e China — alcançaram um estágio de maturidade logística, caracterizado pela infraestrutura integrada, previsibilidade de investimentos e forte presença de capital privado. Esses países mantêm sistemas de gestão de transporte voltados à eficiência energética, digitalização e sustentabilidade ambiental. Já o Brasil, embora possua potencial logístico elevado, ainda opera em estágio de consolidação, com investimentos insuficientes e defasagem tecnológica nos sistemas de transporte e armazenamento.

O relatório da CNT (2025) reforça que a reversão desse quadro depende da recomposição orçamentária do setor público e do fortalecimento das parcerias público-privadas. A adoção de políticas de investimento estável e de longo prazo é

indispensável para alcançar um nível de infraestrutura compatível com o porte territorial e econômico do país. Assim, compreender a experiência internacional oferece um referencial estratégico para redefinir prioridades nacionais e promover a modernização da logística brasileira como vetor de crescimento e competitividade global.

4.3 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO

A etapa de especificação do modelo econométrico consiste na definição teórica e estatística das variáveis que comporão a relação de interesse neste estudo, permitindo estabelecer quais indicadores logísticos serão utilizados para explicar o comportamento do Produto Interno Bruto (PIB). Segundo Wooldridge (2023), a especificação adequada do modelo é fundamental para garantir que a equação estimada represente de forma válida a estrutura econômica subjacente, evitando omissões relevantes ou inclusão de variáveis irrelevantes.

Nesse mesmo sentido, Pereda e Alves (2018) destacam que a formulação do modelo deve partir de fundamentos teóricos consistentes, complementados por uma análise exploratória das variáveis para verificar padrões, correlações e possíveis relações causais. Assim, nesta seção são apresentados os indicadores selecionados, bem como sua fundamentação teórica e estatística, estabelecendo as bases para os cenários econométricos analisados posteriormente.

4.3.1 Indicadores de Infraestrutura Logística Selecionados como Variáveis Explicativas do PIB

Antes da apresentação do modelo econométrico, torna-se necessário explicitar os atributos conceituais e estatísticos das variáveis selecionadas. O Quadro 1 sintetiza a classificação, a natureza e a função econômica de cada variável incorporada ao estudo, permitindo compreender de forma estruturada seu papel na análise. A distinção entre variável dependente e variáveis explicativas, bem como a caracterização de suas naturezas monetária, física, nominal ou indexada, contribui para estabelecer a lógica analítica do modelo e assegurar coerência entre a fundamentação teórica e a operacionalização empírica adotada.

Quadro 1 - Classificação, Natureza e Função Econômica das Variáveis do Modelo

Variável	*Sigla*	*Classificação no modelo*	*Natureza estatística*	*Natureza econômica*	*Função Econômica*
Produto Interno Bruto	PIB	Explicada (dependente)	Variável monetária (real/deflacionada)	Atividade econômica (indicador macroeconômico)	Representa o nível total de produção de bens e serviços da economia
Índice ABCR – Veículos Pesados	ABCR_RODO	Explicativa	Variável índice (base 1999=100)	Atividade econômica (proxy do modal rodoviário)	Captura o nível de movimentação de cargas e o dinamismo logístico via tráfego de caminhões
Tonelada-Quilômetro Útil por modal	TKU	Explicativa	Variável física (volume logístico)	Produtividade operacional (proxy dos modais ferroviário e aquaviário)	Representa o volume útil de carga transportada por distância, refletindo eficiência operacional
Investimento público em infraestrutura por modal	INV_RODO / INV_FERRO / INV_AQUA	Explicativa	Variável monetária (real/deflacionada)	Investimento (insumo de capital)	Mede o esforço público de expansão, modernização e manutenção da infraestrutura logística
Taxa de câmbio (real por dólar)	TX_CAMBIO	Explicativa	Variável nominal de preço (R$/US$ 1)	Custo externo (indicador macroeconômico)	Reflete o preço da moeda estrangeira, influenciando custos logísticos e comércio exterior

Fonte: O autor (2025).

Pode ser observado no Quadro 1 que a variável dependente selecionada é o Produto Interno Bruto (PIB), indicador amplamente utilizado para representar o valor total de bens e serviços finais produzidos na economia ao longo do tempo. O PIB foi adotado por sua reconhecida capacidade de sintetizar o nível de atividade econômica agregada, constituindo-se, portanto, na medida mais adequada para captar os efeitos da infraestrutura logística sobre o desempenho macroeconômico do país. A escolha dessa variável permite examinar em perspectiva ampliada como as condições estruturais dos modais de transporte interferem sobre a dinâmica produtiva nacional.

Quanto ao período selecionado, o intervalo compreendido entre 2000 e 2019 foi definido por sua robustez metodológica e por apresentar a maior disponibilidade de dados oficiais consistentes entre os órgãos públicos e entidades setoriais. Trata-se de uma janela de vinte anos que incorpora a estabilidade macroeconômica consolidada no período pós-Plano Real e exclui distorções causadas pela pandemia de Covid-19, preservando assim um cenário contemporâneo e estatisticamente adequado para análise de longo prazo dos impactos da infraestrutura logística sobre o crescimento econômico.

As variáveis explicativas selecionadas refletem dimensões essenciais da infraestrutura logística brasileira e de seu relacionamento intrínseco com a atividade econômica: Índice de Atividade Rodoviária (ABCR_RODO), Produtividade do Modal Ferroviário (TKU_FERRO), Produtividade do Modal Aquaviário (TKU_AQUA), Investimentos Públicos em Infraestrutura por Modal (INV_RODO, INV_FERRO e INV_AQUA) e Taxa de Câmbio Nominal (TX_CAMBIO). Esses indicadores contemplam tanto medidas de atividade logística quanto métricas de produtividade e insumos estruturantes, além de condições externas que incidem sobre a dinâmica econômica. O tratamento estatístico de cada variável, bem como suas respectivas fontes institucionais, encontra-se detalhados no Quadro 2, o qual sintetiza o conjunto de decisões metodológicas que fundamentam a construção das séries empregadas no modelo.

Quadro 2 - Tratamento e Fonte das Variáveis do Modelo

Variável	*Período*	*Tratamento do dado estatístico*	*Fonte*	*Coeficiente*
PIB	2000 a 2019	Deflacionamento para valores reais (set./2025) e harmonização de séries históricas	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	-
ABCR_RODO	2000 a 2019	Seleção da série dessazonalizada para veículos pesados	Melhores Rodovias - site oficial da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR)	β_1
TKU_FERRO	2000 a 2019	Consolidação de séries de diferentes fontes	Confederação Nacional do Transporte (CNT) e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)	β_2
TKU_AQUA	2010 a 2019	Série histórica parcial (insuficiente para modelagem econométrica)	Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)	-
INV_RODO	1999 a 2018	Deflacionamento para valores reais (set./2025) e harmonização de séries históricas; defasagem temporal de 1 ano	Ministério da Infraestrutura	β_3
INV_FERRO	1999 a 2018	Deflacionamento para valores reais (set./2025) e harmonização de séries históricas; defasagem temporal de 1 ano	Ministério da Infraestrutura	β_4
INV_AQUA	1999 a 2018	Deflacionamento para valores reais (set./2025) e harmonização de séries históricas; defasagem temporal de 1 ano	Ministério da Infraestrutura	β_5
TX_CAMBIO	2000 a 2019	Cálculo da média anual da taxa nominal (R$/US$ 1)	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)	β_6

Fonte: O autor (2025).

A utilização de indicadores de produtividade e de atividade econômica por modal fundamenta-se na necessidade de representar, de forma mais completa, o funcionamento do sistema logístico nacional e seus potenciais efeitos sobre o PIB. Medidas de atividade, como o ABCR_RODO, captam a intensidade de uso do modal rodoviário e sua sensibilidade às oscilações econômicas de curto prazo. Já medidas de produtividade, como o TKU_FERRO e o TKU_AQUA, expressam a eficiência operacional dos modais de transporte em termos de volume útil movimentado por distância. Ao integrar esses dois tipos de indicadores, obtém-se uma visão analítica mais abrangente, capaz de refletir tanto o dinamismo operacional quanto a capacidade estrutural dos modais, atributos que, em conjunto, influenciam diretamente os resultados da economia agregada.

No âmbito do modal rodoviário, o índice ABCR_RODO foi incorporado ao modelo por constituir a série dessazonalizada do fluxo de veículos pesados registrada nas praças de pedágio, publicada pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR). Trata-se de um índice com base normalizada em 1999 = 100, de modo que seus valores expressam variações relativas ao ano-base. Por exemplo: valores de 120 representam fluxo 20% superior ao registrado em 1999, enquanto valores de 90 indicam redução de 10%, e valores de 150 correspondem a um aumento de 50%. Essa característica torna o indicador particularmente adequado para captar oscilações no uso da infraestrutura rodoviária, elemento central para avaliar movimentos de curto prazo na logística nacional.

A adoção do ABCR_RODO em substituição a um indicador de produtividade rodoviária deve-se à inexistência de uma série histórica oficial e contínua de TKU para o modal rodoviário no Brasil, ao contrário do que ocorre com os modais ferroviário e aquaviário. Em países com estatísticas logísticas mais consolidadas, o TKU rodoviário é frequentemente divulgado, porém o Brasil não possui exigência institucional para publicação dessa informação. Assim, o Índice ABCR de Fluxo Rodoviário configura o indicador mais adequado e disponível, funcionando como proxy eficiente do dinamismo logístico rodoviário e, por consequência, da circulação econômica dependente desse modal, o qual responde pela maior parte do transporte de cargas no país, além de ser amplamente utilizado em análises econômicas.

Embora o ABCR não represente produtividade de forma direta, sua capacidade de traduzir a intensidade da atividade econômica do modal rodoviário confere-lhe relevância explicativa para o PIB. Diante da ausência de um indicador

operacional específico, optou-se por utilizar o ABCR como proxy de atividade econômica, uma vez que o fluxo de veículos pesados nas rodovias pedagiadas expressa de maneira indireta o nível de circulação de mercadorias e o grau de utilização da infraestrutura rodoviária. Esse indicador, portanto, permite inferir efeitos relevantes sobre a variável dependente, sobretudo em uma economia fortemente dependente do modal rodoviário.

A variável TKU_FERRO, representativa da produtividade do modal ferroviário, reflete a capacidade de movimentação de grandes volumes de carga por longas distâncias, característica que confere ao transporte ferroviário papel estratégico no escoamento de *commodities* agrícolas e minerais, setores centrais da economia brasileira. Considerando a extensão territorial do país e a predominância de cadeias produtivas intensivas em transporte de longa distância, a produtividade ferroviária constitui elemento relevante para compreender a eficiência logística e suas implicações sobre o desempenho econômico agregado.

No que se refere ao modal aquaviário, a variável TKU_AQUA representa a produtividade desse modal, reconhecido por sua extraordinária capacidade de movimentação de cargas a baixo custo. A extensa costa marítima e a diversidade de vias navegáveis conferem ao Brasil elevado potencial para transporte hidroviário, especialmente em cadeias primárias e exportadoras. Contudo, a série histórica disponível inicia-se apenas em 2010, o que torna o conjunto de dados insuficiente para compor o modelo econométrico proposto. Ainda assim, sua relevância conceitual é reconhecida, pois o modal aquaviário apresenta condições estruturais que, se plenamente desenvolvidas, poderiam exercer impacto expressivo sobre o crescimento econômico.

Os investimentos públicos em infraestrutura logística por modal, INV_RODO, INV_FERRO e INV_AQUA, foram incluídos por representarem insumos essenciais para a expansão, modernização e manutenção das redes de transporte. Tais investimentos têm potencial de gerar efeitos de curto, médio e longo prazo sobre a economia, elevando a produtividade, reduzindo custos logísticos e favorecendo o crescimento econômico. Sua análise permite identificar a contribuição do esforço estatal na melhoria das condições estruturais dos modais, elemento decisivo para o desenvolvimento econômico sustentável.

A taxa de câmbio nominal (TX_CAMBIO) foi incorporada ao modelo por sua influência sobre os preços relativos entre bens domésticos e estrangeiros, afetando

diretamente os custos de importação, a competitividade das exportações e as decisões de investimento. Oscilações cambiais podem impactar o PIB tanto positiva quanto negativamente, a depender da estrutura produtiva do país, do grau de dependência de insumos importados e da composição das transações externas. Assim, sua inclusão no modelo não apenas controla efeitos externos que incidem sobre a atividade econômica, mas também permite verificar empiricamente se, no contexto brasileiro contemporâneo, a taxa de câmbio exerce influência predominantemente positiva ou negativa sobre o crescimento econômico, contribuindo para maior precisão na estimação dos coeficientes associados aos indicadores logísticos.

Concluída a apresentação das variáveis explicativas que compõem o modelo, torna-se necessário descrever os procedimentos adotados para preparar as séries utilizadas, garantindo sua integridade analítica ao longo do período estudado. O Quadro 2 reúne esses procedimentos e identifica as respectivas fontes institucionais, oferecendo uma visão clara do processo de construção das bases empíricas empregadas. Essa etapa é fundamental para assegurar que os indicadores sejam comparáveis no tempo e reflitam de maneira consistente os fenômenos econômicos que se propõem a representar.

Tabela 2 - Matriz Inicial de Observações (Série Histórica 2000–2019)

ANO	PIB (em bilhões R$)	ABCR_RODO (índice) (base 1999= 100)	TKU_FERRO (em bilhões)	TKU_AQUA (em bilhões)	INV_RODO (em bilhões R$) (defasagem A-1)	INV_FERRO (em bilhões R$) (defasagem A-1)	INV_AQUA (em bilhões R$) (defasagem A-1)	TX_CAMBIO (média anual)
2000	5272,66	101,75	153,90	-	6,52	0,31	1,07	1,83
2001	5376,54	107,01	161,90	-	8,04	0,26	1,10	2,35
2002	5484,07	112,86	167,80	-	9,44	0,29	1,16	2,93
2003	5700,17	113,48	180,50	-	6,10	0,27	0,68	3,07
2004	6057,40	120,72	202,50	-	3,25	0,13	0,21	2,92
2005	6322,87	122,02	221,20	-	4,26	0,33	0,72	2,43
2006	6813,02	123,30	238,35	-	7,86	0,67	0,84	2,18
2007	7382,72	129,64	257,12	-	11,90	0,94	0,87	1,95
2008	7933,14	136,03	267,14	-	13,37	1,41	1,94	1,84
2009	8158,46	132,32	245,48	-	13,46	2,34	2,12	1,99
2010	9004,17	147,76	278,01	121,20	19,17	2,44	3,25	1,76
2011	9509,32	156,85	293,28	156,80	25,43	5,90	3,51	1,67
2012	9913,25	160,63	298,65	175,40	22,32	3,84	3,16	1,95
2013	10378,16	165,67	297,92	186,80	19,11	2,23	2,30	2,16
2014	10556,86	161,31	307,20	197,20	16,98	5,27	0,56	2,35
2015	9914,32	151,34	332,29	213,70	18,94	5,00	1,11	3,34
2016	9689,58	142,19	341,17	221,40	10,85	3,60	0,74	3,48
2017	9900,61	143,54	375,24	235,50	9,90	1,51	1,03	3,19
2018	10120,56	144,96	407,87	248,30	11,79	0,92	0,75	3,66
2019	10338,28	150,85	366,40	266,00	10,79	0,94	0,96	3,95

Fonte: Adaptado de IBGE(s.d; 2023), BCB (s.d.), ABCR (s.d.), CNT (2022), IPEA (2010; 2025), ANTAQ (2023) e Ministério da Infraestrutura (2020).

Após a seleção das séries históricas compreendidas no período de 2000 a 2019, procedeu-se à conversão dos dados monetários, PIB e investimentos públicos por modal, para valores reais, deflacionados a preços de setembro de 2025. Utilizou-se, para esse fim, a Calculadora do Cidadão disponibilizada pelo Banco Central do Brasil. A conversão é necessária para eliminar efeitos inflacionários e permitir análises consistentes ao longo do tempo, evitando distorções inerentes ao uso de valores correntes.

Além disso, foram adotados procedimentos específicos para cada variável: utilização da série dessazonalizada de veículos pesados no ABCR_RODO; harmonização e consolidação de séries de fontes distintas no caso do TKU_FERRO; identificação da insuficiência da série TKU_AQUA, que não cobre o período de 2000 a 2009 e, por essa razão, foi excluída do modelo econométrico, conforme já citado anteriormente; e inclusão da defasagem temporal de um ano nas séries de investimento, a fim de evitar simultaneidade com o PIB. Tais procedimentos visam preservar a integridade estatística do modelo e garantir que as variáveis reflitam adequadamente seus fenômenos de origem.

No caso da taxa de câmbio, optou-se pelo cálculo da média anual da taxa nominal (R$/US$), em vez do valor do último dia útil de cada ano. Essa escolha permite reduzir a influência de volatilidades pontuais e sazonalidades de curto prazo, oferecendo uma medida mais estável e representativa das condições cambiais vigentes ao longo do período analisado.

Antes da etapa econométrica propriamente dita, organizou-se a Tabela 2 – Matriz Inicial de Observações (Série Histórica 2000–2019), contendo todas as séries coletadas após o tratamento estatístico inicial. Essa tabela reúne os valores tratados, permitindo visualizar, de maneira integrada, a evolução temporal dos indicadores ao longo das duas décadas analisadas. Embora constitua a base empírica de referência, essa matriz não corresponde integralmente ao conjunto final de dados utilizado nos cenários analisados, uma vez que, conforme mencionado anteriormente, a coleta de dados do TKU_AQUA apresentava lacunas significativas no período de 2000 a 2009, o que levou à sua exclusão para evitar comprometimentos na consistência estatística e na comparabilidade temporal das variáveis remanescentes.

A exclusão de outros modais, como o aéreo e o dutoviário, decorre tanto de sua participação pouco expressiva na matriz de transporte brasileira, quanto da

ausência de séries históricas completas e metodologicamente consistentes para o período em análise. Em virtude dessas limitações, tais modais não apresentam condições estatísticas suficientes para integrar o modelo econométrico com a mesma comparabilidade e robustez dos demais indicadores selecionados.

Além disso, outras variáveis potencialmente relacionadas à infraestrutura logística, como custos operacionais, extensão de malha, capacidade de armazenagem, indicadores portuários específicos ou medidas de investimento privado, não foram incorporadas ao modelo devido às limitações de ordem metodológica e estatística. Em particular, os indicadores de custo apresentam elevada complexidade de mensuração, frequentemente baseados em metodologias heterogêneas, muitas vezes calculados por insumo transportado e não por modal exclusivamente, o que inviabiliza sua compatibilização direta com as demais séries e dificulta sua utilização em regressões, dada a ausência de padronização temporal e conceitual.

Soma-se a isso a baixa disponibilidade de séries contínuas e comparáveis para o período estudado, bem como sua menor relevância empírica constatada durante a etapa de especificação do modelo econométrico. Diante desse cenário, optou-se por privilegiar variáveis oficiais, metodologicamente consolidadas e com maior consistência temporal, garantindo maior robustez às estimativas produzidas.

Na próxima seção (4.3.2), serão desenvolvidos os cenários econométricos formulados a partir das variáveis tratadas e selecionadas nesta etapa. A construção de múltiplos cenários visa explorar diferentes combinações dos indicadores logísticos e seus possíveis impactos sobre o PIB, permitindo compreender de forma mais abrangente os canais pelos quais a infraestrutura influencia o crescimento econômico do país.

4.3.2 Construção dos cenários econométricos

A partir da definição e justificativa das variáveis explicativas selecionadas na seção anterior, torna-se necessário avançar para a etapa de estruturação dos modelos empíricos que orientarão a investigação econométrica deste estudo. A delimitação das variáveis — baseada em critérios de coerência metodológica, disponibilidade de séries históricas, compatibilidade conceitual e relevância

estatística — estabelece o alicerce para a construção dos diferentes cenários analíticos que serão testados.

Considerando que cada variável logística pode influenciar o Produto Interno Bruto (PIB) por canais distintos, a formulação de múltiplos cenários permite avaliar não apenas o comportamento conjunto das variáveis selecionadas, mas também seu impacto individual e suas interações específicas. Essa abordagem é amplamente recomendada pela literatura econométrica aplicada, uma vez que a comparação entre modelos alternativos possibilita identificar padrões robustos, possíveis problemas de multicolinearidade e diferenças na sensibilidade dos resultados conforme a composição das variáveis (Wooldridge, 2023; Pereda e Alves, 2018).

Desse modo, a construção dos cenários econométricos busca explorar diferentes arranjos das variáveis logísticas — ABCR_RODO, TKU_FERRO, investimentos públicos setoriais e variáveis complementares — com o objetivo de compreender como combinações distintas desses indicadores condicionam a capacidade explicativa dos modelos estimados. Cada cenário foi desenvolvido com base em critérios explícitos, tais como exclusão por indisponibilidade de dados, baixa correlação com o PIB, conveniência analítica ou interesse em isolar efeitos específicos de cada modal.

Assim, os cenários apresentados no Quadro 3 – Estruturação dos Cenários Econométricos e Critérios de Seleção de Variáveis representam uma estratégia sistemática de investigação, que permite testar hipóteses alternativas sobre os efeitos da infraestrutura logística no desempenho econômico brasileiro. Essa estrutura contribui para ampliar a robustez das conclusões e para aprimorar a compreensão dos mecanismos pelos quais os investimentos e a produtividade logística influenciam o crescimento econômico no Brasil.

Quadro 3 Estruturação dos Cenários Econométricos e Critérios de Seleção de Variáveis

Cenários	*Variáveis explicativas selecionadas*	*Critérios*	*Objetivo analítico*
Cenário 1	ABCR_RODO | TKU_FERRO INV_RODO | INV_FERRO INV_AQUA |TX_CAMBIO	Exclusão da TKU_AQUA, por indisponibilidade de série histórica completa	Avaliar o comportamento do modelo com o conjunto inicial mais amplo de variáveis disponíveis, preservando a estrutura completa de investimentos e atividade logística.
Cenário 2	ABCR_RODO | TKU_FERRO INV_RODO | INV_FERRO	Exclusão INV_AQUA |TX_CAMBIO - variáveis com baixa correlação com PIB (< 50%)	Estabelecer o cenário de referência do estudo, composto apenas pelas variáveis com correlação significativa com o PIB, servindo como base comparativa para os demais modelos.
Cenário 3	ABCR_RODO INV_RODO INV_FERRO	Exclusão TKU_FERRO por conveniência	Examinar o efeito do modal rodoviário (via ABCR_RODO) e dos investimentos multimodais sobre o PIB, isolando a influência específica da produtividade ferroviária (TKU_FERRO).
Cenário 4	TKU_FERRO INV_RODO INV_FERRO	Exclusão ABCR_RODO por conveniência	Investigar o impacto da produtividade ferroviária (TKU_FERRO) associada aos investimentos públicos, eliminando a atividade rodoviária (ABCR_RODO) para avaliar seu peso relativo sobre o crescimento econômico.
Cenário 5	ABCR_RODO INV_RODO	Exclusão de TKU_FERRO e INV_FERRO por conveniência	Analisar o comportamento do PIB quando o modelo é reduzido às variáveis exclusivamente rodoviárias isolando a influência conjunta desse modal.
Cenário 6	TKU_FERRO INV_FERRO	Exclusão de ABCR_RODO e INV_RODO por conveniência	Avaliar a capacidade explicativa do modal ferroviário de forma isolada sem a presença das variáveis rodoviárias.

Fonte: O autor (2025).

Com a finalidade de aprofundar a análise e identificar quais variáveis apresentam maior capacidade explicativa sobre o PIB, procedeu-se inicialmente à estimação do modelo completo representado no Cenário 1, que contempla todas as variáveis disponíveis na base de dados. Essa primeira regressão permitiu observar o comportamento conjunto dos indicadores logísticos e macroeconômicos, funcionando como ponto de partida para o refinamento subsequente do modelo.

A partir desse diagnóstico preliminar, adotou-se — por conveniência analítica e visando maior parcimônia — o critério mínimo de 50% de correlação linear entre cada variável explicativa e a variável dependente (PIB). Esse procedimento teve como objetivo concentrar a análise nas variáveis com maior relevância estatística, evitando a inclusão de indicadores com baixo poder explicativo e reduzindo o risco de inconsistências associadas à multicolinearidade ou à instabilidade dos coeficientes.

Com base nesses resultados, e considerando também uma exploração analítica mais aprofundada sobre a função de cada variável dentro da estrutura logística, foram formulados os arranjos subsequentes que compõem os Cenários 2 a 6, cada um deles representando combinações específicas de variáveis de interesse. Os resultados da análise de correlação que orientaram essa etapa estão apresentados na Tabela 3, que reúne a matriz de correlação entre todas as variáveis consideradas no estudo.

Tabela 3 - Matriz de Correlação entre as Variáveis do Modelo Econométrico

	PIB	*ABCR_ RODO*	*TKU_ FERRO*	*INV_ RODO*	*INV_ FERRO*	*INV _AQUA*	*TX_ CAMBIO*
PIB	1,0000						
ABCR_RODO	0,9554	1,0000					
TKU_FERRO	0,9214	0,8025	1,0000				
INV_RODO	0,7020	0,8068	0,4620	1,0000			
INV_FERRO	0,6976	0,7541	0,4800	0,8384	1,0000		
INV_AQUA	0,3345	0,4745	0,1123	0,7991	0,4849	1,0000	
TX_CAMBIO	0,2209	0,0427	0,4478	-0,3427	-0,1554	-0,5976	1,0000

Fonte: Adaptado de Ferramenta Análise de Dados – Correlação, Microsoft Excel 365, versão 2510 (Build 19328.20190).

A Tabela 3 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis utilizadas nos diferentes cenários econométricos. Essa etapa teve como propósito avaliar a força e o sentido das associações lineares entre os indicadores logísticos e o PIB, bem como identificar possíveis indícios de multicolinearidade que poderiam comprometer

a precisão dos coeficientes estimados nas regressões. Trata-se de um procedimento fundamental para assegurar consistência, confiabilidade e robustez às etapas subsequentes da análise econométrica.

4.3.3 Especificação Formal do Modelo

Após a estimação inicial do Cenário 1 utilizando os dados em níveis (valores absolutos), verificaram-se problemas econométricos relevantes que comprometiam a confiabilidade da especificação. O erro padrão apresentou-se excessivamente elevado, acompanhado de coeficientes com magnitudes distorcidas, valores-p inconsistentes e forte sensibilidade às escalas das variáveis, o que constituiu evidência clara de heterocedasticidade. Ademais, a presença de variáveis altamente correlacionadas entre si, especialmente entre os indicadores de investimento público e entre os indicadores de atividade logística, revelou indícios de multicolinearidade, dificultando a interpretação estatística e teórica do modelo. Diante desse quadro, e em conformidade com as melhores práticas da econometria aplicada, procedeu-se à adequação formal do modelo por meio do tratamento logarítmico das variáveis e da elaboração de múltiplos cenários alternativos.

Com a finalidade de mitigar os problemas de heterocedasticidade observados no modelo estimado em níveis, adotou-se a transformação logarítmica das variáveis. A literatura econométrica recomenda amplamente esse procedimento, pois o logaritmo natural tende a estabilizar a variância, reduzir assimetrias e melhorar a distribuição dos resíduos, contribuindo para a eficiência dos estimadores obtidos pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários. De acordo com Wooldridge (2023), modelos log-log são particularmente adequados quando as variáveis apresentam crescimento de longo prazo ou escalas significativamente distintas, enquanto Pereda e Alves (2018) ressaltam que a aplicação de transformações logarítmicas pode reduzir substancialmente a variabilidade não constante presente nas séries econômicas, resultando em estimativas mais robustas e consistentes.

Da mesma forma, para mitigar possíveis indícios de multicolinearidade entre as variáveis explicativas, optou-se pela construção de diferentes cenários econométricos, variando as combinações de variáveis incluídas em cada especificação. Essa estratégia seguiu o princípio da parcimônia, buscando identificar

modelos mais estáveis, com maior significância estatística dos coeficientes e maior aderência à teoria econômica. Tal abordagem é amplamente reconhecida na literatura aplicada, especialmente em situações em que variáveis altamente correlacionadas apresentam sobreposição de informação e prejudicam a precisão dos estimadores. Assim, a formulação de cenários alternativos permitiu isolar efeitos, reduzir redundâncias estatísticas e aprimorar a qualidade inferencial do modelo.

Nesse contexto, a especificação formal do modelo econométrico adotado segue a abordagem tradicional da regressão linear múltipla em sua forma logarítmica, na qual o PIB real, representado por $\ln(PIB_t)$, é explicado por diferentes combinações de variáveis logísticas conforme cada cenário. No Cenário 1, que representa o modelo completo após a transformação logarítmica, a relação estimada assume a forma:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(ABCR_{RODO_t}\right) + \beta_2 \ln\left(TKU_{FERRO_t}\right) + \beta_3 \ln\left(INV_{RODO_t}\right) + \beta_4 \ln\left(INV_{FERRO_t}\right) + \beta_5 \ln\left(INV_{AQUA_t}\right) + \beta_6 \ln\left(TX_{CAMBIO_t}\right) + u_t,$$

Em que $ABCR_RODO$representa o fluxo rodoviário medido pelo índice ABCR, TKU_FERRO corresponde às toneladas-quilômetro úteis do modal ferroviário, INV_ROD, INV_FERRO e INV_AQUA representam, respectivamente, os investimentos públicos federais nos modais rodoviário, ferroviário e aquaviário, TX_CAMBIO expressa a taxa de câmbio nominal e $u_t$corresponde ao termo de erro aleatório.

O Cenário 2 mantém a estrutura log-log, mas exclui as variáveis INV_AQUAe TX_CAMBIO, resultando na seguinte especificação:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln(ABCR_RODO_t) + \beta_2 \ln(TKU_FERRO_t) + \beta_3 \ln(INV_RODO_t) + \beta_4 \ln(INV_FERRO_t) + u_t.$$

O Cenário 3 restringe-se às variáveis $ABCR_RODO$, TKU_FERROe INV_RODO, apresentando a seguinte forma econométrica:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(ABCR_{RODO_t}\right) + \beta_2 \ln\left(TKU_{FERRO_t}\right) + \beta_3 \ln\left(INV_{RODO_t}\right) + u_t.$$

Já o Cenário 4 concentra-se nos determinantes ferroviários, combinando TKU_FERROcom os investimentos INV_RODOe INV_FERRO, conforme a função:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(TKU_{FERRO_t}\right) + \beta_2 \ln\left(INV_{RODO_t}\right) + \beta_3 \ln\left(INV_{FERRO_t}\right) + u_t.$$

O Cenário 5 busca testar uma formulação mais parcimoniosa centrada na atividade e nos investimentos rodoviários, sendo representado por:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(ABCR_{RODO_t}\right) + \beta_2 \ln\left(INV_{RODO_t}\right) + u_t.$$

Por fim, o Cenário 6 examina isoladamente o modal ferroviário e seus investimentos, sendo formulado como:

$$\ln(PIB_t) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(TKU_{FERRO_t}\right) + \beta_2 \ln\left(INV_{FERRO_t}\right) + u_t.$$

Essas especificações sucessivas permitem comparar efeitos marginais, elasticidades e estabilidade estatística entre diferentes conjuntos de variáveis, fornecendo uma estrutura analítica robusta para a avaliação da relação entre infraestrutura logística e crescimento econômico no Brasil.

4.4 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS REGRESSÕES DOS CENÁRIOS

A presente seção tem como objetivo apresentar e organizar os resultados obtidos a partir da estimação dos seis cenários econométricos definidos anteriormente, integrando a exposição dos resultados estatísticos com uma leitura geral de sua coerência econômica. Cada cenário foi construído a partir de diferentes combinações de variáveis logísticas, permitindo avaliar o comportamento do Produto Interno Bruto (PIB) frente a distintos recortes da infraestrutura de transportes. Inicialmente, são apresentadas as tabelas com os dados transformados em logaritmo natural e os resultados das regressões lineares múltiplas correspondentes, seguidas pela síntese dos principais indicadores estatísticos que caracterizam o desempenho global dos modelos. Essa abordagem permite identificar padrões gerais de ajuste, robustez e aderência empírica, servindo de base para a análise comparativa e a interpretação econômica aprofundadas desenvolvidas na subseção seguinte.

No Cenário 1, foram incluídas todas as variáveis explicativas disponíveis — ABCR_RODO, TKU_FERRO, INV_RODO, INV_FERRO, INV_AQUA e TX_CAMBIO — compondo o modelo mais abrangente, utilizado como ponto de partida para a

comparação entre as diferentes especificações. A seguir, apresenta-se a série histórica das variáveis que compõem esse cenário.

Tabela 4- Série Histórica das Variáveis do Cenário 1 (2000–2019)

ANO	PIB	ABCR_ RODO	TKU_ FERRO	INV_ RODO	INV_ FERRO	INV_ AQUA	TX_ CAMBIO
2000	29,2936	4,6225	25,7596	22,5974	19,5380	20,7933	0,6036
2001	29,3131	4,6729	25,8102	22,8071	19,3877	20,8150	0,8550
2002	29,3329	4,7261	25,8460	22,9682	19,4843	20,8743	1,0750
2003	29,3715	4,7316	25,9190	22,5309	19,3986	20,3332	1,1219
2004	29,4323	4,7934	26,0340	21,9021	18,6497	19,1804	1,0733
2005	29,4752	4,8042	26,1223	22,1720	19,6222	20,3924	0,8892
2006	29,5499	4,8146	26,1970	22,7849	20,3235	20,5459	0,7776
2007	29,6302	4,8648	26,2728	23,1996	20,6655	20,5869	0,6666
2008	29,7021	4,9129	26,3110	23,3165	21,0661	21,3873	0,6080
2009	29,7301	4,8852	26,2265	23,3233	21,5744	21,4740	0,6895
2010	29,8287	4,9956	26,3509	23,6767	21,6168	21,9025	0,5645
2011	29,8833	5,0553	26,4044	23,9592	22,4974	21,9791	0,5151
2012	29,9249	5,0791	26,4225	23,8285	22,0688	21,8731	0,6701
2013	29,9707	5,1100	26,4201	23,6733	21,5232	21,5556	0,7701
2014	29,9878	5,0833	26,4508	23,5552	22,3857	20,1388	0,8562
2015	29,9250	5,0195	26,5293	23,6645	22,3320	20,8312	1,2054
2016	29,9021	4,9571	26,5556	23,1077	22,0043	20,4199	1,2478
2017	29,9236	4,9666	26,6508	23,0160	21,1341	20,7509	1,1606
2018	29,9456	4,9765	26,7342	23,1901	20,6424	20,4298	1,2961
2019	29,9669	5,0163	26,6270	23,1020	20,6605	20,6811	1,3726

Fonte: O autor (2025).

Com base nesses dados, estimou-se a regressão linear múltipla em logaritmo natural, cujos resultados estão sintetizados na Tabela 5, contendo os coeficientes estimados, erros-padrão, estatísticas t e respectivos valores-p.

Tabela 5 - Regressão linear múltipla do Cenário 1

RESUMO DOS RESULTADOS	
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9935165
R-Quadrado	0,987075
R-quadrado ajustado	0,9811096
Erro padrão	0,0350778
Observações	20

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	6	1,221595223	0,203599204	165,4671857	1,65183E-11
Resíduo	13	0,015995858	0,001230451		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	14,783422	1,567969812	9,428384216	3,54624E-07	11,39602899	18,17081466	11,39602899	18,17081466
ABCR_RODO	0,7311316	0,161398972	4,529964247	0,000565449	0,382450292	1,079812851	0,382450292	1,079812851
TKU_FERRO	0,3850995	0,074224584	5,188300937	0,000174611	0,224747014	0,545451945	0,224747014	0,545451945
INV_RODO	0,0184968	0,048356143	0,382512715	0,708261796	-0,08597026	0,122963935	-0,08597026	0,122963935
INV_FERRO	0,0340198	0,020054651	1,696355689	0,113617461	-0,00930562	0,07734526	-0,00930562	0,07734526
INV_AQUA	0,0019677	0,024035208	0,08186593	0,93600036	-0,04995725	0,053892575	-0,04995725	0,053892575
TX_CAMBIO	0,0408382	0,047604807	0,857857833	0,40650933	-0,06200578	0,143682091	-0,06200578	0,143682091

Fonte: O autor (2025).

No Cenário 1 o modelo apresentou elevada qualidade estatística: o R^2 atingiu aproximadamente 0,9871 e o R^2 ajustado é de cerca de 0,9811, indicando que mais de 98% da variação do PIB pode ser explicada pelas variáveis incluídas. O erro-padrão dos resíduos permaneceu baixo (em torno de 0,0351) e a estatística F é bastante elevada (cerca de 165,47), com nível de significância inferior a 1×10^{-11}, o que confirma a alta significância global do modelo, embora à custa de menor parcimônia.

A análise dos coeficientes do Cenário 1 revela, contudo, que apenas ABCR_RODO e TKU_FERRO são estatisticamente significativos ao nível de 5%, com valores-p muito reduzidos. Os investimentos públicos (INV_RODO, INV_FERRO e INV_AQUA) e a taxa de câmbio (TX_CAMBIO) apresentam valores-p superiores a 0,10, não sendo estatisticamente diferentes de zero na especificação contemporânea adotada. Assim, apesar do elevado ajuste global, a presença de diversas variáveis não significativas limita a interpretação econômica do Cenário 1 e sugere redundâncias explicativas.

No Cenário 2, excluíram-se as variáveis INV_AQUA e TX_CAMBIO, mantendo apenas os indicadores com maior correlação em relação ao PIB e maior aderência teórica à infraestrutura logística. A série histórica utilizada nesse cenário é

apresentada a seguir, na Tabela 6. Na sequência, apresentam-se os resultados da regressão linear múltipla correspondente ao Cenário 2, na Tabela 7.

Tabela 6 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 2 (2000–2019)

ANO	PIB	ABCR_ RODO	TKU_ FERRO	INV_ RODO	INV_ FERRO
2000	29,2936	4,6225	25,7596	22,5974	19,5380
2001	29,3131	4,6729	25,8102	22,8071	19,3877
2002	29,3329	4,7261	25,8460	22,9682	19,4843
2003	29,3715	4,7316	25,9190	22,5309	19,3986
2004	29,4323	4,7934	26,0340	21,9021	18,6497
2005	29,4752	4,8042	26,1223	22,1720	19,6222
2006	29,5499	4,8146	26,1970	22,7849	20,3235
2007	29,6302	4,8648	26,2728	23,1996	20,6655
2008	29,7021	4,9129	26,3110	23,3165	21,0661
2009	29,7301	4,8852	26,2265	23,3233	21,5744
2010	29,8287	4,9956	26,3509	23,6767	21,6168
2011	29,8833	5,0553	26,4044	23,9592	22,4974
2012	29,9249	5,0791	26,4225	23,8285	22,0688
2013	29,9707	5,1100	26,4201	23,6733	21,5232
2014	29,9878	5,0833	26,4508	23,5552	22,3857
2015	29,9250	5,0195	26,5293	23,6645	22,3320
2016	29,9021	4,9571	26,5556	23,1077	22,0043
2017	29,9236	4,9666	26,6508	23,0160	21,1341
2018	29,9456	4,9765	26,7342	23,1901	20,6424
2019	29,9669	5,0163	26,6270	23,1020	20,6605

Fonte: O autor (2025).

Tabela 7 - Regressão linear múltipla do Cenário 2

RESUMO DOS RESULTADOS	
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9930816
R-Quadrado	0,9862111
R-quadrado ajustado	0,982534
Erro padrão	0,0337294
Observações	20

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	4	1,220526014	0,305131503	268,2071081	9,3451E-14
Resíduo	15	0,017065068	0,001137671		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	14,103883	1,324953908	10,64481031	2,18279E-08	11,27981061	16,92795542	11,27981061	16,92795542
ABCR_RODO	0,7059733	0,150792907	4,681740505	0,000295167	0,384565787	1,027380734	0,384565787	1,027380734
TKU_FERRO	0,4244222	0,058460775	7,259948829	2,78589E-06	0,299816042	0,549028425	0,299816042	0,549028425
INV_RODO	0,0157854	0,033890339	0,465777818	0,648065911	-0,05645018	0,088020916	-0,05645018	0,088020916
INV_FERRO	0,0296957	0,018212987	1,630468086	0,123816233	-0,00912437	0,068515755	-0,00912437	0,068515755

Fonte: O autor (2025).

O Cenário 2, manteve desempenho estatístico muito elevado: o R^2 ficou próximo de 0,9862 e o R^2 ajustado alcançou cerca de 0,9825, com erro-padrão ainda menor (aproximadamente 0,0337) e F-estatístico superior a 268, com nível de significância inferior a 1×10^{-13}. Isso indica que o modelo preserva excelente capacidade explicativa, com leve ganho de parcimônia em relação ao Cenário 1.

Em termos de significância dos coeficientes no Cenário 2, ABCR_RODO e TKU_FERRO permaneceram altamente significativos a 5%, enquanto INV_RODO e INV_FERRO continuaram não significativos, apresentando valores-p bem acima de 0,10. Dessa forma, o modelo confirma o papel central das variáveis de atividade logística, mas reforça a dificuldade de capturar efeitos contemporâneos dos investimentos públicos sobre o PIB.

O Cenário 3 utiliza a combinação ABCR_RODO, TKU_FERRO e INV_RODO, buscando avaliar conjuntamente a influência da atividade rodoviária e ferroviária, mantendo apenas o investimento rodoviário como variável de capital público. Os dados empregados nesse cenário são apresentados a seguir, na Tabela 8. Com base nessa configuração, estimou-se também o modelo log-log correspondente, sintetizado na Tabela 9.

Tabela 8 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 3 (2000–2019)

ANO	PIB	ABCR_ RODO	TKU_ FERRO	INV_ RODO
2000	29,2936	4,6225	25,7596	22,5974
2001	29,3131	4,6729	25,8102	22,8071
2002	29,3329	4,7261	25,8460	22,9682
2003	29,3715	4,7316	25,9190	22,5309
2004	29,4323	4,7934	26,0340	21,9021
2005	29,4752	4,8042	26,1223	22,1720
2006	29,5499	4,8146	26,1970	22,7849
2007	29,6302	4,8648	26,2728	23,1996
2008	29,7021	4,9129	26,3110	23,3165
2009	29,7301	4,8852	26,2265	23,3233
2010	29,8287	4,9956	26,3509	23,6767
2011	29,8833	5,0553	26,4044	23,9592
2012	29,9249	5,0791	26,4225	23,8285
2013	29,9707	5,1100	26,4201	23,6733
2014	29,9878	5,0833	26,4508	23,5552
2015	29,9250	5,0195	26,5293	23,6645
2016	29,9021	4,9571	26,5556	23,1077
2017	29,9236	4,9666	26,6508	23,0160
2018	29,9456	4,9765	26,7342	23,1901
2019	29,9669	5,0163	26,6270	23,1020

Fonte: O autor (2025).

Tabela 9 - Regressão linear múltipla do Cenário 3

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9918504
R-Quadrado	0,9837673
R-quadrado ajustado	0,9807236
Erro padrão	0,0354343
Observações	20

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	1,217501599	0,405833866	323,2209547	1,59781E-14
Resíduo	16	0,020089483	0,001255593		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	12,982021	1,189522365	10,91364166	8,03159E-09	10,46034608	15,50369561	10,46034608	15,50369561
ABCR_RODO	0,7598415	0,154566169	4,91596248	0,000155101	0,432175847	1,087507129	0,432175847	1,087507129
TKU_FERRO	0,4455583	0,059886945	7,439990361	1,40324E-06	0,318603643	0,572512948	0,318603643	0,572512948
INV_RODO	0,0556099	0,024681499	2,253100004	0,038638866	0,003287445	0,107932328	0,003287445	0,107932328

Fonte: O autor (2025).

Por sua vez, o Cenário 3, apresentou R^2 de aproximadamente 0,9838 e R^2 ajustado de 0,9807, valores ligeiramente inferiores aos do Cenário 2, mas ainda muito elevados. O erro-padrão dos resíduos situaram-se em torno de 0,0354, e a estatística F alcançou cerca de 323,22, com significância próxima de $1{,}6\times10^{-14}$. A redução do número de variáveis preservou poder explicativo, resultando em modelo bastante parcimonioso e estatisticamente robusto.

Diferentemente dos cenários anteriores, no Cenário 3 todos os coeficientes das variáveis explicativas são estatisticamente significativos a 5%. ABCR_RODO e TKU_FERRO apresentou valores-p extremamente baixos, indicando elevada relevância estatística, enquanto INV_RODO, embora com p-valor maior (cerca de 0,039), também se mostrou significativo. Isso confere ao Cenário 3 uma vantagem qualitativa importante: além de elevado ajuste global, todas as variáveis logísticas incluídas contribuem de forma estatisticamente validada para explicar o PIB.

O Cenário 4 concentra-se na dinâmica ferroviária, combinando TKU_FERRO com os investimentos INV_RODO e INV_FERRO, de modo a avaliar o papel da infraestrutura ferroviária na explicação do PIB. A série histórica utilizada é apresentada a seguir, na Tabela 10. Os resultados econométricos do Cenário 4 são apresentados na sequência, na Tabela 11.

Tabela 10 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 4 (2000–2019)

ANO	PIB	TKU_ FERRO	INV_ RODO	INV_ FERRO
2000	29,2936	25,7596	22,5974	19,5380
2001	29,3131	25,8102	22,8071	19,3877
2002	29,3329	25,8460	22,9682	19,4843
2003	29,3715	25,9190	22,5309	19,3986
2004	29,4323	26,0340	21,9021	18,6497
2005	29,4752	26,1223	22,1720	19,6222
2006	29,5499	26,1970	22,7849	20,3235
2007	29,6302	26,2728	23,1996	20,6655
2008	29,7021	26,3110	23,3165	21,0661
2009	29,7301	26,2265	23,3233	21,5744
2010	29,8287	26,3509	23,6767	21,6168
2011	29,8833	26,4044	23,9592	22,4974
2012	29,9249	26,4225	23,8285	22,0688
2013	29,9707	26,4201	23,6733	21,5232
2014	29,9878	26,4508	23,5552	22,3857
2015	29,9250	26,5293	23,6645	22,3320
2016	29,9021	26,5556	23,1077	22,0043
2017	29,9236	26,6508	23,0160	21,1341
2018	29,9456	26,7342	23,1901	20,6424
2019	29,9669	26,6270	23,1020	20,6605

Fonte: O autor (2025).

Tabela 11 - Regressão linear múltipla do Cenário 4

RESUMO DOS RESULTADOS	
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9828845
R-Quadrado	0,966062
R-quadrado ajustado	0,9596987
Erro padrão	0,0512356
Observações	20

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	1,195589747	0,398529916	151,8160939	5,78606E-12
Resíduo	16	0,042001335	0,002625083		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	10,764775	1,696153711	6,346579654	9,69977E-06	7,169089392	14,36045987	7,169089392	14,36045987
TKU_FERRO	0,6259097	0,060101905	10,41414111	1,55727E-08	0,498499376	0,753320072	0,498499376	0,753320072
INV_RODO	0,0640928	0,049036053	1,307054098	0,209668089	-0,03985901	0,168044561	-0,03985901	0,168044561
INV_FERRO	0,0483779	0,026993666	1,792194214	0,092030144	-0,00884612	0,105601907	-0,00884612	0,105601907

Fonte: O autor (2025).

No Cenário 4, verificou-se o R^2 em torno de 0,9661 e R^2 ajustado de 0,9597, com erro-padrão mais elevado (aproximadamente 0,0512) e F-estatístico de cerca de 151,82, ainda com alta significância global ($p < 1\times10^{-11}$). Observa-se, porém, perda considerável de ajuste em relação aos cenários 2 e 3, sobretudo pela ausência de ABCR_RODO.

Neste cenário, apenas TKU_FERRO ficou estatisticamente significativo a 5%, com coeficiente positivo e robusto. Os investimentos INV_RODO e INV_FERRO não alcançaram significância estatística ao nível de 5% (apenas marginalmente próximos de 10% no caso de INV_FERRO), indicando que, isolados em uma estrutura centrada no modal ferroviário, os investimentos não possuem impacto imediato claramente identificável sobre o PIB.

O Cenário 5 apresenta uma formulação mais parcimoniosa, reunindo apenas ABCR_RODO e INV_RODO para representar a estrutura rodoviária. Os dados empregados nessa especificação encontram-se a seguir, na Tabela 12. A estimação do modelo log-log correspondente ao Cenário 5 é sintetizada na Tabela 13.

Tabela 12 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 5 (2000–2019)

ANO	PIB	ABCR_ RODO	INV_ RODO
2000	29,2936	4,6225	22,5974
2001	29,3131	4,6729	22,8071
2002	29,3329	4,7261	22,9682
2003	29,3715	4,7316	22,5309
2004	29,4323	4,7934	21,9021
2005	29,4752	4,8042	22,1720
2006	29,5499	4,8146	22,7849
2007	29,6302	4,8648	23,1996
2008	29,7021	4,9129	23,3165
2009	29,7301	4,8852	23,3233
2010	29,8287	4,9956	23,6767
2011	29,8833	5,0553	23,9592
2012	29,9249	5,0791	23,8285
2013	29,9707	5,1100	23,6733
2014	29,9878	5,0833	23,5552
2015	29,9250	5,0195	23,6645
2016	29,9021	4,9571	23,1077
2017	29,9236	4,9666	23,0160
2018	29,9456	4,9765	23,1901
2019	29,9669	5,0163	23,1020

Fonte: O autor (2025).

Tabela 13 - Regressão linear múltipla do Cenário 5

RESUMO DOS RESULTADOS	
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9631244
R-Quadrado	0,9276087
R-quadrado ajustado	0,919092
Erro padrão	0,0725951
Observações	20

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	2	1,148000204	0,574000102	108,9173578	2,02925E-10
Resíduo	17	0,089590878	0,005270052		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	21,451211	0,70721123	30,33211245	3,03928E-16	19,95912529	22,94329583	19,95912529	22,94329583
ABCR_RODO	1,708367	0,179037225	9,541965408	3,06452E-08	1,330631482	2,086102534	1,330631482	2,086102534
INV_RODO	-0,005417	0,047691446	-0,11358349	0,91089858	-0,10603712	0,095203196	-0,10603712	0,095203196

Fonte: O autor (2025).

O Cenário 5 é bastante parcimonioso devido ao foco no modal, entretanto contempla menos regressores que modelos anteriores. O R^2 ficou em cerca de 0,9276 e o R^2 ajustado de 0,9191, valores ainda elevados, mas significativamente inferiores aos dos cenários anteriores. O erro-padrão cresce para aproximadamente 0,0726, e o F-estatístico, embora ainda elevado (cerca de 108,92), revela qualidade global inferior, ainda que estatisticamente significativa ($p \approx 2{,}0 \times 10^{-10}$).

Nesse caso, ABCR_RODO permaneceu altamente significativo, enquanto INV_RODO apresentou p-valor em torno de 0,91, totalmente não significativo. Dessa forma, o Cenário 5 demonstra que a atividade rodoviária por si só explica parcela relevante do PIB, mas evidencia também que investimentos rodoviários, quando analisados isoladamente, não geram impacto imediato captado pelo modelo.

Por fim, o Cenário 6 estrutura-se exclusivamente sobre o modal ferroviário, combinando TKU_FERRO e INV_FERRO, com o objetivo de avaliar sua capacidade explicativa quando considerado isoladamente em relação ao PIB. A série histórica de dados utilizada nesse cenário é apresentada a seguir, na Tabela 14. Os resultados da regressão linear múltipla do Cenário 6 são apresentados na Tabela 15.

Tabela 14 - Série Histórica das Variáveis do Cenário 6 (2000–2019)

ANO	PIB	TKU_ FERRO	INV_ FERRO
2000	29,2936	25,7596	19,5380
2001	29,3131	25,8102	19,3877
2002	29,3329	25,8460	19,4843
2003	29,3715	25,9190	19,3986
2004	29,4323	26,0340	18,6497
2005	29,4752	26,1223	19,6222
2006	29,5499	26,1970	20,3235
2007	29,6302	26,2728	20,6655
2008	29,7021	26,3110	21,0661
2009	29,7301	26,2265	21,5744
2010	29,8287	26,3509	21,6168
2011	29,8833	26,4044	22,4974
2012	29,9249	26,4225	22,0688
2013	29,9707	26,4201	21,5232
2014	29,9878	26,4508	22,3857
2015	29,9250	26,5293	22,3320
2016	29,9021	26,5556	22,0043
2017	29,9236	26,6508	21,1341
2018	29,9456	26,7342	20,6424
2019	29,9669	26,6270	20,6605

Fonte: O autor (2025).

Tabela 15 - Regressão linear múltipla do Cenário 6

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,9810394
R-Quadrado	0,9624383
R-quadrado ajustado	0,9580193
Erro padrão	0,0522922
Observações	20

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	2	1,191105079	0,59555254	217,7944457	7,6795E-13
Resíduo	17	0,046486003	0,002734471		
Total	19	1,237591082			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	12,137365	1,359437522	8,928225965	7,93849E-08	9,269202923	15,00552785	9,269202923	15,00552785
TKU_FERRO	0,6063727	0,059414031	10,20588385	1,14752E-08	0,48102005	0,731725345	0,48102005	0,731725345
INV_FERRO	0,0782708	0,014634519	5,348366559	5,32208E-05	0,047394636	0,109146909	0,047394636	0,109146909

Fonte: O autor (2025).

No Cenário 6, apresentou-se o R^2 em torno de 0,9624 e R^2 ajustado de 0,9580, com erro-padrão de aproximadamente 0,0523. O F-estatístico ficou bastante elevado (cerca de 217,79), com significância em torno de $7{,}7\times10^{-13}$, o que confirma boa qualidade global do modelo. Embora apresente menor poder explicativo que o Cenário 3, o desempenho estatístico permanece sólido.

A análise dos coeficientes do Cenário 6 mostrou que tanto TKU_FERRO quanto INV_FERRO ficaram estatisticamente significativos a 5%, com valores-p muito baixos. Esse é o único cenário em que investimento ferroviário aparece com significância contemporânea, o que indica uma relação positiva entre investimentos em ferrovias e PIB dentro da especificação adotada. No entanto, o modelo não contempla a dimensão rodoviária, o que limita sua representatividade da matriz logística brasileira como um todo, principalmente se comparado ao Cenário 3 que compreende a variável independente de atividade econômica do modal rodoviário ABCR_RODO.

A análise conjunta desses cenários evidenciou padrões relevantes. De modo geral, observa-se que as variáveis associadas à atividade logística propriamente dita — ABCR_RODO e TKU_FERRO — apresentaram significância estatística consistente nos modelos em que estão presentes, enquanto os investimentos públicos frequentemente não demonstram significância no curto prazo, resultado compatível com a literatura que aponta a existência de defasagens nos efeitos de investimentos em infraestrutura sobre o desempenho econômico. De forma complementar, a comparação entre os diferentes modelos permite observar o impacto da parcimônia: cenários com menor número de variáveis tendem a apresentar graus de liberdade maiores e, em muitos casos, estimativas mais estáveis, ainda que com leve redução no R^2 ajustado.

A avaliação da qualidade dos modelos de regressão múltipla foi realizada com base em estatísticas amplamente utilizadas na literatura econométrica. O coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) são medidas fundamentais para verificar o grau em que as variáveis independentes explicam a variabilidade da variável dependente. Conforme Wooldridge (2023), enquanto o R^2 indica a proporção total da variância explicada, o R^2 ajustado corrige esse valor considerando o número de variáveis incluídas no modelo, evitando superestimações. Além disso, o erro padrão da regressão ($\hat{\sigma}$) funciona como uma medida da dispersão média dos resíduos, sendo essencial para avaliar a precisão

das estimativas dos coeficientes. Um erro padrão menor, segundo Pereda e Alves (2018), indica maior aderência entre os valores estimados e observados.

Outro elemento essencial para a análise foi o número total de observações (n), bem como os graus de liberdade associados à Soma dos Quadrados dos Erros (gl SQE) e à Soma dos Quadrados da Regressão (gl SQR), que compõem a estrutura analítica da ANOVA na regressão múltipla. Como explicam Pereda e Alves (2018), os graus de liberdade são fundamentais para a estimação correta da variância do erro e para a realização de testes estatísticos confiáveis. Eles permitem distribuir adequadamente a variabilidade entre a parte explicada pelo modelo e a parte residual não explicada, garantindo que a comparação entre modelos seja tecnicamente válida e interpretável.

Ainda, para avaliar a significância conjunta das variáveis explicativas, empregou-se o teste F, que compara o valor F calculado com o F tabelado para os respectivos graus de liberdade do modelo. De acordo com Wooldridge (2023), o teste F permite verificar a hipótese nula de que todos os coeficientes (exceto o intercepto) são simultaneamente iguais a zero, o que indicaria ausência de poder explicativo do modelo. A interpretação é complementada pelo F de significância (valor-p do teste F), que mede a probabilidade de se obter um valor de F igual ou maior ao observado caso a hipótese nula seja verdadeira. Valores muito baixos, como aqueles encontrados nos cenários analisados (da ordem de 10^{-11} a 10^{-14}), indicam forte rejeição da hipótese nula, sugerindo que os modelos apresentam significância estatística global, conforme preconizado pela literatura econométrica (Wooldridge, 2023; Pereda; Alves, 2018).

4.5 SÍNTESE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A presente seção sintetiza e discute os resultados obtidos nos seis cenários econométricos estimados, integrando a análise estatística, interpretação econômica e confronto com as hipóteses e objetivos da pesquisa. A partir das evidências apresentadas, busca-se compreender como diferentes combinações de variáveis logísticas explicam o comportamento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, bem como identificar quais indicadores apresentam maior consistência estatística,

relevância econômica e aderência aos fundamentos teóricos da infraestrutura logística.

4.5.1 Avaliação comparativa dos cenários econométricos

Esta subseção tem por objetivo realizar a avaliação comparativa dos seis cenários econométricos estimados, com ênfase nos critérios de qualidade do ajuste, parcimônia, significância estatística dos coeficientes e coerência econômica das especificações adotadas. A análise busca identificar quais combinações de variáveis logísticas apresentam maior capacidade explicativa sobre o comportamento do Produto Interno Bruto (PIB), bem como avaliar as diferenças estruturais entre os modelos estimados. A partir dessa comparação, estabelece-se a base empírica para a seleção do cenário mais adequado à interpretação econômica dos resultados, considerando simultaneamente a robustez estatística e a aderência às características da matriz logística brasileira.

Comparando os seis cenários, observa-se que todos apresentam alto poder explicativo e significância global, porém diferem em parcimônia e na significância de seus coeficientes. O Cenário 6 é o que apresenta todos os regressores significativos, mas restringe-se apenas ao modal ferroviário, deixando de contemplar a forte presença do modal rodoviário na economia brasileira. O Cenário 3, por sua vez, combina alto R^2 ajustado, erro-padrão reduzido, parcimônia e significância estatística de todas as variáveis incluídas, além de contemplar simultaneamente atividade rodoviária, produtividade ferroviária e investimentos rodoviários. Por esses motivos, o Cenário 3 é adotado como especificação de referência para a interpretação econômica dos resultados.

No contexto do Cenário 3, as elasticidades estimadas mostram que a produtividade ferroviária (TKU_FERRO) e a atividade rodoviária (ABCR_RODO) são os principais determinantes logísticos do PIB. O coeficiente associado ao ABCR_RODO (aproximadamente 0,76) indica que um aumento de 1% no fluxo de veículos pesados nas rodovias pedagiadas está associado a uma elevação de cerca de 0,76% no PIB, evidenciando que o tráfego rodoviário acompanha de forma intensa o ciclo econômico. Já o coeficiente do TKU_FERRO (cerca de 0,45) aponta que um aumento de 1% na produtividade ferroviária resulta em acréscimo

aproximado de 0,45% no PIB, sugerindo que a ferrovia, embora menos predominante na matriz de transportes, exerce papel estratégico na sustentação do crescimento, sobretudo pelo escoamento de grandes volumes de carga.

O coeficiente associado ao INV_RODO, ainda que de magnitude relativamente baixa (cerca de 0,056), é estatisticamente significativo e positivo, indicando que incrementos nos investimentos públicos rodoviários têm impacto favorável sobre o PIB. Entretanto, a elasticidade reduzida sugere que esses efeitos são modestos no curto prazo, possivelmente devido a defasagens na realização das obras, à concentração de investimentos em períodos de baixo crescimento econômico e à dificuldade de mensurar o momento exato em que determinado projeto se traduz em ganho efetivo de produtividade. Assim, embora os investimentos rodoviários apresentem impacto estatisticamente relevante, sua eficiência marginal imediata parece limitada, reforçando a interpretação de que seus efeitos principais se manifestam ao longo do tempo.

De forma geral, o Cenário 3 configura-se como modelo econometricamente mais robusto entre os demais: apresenta R^2 ajustado elevado, F-estatístico expressivo, valores-p muito baixos para os principais coeficientes e ausência de problemas severos de multicolinearidade ou heterocedasticidade remanescente. Ainda que não se possa descartar completamente a possibilidade de autocorrelação temporal, fenômeno comum em séries macroeconômicas anuais, as evidências disponíveis indicam um modelo estável e confiável para fins de interpretação econômica, justificando sua escolha como base para as implicações discutidas na subseção seguinte.

A fim de consolidar os principais indicadores estatísticos dos seis cenários analisados, apresenta-se a seguir o sumário estatístico dos modelos estimados, no qual foram reunidos os valores de R^2, R^2 ajustado, erro-padrão dos resíduos ($\hat{\sigma}$), número de observações, graus de liberdade do SQE e do SQR, estatísticas F (Ft e Fcalc), nível de significância do teste F e a indicação da existência ou não de coeficientes estatisticamente significativos em cada especificação.

Tabela 16 - Sumário estatístico da regressão dos cenários

Cenários	*R^2*	*R^2 aj.*	*$\hat{\sigma}$*	*n*	*gl SQE*	*gl SQR*	*Ft*	*Fcalc*	*F signif.*	*Regressor com significância estatística?*
Cenário 1	0,987	0,981	0,0351	20	6	13	3,604	165,47	$1,65 \times 10^{-11}$	Sim
Cenário 2	0,986	0,983	0,0337	20	4	15	3,804	268,21	$9,34 \times 10^{-14}$	Sim
Cenário 3	0,984	0,981	0,0354	20	3	16	4,077	323,22	$1,59 \times 10^{-14}$	Sim
Cenário 4	0,966	0,960	0,0512	20	3	16	4,077	151,82	$5,78 \times 10^{-12}$	Sim
Cenário 5	0,928	0,919	0,0726	20	2	17	4,619	108,92	$2,02 \times 10^{-10}$	Sim
Cenário 6	0,962	0,958	0,0523	20	2	17	4,619	217,79	$7,67 \times 10^{-13}$	Sim

Fonte: O autor (2025).

A partir dessas informações, observa-se que todos os modelos apresentaram níveis elevados de explicação da variação do PIB, com indicadores robustos de significância estatística global. A análise comparativa dos cenários permite verificar não apenas a consistência dos resultados, mas também as diferenças de desempenho decorrentes da composição das variáveis explicativas, possibilitando identificar as especificações mais adequadas para a interpretação dos efeitos da infraestrutura logística sobre o crescimento econômico brasileiro.

De maneira geral, todos os cenários apresentaram coeficientes de determinação elevados (entre 0,9276 e 0,9870) e valores igualmente altos para o R^2 ajustado (entre 0,9190 e 0,9825), sugerindo boa capacidade explicativa dos modelos. No entanto, o erro-padrão dos resíduos variou conforme a inclusão de variáveis adicionais: modelos mais parcimoniosos, como os Cenários 5 e 6, exibiram valores ligeiramente mais elevados em comparação aos cenários mais completos, o que é esperado, dado o menor número de variáveis explicativas disponíveis para capturar variações no PIB.

As regressões utilizam o mesmo número de observações (n = 20), de modo que as diferenças entre os graus de liberdade decorrem exclusivamente da quantidade de variáveis incluídas em cada modelo. Os graus de liberdade associados ao SQE diminuem à medida que são adicionadas mais variáveis explicativas, enquanto os graus de liberdade do SQR aumentam conforme o modelo se torna mais parcimonioso. Essa estrutura influencia diretamente a precisão dos estimadores e a magnitude da estatística F, tornando modelos mais enxutos potencialmente mais eficientes sob amostras pequenas, como é o caso deste estudo.

A comparação entre a estatística F calculada e o valor crítico da distribuição F revela que, em todos os cenários, Fcalc supera Ft com ampla margem, indicando que cada modelo é globalmente significativo ao nível de 5%. Isso implica rejeição da hipótese nula de que todos os coeficientes são iguais a zero, garantindo que há pelo menos um regressor estatisticamente significativo em cada especificação. Esse resultado é consistente com a presença de coeficientes significativos observados em todas as regressões.

Por fim, o nível de significância associado ao teste F (F de significação) reforça a validade global dos modelos estimados. Os valores extremamente reduzidos (da ordem de 10^{-10} a 10^{-14}) denotam alta significância estatística, revelando que a probabilidade de os resultados terem ocorrido por acaso é praticamente nula. Dessa forma, todos os cenários apresentam evidências suficientes de que as variáveis logísticas, tomadas em conjunto, explicam uma parcela estatisticamente relevante da variação do PIB.

A consolidação desses resultados permite avançar, na seção seguinte, para uma análise interpretativa mais profunda, na qual serão discutidos os impactos econômicos observados, as diferenças entre os cenários, a força explicativa dos modais e a contribuição efetiva da infraestrutura logística para o crescimento econômico brasileiro.

4.5.2 Implicações econômicas dos resultados para a infraestrutura logística no Brasil

Adotando o Cenário 3 como referência, por apresentar combinação equilibrada entre poder explicativo, parcimônia e significância de todos os coeficientes, os resultados evidenciaram que a infraestrutura logística brasileira exerceu influência significativa sobre o crescimento econômico, sobretudo por meio da atividade rodoviária e da produtividade ferroviária. A elevada elasticidade do ABCR_RODO confirma que o modal rodoviário acompanhou de perto o ciclo econômico: em períodos de expansão, o aumento do fluxo de veículos pesados nas rodovias reflete maior circulação de mercadorias, enquanto, em momentos de desaceleração, o recuo desse índice sinaliza retração na atividade produtiva. Esse comportamento reforça o papel central das rodovias como sustentáculo da economia

brasileira, ao mesmo tempo em que expõe a vulnerabilidade estrutural decorrente da excessiva dependência desse modal.

A elasticidade positiva e estatisticamente robusta do TKU_FERRO revelou que a produtividade ferroviária constitui um dos fatores logísticos mais importantes para o crescimento econômico. O transporte de grandes volumes de grãos, minérios e insumos industriais por longas distâncias, com menor custo unitário, contribui para reduzir o “custo Brasil” e ampliar a competitividade das exportações. Os resultados sugerem que, sempre que a ferrovia consegue expandir sua capacidade e eficiência, há ganhos expressivos para o PIB. Isso reforça a necessidade de consolidar uma agenda de investimentos voltada à modernização, ampliação e integração da malha ferroviária, de modo a explorar plenamente seu potencial como eixo estruturante do sistema logístico nacional.

Os investimentos rodoviários, embora apresentem coeficiente positivo e significativo no Cenário 3, exibem elasticidade relativamente baixa, o que indicou impacto limitado no curto prazo. Essa evidência é compatível com diferentes interpretações econômicas. Em primeiro lugar, a teoria de retornos decrescentes sugere que, em uma malha rodoviária já amplamente expandida, investimentos adicionais tendem a gerar ganhos marginais menores de produtividade, especialmente quando não acompanhados de melhorias de gestão, regulação e integração intermodal. Em segundo lugar, os investimentos em infraestrutura geralmente apresentam forte defasagem temporal: obras de grande porte exigem anos até sua conclusão, de modo que seus efeitos sobre o PIB podem ocorrer muito além do período imediatamente analisado pelas regressões contemporâneas.

A análise das elasticidades estimadas no Cenário 3 evidenciou diferenças relevantes na sensibilidade do Produto Interno Bruto (PIB) em relação às variáveis logísticas consideradas. Os resultados indicaram que um aumento de 1% nos investimentos rodoviários (INV_RODO) está associado a uma elevação aproximada de 0,05% no PIB, revelando um impacto positivo, porém de baixa magnitude no curto prazo.

Em contraste, a produtividade ferroviária (TKU_FERRO) apresentou elasticidade significativamente superior, de cerca de 0,44%, indicando que ganhos marginais nesse indicador resultam em efeitos econômicos substancialmente mais expressivos. A maior sensibilidade observada refere-se à atividade rodoviária (ABCR_RODO), cuja elasticidade estimada em aproximadamente 0,75% evidenciou

que variações no fluxo de veículos pesados respondem de forma intensa às oscilações da atividade econômica, configurando-se como o principal canal de transmissão logística do crescimento no modelo analisado.

Sob a ótica econômica, essas diferenças de sensibilidade refletem tanto a estrutura da matriz de transportes brasileira quanto a natureza dos efeitos captados pela especificação econométrica. A elevada resposta do PIB à atividade rodoviária reforça o caráter predominantemente reativo desse indicador, que acompanha de perto o nível de produção e circulação de mercadorias, funcionando como um termômetro da dinâmica econômica agregada.

A elasticidade intermediária da produtividade ferroviária, por sua vez, sugere que ganhos de eficiência nesse modal possuem maior capacidade de gerar efeitos estruturais, ao reduzir custos logísticos e ampliar a competitividade sistêmica, mesmo com participação relativamente menor na matriz de transportes. Já a baixa elasticidade dos investimentos rodoviários indica que seus impactos econômicos não se manifestaram de forma imediata, refletindo tanto defasagens temporais inerentes à infraestrutura quanto limitações do indicador em captar a qualidade e a efetividade dos projetos realizados, reforçando a distinção entre variáveis de fluxo e variáveis de caráter estrutural no processo de crescimento econômico.

Além disso, há elementos institucionais e políticos que podem reduzir a eficiência dos investimentos rodoviários. A literatura sobre economia do setor público destaca a possibilidade de alocação ineficiente e captura política de recursos, com priorização de projetos de baixo retorno econômico em detrimento de corredores estratégicos. Nesse contexto, parte dos investimentos pode não se converter em ganhos efetivos de produtividade, seja pela baixa qualidade das obras, seja pela ausência de manutenção sistemática. Soma-se a isso o fato de que, no curto prazo, grandes obras tendem a aumentar custos logísticos, devido a interdições, desvios e congestionamentos, antes que seus benefícios sejam plenamente perceptíveis.

Outro ponto relevante diz respeito ao efeito de substituição entre investimento público e privado. Em determinadas conjunturas, a ampliação do investimento estatal pode coincidir com retração de investimentos privados em infraestrutura e logística, resultando em impacto líquido reduzido sobre o PIB. Ademais, o indicador de investimento utilizado nas regressões registra o volume financeiro empregado, mas não capta diretamente a qualidade, a eficiência ou o grau de execução física das obras. Assim, parte do “baixo” coeficiente estimado pode refletir limitações

estatísticas da série, que não distingue entre investimentos altamente produtivos e gastos com baixa efetividade.

Diante disso, o coeficiente relativamente modesto dos investimentos rodoviários no Cenário 3 não implica, necessariamente, que a infraestrutura rodoviária não contribua para o PIB. Significa que, no período analisado, os investimentos ocorreram em contextos de baixo crescimento, apresentaram efeito defasado, foram marcados por ineficiências e ainda geraram custos de curto prazo que não se traduziram imediatamente em ganhos mensuráveis de produtividade. Assim, o modelo capta sobretudo a variação de curto prazo associada à atividade dos modais — representada pelo ABCR_RODO e pelo TKU_FERRO —, enquanto os investimentos públicos aparecem como condicionantes estruturais de longo prazo, pouco visíveis na especificação contemporânea adotada.

Por fim, é importante destacar que, embora o Cenário 6 apresente todos os seus regressores significativos, ele se restringe exclusivamente ao modal ferroviário, deixando de contemplar a centralidade do modal rodoviário na matriz de transportes brasileira. A escolha do Cenário 3 como referência decorre justamente do fato de combinar significância estatística em todas as variáveis com uma representação mais completa da realidade logística nacional, ao integrar simultaneamente atividade rodoviária, produtividade ferroviária e investimentos rodoviários. Desse modo, as implicações econômicas extraídas deste estudo ofereceram um retrato mais abrangente da relação entre infraestrutura logística e crescimento econômico no Brasil.

No que se refere à articulação com os objetivos da pesquisa, os resultados obtidos contribuíram diretamente para o objetivo específico de identificar os principais indicadores econômicos, com base na contabilidade social, que permitam analisar a relação entre infraestrutura logística e crescimento econômico. As evidências mostram que o PIB responde de forma significativa à atividade rodoviária e à produtividade ferroviária, confirmando que esses indicadores são fundamentais para a análise da dinâmica logística brasileira. A inclusão dos investimentos como variáveis explicativas, ainda que com impactos menos imediatos, complementa esse quadro ao revelar o papel estrutural dos gastos públicos na formação do estoque de capital de transporte.

Da mesma forma, o objetivo de mensurar a contribuição da logística para o crescimento econômico por meio de uma análise econométrica fundamentada em

dados relevantes é plenamente atendido. A construção dos cenários, a estimação dos modelos em logaritmo natural e a interpretação das elasticidades permitiram quantificar o efeito marginal de cada componente logístico sobre o PIB, oferecendo resultados consistentes com a literatura internacional e com a realidade brasileira. Assim, o estudo demonstra, de forma empírica, que a infraestrutura logística não apenas acompanha o ciclo econômico, mas também o influencia de maneira significativa, reforçando a importância de políticas de longo prazo voltadas à expansão, integração e modernização dos modais de transporte no país.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como propósito analisar de que forma a infraestrutura logística brasileira influencia o crescimento econômico nacional, considerando o papel dos principais modais de transporte e seus condicionantes estruturais. A importância do tema decorre da centralidade da logística para a competitividade sistêmica do país, sobretudo em uma economia de dimensões continentais, marcada por forte dependência do modal rodoviário e por décadas de investimentos insuficientes em infraestrutura de transporte. Assim, compreender empiricamente como os diferentes componentes logísticos se relacionam com o desempenho do PIB contribui para elucidar gargalos, orientar políticas públicas e reforçar a necessidade de planejamento integrado de longo prazo.

O objetivo geral — analisar a relação entre infraestrutura logística e o crescimento econômico brasileiro no período de 2000 a 2019, a partir de indicadores selecionados dos modais rodoviário, ferroviário e aquaviário — foi plenamente atendido. A estratégia metodológica, baseada na construção de diferentes cenários econométricos e na aplicação de regressões do tipo log-log, permitiu mensurar elasticidades, testar a significância das variáveis e identificar quais componentes logísticos apresentaram maior relevância explicativa sobre o PIB.

Os objetivos específicos também foram alcançados ao longo do desenvolvimento do trabalho. Primeiramente, foi possível compreender a dinâmica dos modais logísticos no país, revisando a literatura especializada e os principais diagnósticos institucionais, o que permitiu contextualizar a evolução, limitações e potencialidades estruturais da infraestrutura nacional. Em seguida, foram identificados os indicadores econômicos relevantes, seguindo a lógica da contabilidade social e a disponibilidade de séries temporais consistentes. Esse processo incluiu o exame detalhado de produtividade modal (TKU), atividade rodoviária (ABCR), investimentos públicos e variáveis macroeconômicas de apoio, como a taxa de câmbio.

Posteriormente, o trabalho estruturou um conjunto diversificado de cenários econométricos, de modo a testar diferentes combinações de variáveis explicativas e avaliar a robustez de modelos alternativos. Por fim, a etapa econométrica permitiu mensurar empiricamente a contribuição logística para o crescimento econômico, destacando a relevância do fluxo rodoviário e, sobretudo, da produtividade

ferroviária, ao passo que evidenciou a baixa significância dos investimentos públicos no curto prazo.

Em relação ao problema de pesquisa — em que medida a infraestrutura logística influencia o crescimento econômico medido pelo PIB entre 2000 e 2019 —, os resultados apontam que a influência existe, é estatisticamente significativa e se manifesta principalmente por meio da produtividade dos modais e da intensidade de uso das redes de transporte, e não necessariamente pelos investimentos públicos realizados no período. Tais achados reforçam a compreensão de que, embora a infraestrutura seja um determinante estrutural do crescimento, sua contribuição depende de execução eficiente, continuidade dos investimentos e integração entre modais, fatores historicamente frágeis no contexto brasileiro.

À luz dos resultados obtidos por meio da análise econométrica e da discussão desenvolvida ao longo deste estudo, torna-se possível avaliar de forma objetiva as hipóteses formuladas inicialmente. A primeira hipótese, que pressupunha que a infraestrutura logística brasileira exerce influência positiva sobre o crescimento econômico, apresentando capacidade explicativa relevante sobre o PIB, foi confirmada. Os modelos estimados evidenciaram que variáveis representativas da atividade e da produtividade logística apresentam significância estatística e coeficientes economicamente relevantes, indicando que a infraestrutura logística possui efetiva capacidade explicativa sobre o desempenho do PIB no período analisado.

A segunda hipótese, segundo a qual o aumento da produtividade e da atividade econômica dos modais logísticos, especialmente ferroviário e rodoviário, impacta positivamente o PIB, também foi confirmada. Os resultados mostraram que indicadores associados à intensidade do transporte rodoviário e, sobretudo, à produtividade do modal ferroviário apresentaram elasticidades positivas e estatisticamente significativas, reforçando o papel desses modais como vetores fundamentais do crescimento econômico. Tal evidência empírica destaca que não apenas a existência da infraestrutura, mas seu nível de utilização e eficiência operacional, são determinantes para a expansão do produto.

A terceira hipótese, que sugeria que os investimentos públicos em infraestrutura logística tendem a influenciar o PIB, porém com efeitos predominantemente de médio e longo prazo, não se manifestando plenamente no curto prazo, foi parcialmente confirmada. Embora a literatura aponte a relevância

estrutural do investimento público para o crescimento econômico, os resultados econométricos indicaram baixa significância estatística dessas variáveis nos modelos de curto prazo utilizados neste estudo. Esse resultado sugere a presença de defasagens temporais entre o investimento realizado e seus impactos efetivos sobre o produto, corroborando a interpretação de que os efeitos dos investimentos em infraestrutura logística não são imediatos.

Por fim, a quarta hipótese, que postulava que a taxa de câmbio afeta a dinâmica logística e comercial do país, não foi confirmada empiricamente. As estimativas indicaram ausência de relevância estatística dessa variável nos modelos analisados, sugerindo que, apesar de sua plausibilidade teórica, sua influência sobre o PIB não se manifestou de forma significativa no período considerado. Assim, a taxa de câmbio não se mostrou um determinante direto do crescimento econômico, atuando, quando presente, apenas como um fator condicionante indireto.

Dessa forma, a análise das hipóteses reforça a conclusão de que a infraestrutura logística exerce papel central no crescimento econômico brasileiro, sendo sua contribuição mais fortemente associada à produtividade e à eficiência operacional dos modais do que ao volume de investimentos públicos realizados no curto prazo.

Este estudo apresenta, contudo, limitações inerentes à disponibilidade e à qualidade dos dados oficiais. A primeira refere-se às diferenças de periodicidade e atualização das séries: algumas variáveis possuem informações até 2019, enquanto outras têm última atualização em 2017 ou apresentam lacunas estruturais, como é o caso do TKU aquaviário, cuja ausência de dados para 2000–2009 inviabilizou sua inclusão no modelo econométrico. Além disso, certas métricas relevantes para a literatura — como custos logísticos, qualidade da infraestrutura e nível de manutenção — não possuem séries históricas contínuas e metodologicamente padronizadas. Outra limitação diz respeito ao horizonte temporal: embora vinte anos configurem janela robusta, não é possível capturar efeitos de média e longa duração associados a grandes ciclos de investimento. Ainda assim, tais limitações não comprometem a validade do estudo, mas indicam espaço para refinamentos futuros.

Com base nos resultados obtidos, duas sugestões de pesquisas futuras mostram-se particularmente relevantes. A primeira consiste em desenvolver um modelo econométrico expandido, incorporando novas variáveis relacionadas à qualidade da infraestrutura (como indicadores de condição física, velocidade média

e nível de manutenção), caso séries mais completas se tornem disponíveis. Isso permitiria isolar efeitos qualitativos dos investimentos públicos e distinguir entre expansão de capacidade e conservação da malha existente.

A segunda consiste em investigar modelos dinâmicos que capturem defasagens mais longas dos investimentos, tais como modelos ARDL, VAR/VECM ou regressões com múltiplas defasagens, permitindo avaliar impactos acumulados do investimento ao longo do tempo e reduzindo a limitação observada em modelos de curto prazo. Essas extensões complementariam, de forma convergente, os achados deste trabalho sem invalidar suas conclusões.

Assim, conclui-se que a lógica econômica que conecta infraestrutura logística ao crescimento brasileiro permanece válida e empiricamente observável, ainda que condicionada por limitações históricas de planejamento, execução e continuidade dos investimentos públicos. Os resultados contribuem para reforçar o papel estratégico da logística na produtividade nacional e oferecem subsídios para o aprimoramento das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento da infraestrutura de transporte no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. **Melhores Rodovias do Brasil – Histórico do Índice ABCR**. São Paulo, s.d. Disponível em: <https://melhoresrodovias.org.br/indice-abcr/\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

ALBUQUERQUE, Elaine Bento; DIAS, Renan Assis; CARMO, Rafael Matos do; MARIA AUGUSTA, Maria Augusta; PRATES, Glaucia Aparecida. **Infraestrutura logística**: a principal referência do chamado custo Brasil para o Agronegócio. Anais do IV Simpósio em Gestão do Agronegócio: Empreendedorismo no Agronegócio. Joboticabal, SP: Unesp, SGagro e G.O. Agro, 2019. Disponível em: <https://sistema.sgagro.org/anais/3/pdf/151>. Acesso em: 21 maio 2025.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **ANTAQ disponibiliza estudo que atualiza estimativa de demanda por transporte aquaviário em 2021**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antaq/pt-br/noticias/2023/antaq-publica-estudo-que-atualiza-estimativa-de-demanda-por-transporte-aquaviario-em-2021\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

AVELLA, Denise da Costa; SANTOS, Orion Riyan Silva dos; BAPTISTA, Jose Abel de Andrade. **Os impactos do modal ferroviário no sistema produtivo no Brasil.** Anais do XIII FATECLOG: Os impactos das novas demandas pós-pandemia nos sistemas logísticos das organizações. Mauá, SP: FATEC, 2022. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2022/203-330-1-RV.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

BARBOSA, José Eduardo do Couto; LIMA, Sarah Gabriela Cardoso de; CHAGAS, Everton Luiz da. **Estudo sobre a evolução dos processos logísticos no Brasil.** E-Locução: Revista Científica da FAEX, Extrema, v. 1, n. 2, p. 115-122, dez. 2012. DOI: 10.57209/e-locucao.v1i02.99. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucao/article/view/99>. Acesso em: 18 ago. 2025.

BCB - BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do cidadão – Correção de valores**. Brasília, s.d. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice\>. Acesso em: 03 nov. 2025.

BRAGA, Márcio Bobik; PAULANI, Leda Maria. **A nova contabilidade social:** uma introdução à macroeconomia. 5. ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2020. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788571441118/epubcfi/6/2[%3Bvnd.vst.idref%3DANCS-Cap00]!/4[ANCS-Cap00]/2/2%4051:2>. Acesso em: 1º jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Anuário Estatístico de Transportes – 2010 a 2020.** Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/publicacoes-1/Anuario%20Estatistico%20de%20Transportes%20-%202010%20-%202020.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

_____. **Plano Nacional de Logística:** PNL 2025. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/planejamento-integrado-de-transportes/politica-e-planejamento/publicacoes/pnl2025.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

CAXITO, Fabiano**. Logística: um enfoque prático.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2019. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788571440043/pageid/0>. Acesso em: 27 maio 2025.

CIA - CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY**. The World Factbook – Brazil,** 2025. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/brazil>. Acesso em: 8 dez. 2025.

_____. **The World Factbook – China,** 2025. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/china>. Acesso em: 8 dez. 2025.

_____. **The World Factbook – United States,** 2025. Disponível em: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/united-states>. Acesso em: 8 dez. 2025.

CNT. **2.6.5. Evolução da produção efetiva por concessionária (TKU) – 2006–2020**. Brasília, 2022. Base de dados. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/Ferroviario/2-6-/Transporte-de-cargas\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

_____.**Pesquisa CNT de Rodovias 2024**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/11/Pesquisa-CNT-de-Rodovias-2024.pdf\>. Acesso em: 8 dez. 2025.

DIAS, Marco Aurélio**. Introdução à logística**: fundamentos, práticas e integração. São Paulo: Editora Atlas Ltda, 2025. 3ª Imp. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597009927/epubcfi/6/26[%3Bvnd.vst.idref%3Dchapter05]!/4/2/4%4053:0>. Acesso em: 19 mar. 2025.

FALL, Falilou; FIALHO, Priscilla; HUANG, Tony. **Scaling-up infrastructure investment to strengthen sustainable development in Brazil.** Paris: OECD, 2024. (OECD Economics Department Working Papers, n. 1790). Disponível em: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/01/scaling-up-infrastructure-investment-to-strengthen-sustainable-development-in-brazil_9488836f/47d65b26-en.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2025.

GAMA, Kelly Nara de Carvalho; SILVA, Larissa Renata da; COSTA, Thaís Stephanie. **Integração dos modais de transportes frente ao desenvolvimento econômico brasileiro.** Research, Society and Development, Itajubá, 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662200046/html/>. Acesso em: 06 jul. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em: 20 Maio 2025.

GOMIDE, Alexandre de Ávila; PEREIRA, Ana Karine. **Os desafios da governança da política de infraestrutura no Brasil: aspectos políticos e administrativos da execução do investimento em projetos de grande vulto.** Brasília: IPEA, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325273920_OS_DESAFIOS_DA_GOVERNANCA_DA_POLITICA_DE_INFRAESTRUTURA_NO_BRASIL_ASPECTOS_POLITICOS_E_ADMINISTRATIVOS_DA_EXECUCAO_DO_INVESTIMENTO_EM_PROJETOS_DE_GRANDE_VULTO>. Acesso em: 06 out. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 6 – Produto Interno Bruto, Produto Interno Bruto per capita, população residente e deflator – 1996–2023**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/comercio/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios – Séries históricas**. Rio de Janeiro, s.d. Base de dados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?edicao=29720&t=series-historicas\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Transporte Ferroviário de Cargas no Brasil: Gargalos e Perspectivas para o Desenvolvimento Econômico e Regional.** Brasília, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/5f3c3e6a-3e0b-4f2d-aedf-306a05a06020/content\>. Acesso em: 06 out. 2025.

_____. **Desafios ao desenvolvimento brasileiro**. Brasília: IPEA, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.mdh.gov.br/jspui/bitstream/192/1061/1/desafios.pdf>. Acesso em: 06 out. 2025.

_____.**Taxa de câmbio dólar comercial para compra.** Brasília, 2025. Base de dados. Disponível em: <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?module=M&serid=38590\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

LAUTERT, Juliano; OLIVEIRA, Luciane Rosa de; ANTONOVZ, Tatiane. **Contabilidade social**. Porto Alegre: Sagah, 2018. Disponível em:

<https://minhabiblioteca.com.br/catalogo/livro/78216/contabilidade-social/>. Acesso em: 1º jun. 2025.

LEAL, Ceci. **Top 5 – Maiores malhas rodoviárias do mundo**. DW Brasil, 2012. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/top-5-maiores-malhas-rodovi%C3%A1rias-do-mundo/a-16384231\>. Acesso em: 15 set.. 2025.

MACHADO, Gerson Samuel. **Panorama da evolução na logística:** o caso brasileiro. AYA Editora, 2022. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/2022/01/L103C5.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MACHADO, Luiz Kennedy Cruz; SANTOS, Antônio Carlos dos. **Fatores que impactam o desempenho logístico e suas relações com os aspectos econômicos e socioculturais**. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração* (RPCA), Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 139-158, abr./jun. 2021. DOI: 10.12712/rpca.v15i2.47774. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4417/441768343010/html/>. Acesso em: 06 out. 2025.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Investimentos e Inversões Financeiras – Série Histórica**. Brasília, 2020. Base de dados. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/investimentos-inversoes-financeiras-serie-historica\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

_____.**Resumo PNL 2035 – Plano Nacional de Logística**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2021/10/imagens/resumoExecutivo_PNL2035_ed_105112021.pdf\>. Acesso em: 08 dez. 2025.

MÜLLER, Clóvis André. **Aspectos gerais dos modais de transporte para escoamento da produção de soja do estado do Rio Grande do Sul através do Porto de Rio Grande - RS.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Faculdade Horizontina – FAHOR, Horizontina, RS. Disponível em: <https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Producao/2017/ClovisAndreMuller.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

OLIVEIRA, Julya Motta de; MADEIRA, Carolina Lordes; SERVARE JUNIOR, Marcos Wagner Jesus. **Avaliação das vantagens e progressões do transporte aquaviário**: uma revisão bibliométrica**.** *Brazilian Journal of Production Engineering*, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/384664559_Avaliacao_das_vantagens_e_progressoes_do_transporte_aquaviario_uma_revisao_bibliometrica>. Acesso em: 28 maio 2025.

PARRA, Daniela Campanholle; MOREIRA, Evelin Eloiza Lima; ROCHA, Ana Maria Continente da; MORAES, Gabrielle Santos; CONCEIÇÃO, Gustavo Lourenço. **A intermodalidade e multimodalidade logística no agronegócio nacional**: uma síntese da literatura. Anais do Congresso de Logística, 2021. Disponível em:

<https://fateclog.com.br/anais/2021/parte4/77-67-1-RV.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

PAURA, Glávio Leal. **Fundamentos da Logística**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2012. Disponível em: <https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/02._fundamentos_da_logistica_autor_glavio_leal_paura.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

PEREDA, Paula Carvalho; ALVES, Denisard. **Econometria aplicada**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595156012/epubcfi/6/2[%3Bvnd.vst.idref%3Dcapa.xhtml]!/4/2/2/4%4051:40>. Acesso em: 1º jun. 2025.

PEREIRA, João Carlos de Souza. **Infraestrutura logística e necessidades do Exército em cenários de conflitos armados em áreas de faixa de fronteira:** o caso do Arco Norte da Região Amazônica. Revista de Estudos Estratégicos, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335402223_Infraestrutura_Logistica_e_necessidades_do_Exercito_em_cenarios_de_Conflitos_Armados_em_areas_de_Faixa_de_Fronteira_o_caso_do_Arco_Norte_da_Regiao_Amazonica>. Acesso em: 21 maio 2025.

PESSOA, Thiago Aureliano. **Logística brasileira**: um estudo teórico do modal dutoviário. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/2020/1/TAP08092017.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

PRODANOV, Cícero Cláudio; FREITAS, Emiliano Antônio. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

SANTOS, Adauto Rocha dos; SILVA, Helder Antônio da. **Modais de transporte rodoviário e ferroviário:** comparativo de viabilidade para escoamento da carga de uma multinacional produtora de cimento e agregados. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284169369_MODAIS_DE_TRANSPORTE_RODOVIARIO_E_FERROVIARIO_COMPARATIVO_DE_VIABILIDADE_PARA_ESCOAMENTO_DA_CARGA_DE_UMA_MULTINACIONAL_PRODUTORA_DE_CIMENTO_E_AGREGADOS/link/564dab2a08ae1ef9296abf93/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19>. Acesso em: 27 maio 2025.

SANTOS, Angelica da Silva; BAPTISTA, Jose Abel de Andrade. **Gargalos da infraestrutura logística do Brasil e o impacto no comércio exterior**. Revista GIT

– Gestão, Inovação e Tecnologia, 2023. Disponível em: <https://revista.fateczl.edu.br/index.php/git/article/view/54/39\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SANTOS, Jair Adhonai Correia dos; PEREIRA, Suellen Carolina Ferreira de Andrade; SILVA, Pedro Henrique de França; OLIVEIRA, Rosângela Guimarães de. **Infraestrutura de transportes: investimento privado em obras de infraestrutura rodoviária no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/download/1565/1284/2114\>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SANTOS, Hicaro Gabryel da Silva Correa; SANTOS, Nickson Alecsander de Castro. **Falhas da infraestrutura logística no Brasil**: o transporte de cargas no modal rodoviário. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Centro Universitário do Planalto Central Apparecido dos Santos – UNICEPLAC, Brasília, DF. Disponível em: <https://dspace.uniceplac.edu.br/bitstream/123456789/1734/1/Hicaro%20Gabryel%20da%20Silva%20Correa%20Santos_Nickson%20Alecsander%20de%20Castro%20Santos.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2025.

SILVEIRA, Caroline Alves da; SCHVARTZ, Marceli Adriane; VIEIRA, Jonathan Barros Felipe; RUIZ-PADILLO, Alejandro; SANTOS, César Gabriel dos. **Viabilidade da utilização da intermodalidade no transporte de cargas como meio de desenvolvimento regional**: o caso do Vale do Jacuí - Rio Grande do Sul. 2017. Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul. Laboratório de Mobilidade e Logística. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/320840936_Viabilidade_da_utilizacao_da_intermodalidade_no_transporte_de_cargas_como_meio_de_desenvolvimento_regional_o_caso_do_Vale_do_Jacui_-_Rio_Grande_do_Sul>. Acesso em: 08 jul. 2025.

SILVEIRA, Márcio Rogério. **Reestruturação dos sistemas de movimento e da logística e seus impactos regionais e urbanos no território paulista.** Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2010. Disponível: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-331/sn-331-23.htm>. Acesso em: 06 jul. 2025.

_____. **Transportes e a logística frente à reestruturação econômica no Brasil**. Mercator, Fortaleza, 2018. Disponível: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/HmtHwDWQHN3xgjMjHzpHBqk>. Acesso em: 06 jul. 2025.

SOUZA, Reginaldo da Silva; SOUZA, Genivaldo da Silva. **A logística internacional e comércio exterior brasileiro: modais de transporte, fluxos logísticos e custos envolvidos.** In: SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 10., 2013, Resende. Resende: AEDB, 2013. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/631831.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

WORLD POPULATION REVIEW. **Road network size by country**. World Population Review, 2025. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/road-network-size-by-country>. Acesso em: 8 dez. 2025.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à econometria:** uma abordagem moderna. 4. ed. brasileira, traduzida da 7. ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda., 2023. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555584530/pageid/0>. Acesso em: 28 maio 2025.