

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES  
INSTITUTO CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**Patrícia Soares de Carvalho Dantas**

**Impacto do desastre ambiental da Barragem de Fundão em Mariana-MG sob a dinâmica  
do PIB per capita: evidências para o município de Governador Valadares.**

Governador Valadares

2025

**Patrícia Soares de Carvalho Dantas**

**Impacto do desastre ambiental da Barragem de Fundão em Mariana-MG sob a dinâmica do PIB per capita: evidências para o município de Governador Valadares.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, campus Governador Valadares como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof. Dra. Débora Chaves Meireles

Governador Valadares

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Soares de Carvalho Dantas, Patrícia .

Impacto do desastre ambiental da Barragem de Fundão em Mariana-MG sob a dinâmica do PIB per capita : evidências para o município de Governador Valadares / Patrícia Soares de Carvalho Dantas. -- 2025.

45 p. : il.

Orientadora: Dr. Débora Chaves Meireles

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA, 2025.

1. Avaliação de Impacto. 2. Controle Sintético. 3. Desastre Ambiental. 4. Governador Valadares. 5. Taxa de Crescimento PIB Per Capita. I. Chaves Meireles, Dr. Débora , orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FORMULÁRIO DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO  
ECO013GV MONOGRAFIA II  
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14 horas do dia 20 de agosto de 2025, na sala 303, foi instalada a banca do exame de Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento do trabalho desenvolvido pela discente **Patricia Soares de Carvalho Dantas**, matriculada no curso de bacharelado em Ciências Econômicas. A Prof.a Dra. Débora Chaves Meireles, orientadora e presidente da banca julgadora, abriu a sessão apresentando os demais examinadores, as professores: Dra. Sahra Ferreira Pinheiro e Dra. Andrezza Luiza Batista.

Após a arguição e avaliação do material apresentado, relativo ao trabalho intitulado: **Impacto do desastre ambiental da Barragem de Fundão em Mariana-MG sob a dinâmica do PIB per capita: evidências para o município de Governador Valadares**, a banca examinadora se reuniu em sessão fechada considerando o(a) discente:

- Aprovada  
 Aprovada com correções  
 Reprovada

Nada mais havendo a tratar, foi encerrada a sessão e lavrada a presente ata que vai assinada pelos presentes.

Governador Valadares, 20 de agosto de 2025

\_\_\_\_\_  
Orientadora - Dra. Débora Chaves Meireles

\_\_\_\_\_  
Membro da Banca - Dra. Sahra Ferreira Pinheiro

\_\_\_\_\_  
Membro da Banca - Dra. Andrezza Luiza Batista

\_\_\_\_\_  
Aluna - Patricia Soares de Carvalho Dantas



Documento assinado eletronicamente por **Debora Chaves Meireles, Professor(a)**, em 23/08/2025, às 21:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA SOARES DE CARVALHO DANTAS, Usuário Externo**, em 23/08/2025, às 22:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Andreza Luiza Batista, Professor(a)**, em 25/08/2025, às 10:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Sahra Ferreira Pinheiro, Professor(a)**, em 25/08/2025, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uff (www2.uff.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2573338** e o código CRC **DB37C929**.

---

Dedico este trabalho à memória do meu filho,  
Josué Carvalho Dantas Pereira, mesmo que por  
tão pouco tempo neste mundo, ele transformou  
minha vida para sempre.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, toda honra, glória e gratidão. Foi Ele quem me sustentou, me fortaleceu e abriu as portas para que eu pudesse chegar até aqui. Cada passo dessa caminhada foi guiado por Sua graça e amor, mesmo nos dias em que eu pensei em desistir.

Agradeço profundamente ao meu esposo, Alexandre Dantas Pereira, pelo apoio incondicional, pelo incentivo diário e pela paciência em cada momento do percurso. Sua presença foi essencial para que eu pudesse seguir firme. Ao nosso filho, Benjamim Carvalho Dantas Pereira, meu amor e meu orgulho, que compreendeu a ausência da mãe em tantos momentos e me encheu de amor nos dias cansativos. Você é uma das maiores razões dessa conquista.

Aos professores do curso de Ciências Econômicas, minha admiração e respeito. Obrigada por cada ensinamento, pela dedicação à formação de tantos alunos e por acreditarem em nós. Cada aula deixou marcas que levarei para além da sala de aula.

Aos colegas de turma, que fizeram do processo de aprendizado algo mais leve, dinâmico e verdadeiro. Tivemos dificuldades, mas também aprendemos juntos, crescemos juntos. Os bons amigos que fiz nesse tempo foram fundamentais para me manter motivada, especialmente nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, professora Doutora Débora Chaves Meireles, minha gratidão especial. Sua orientação atenciosa, sempre com paciência, profissionalismo e generosidade, foi essencial para a construção deste trabalho. Sua disposição em ajudar, seu carinho com os alunos e sua presença acolhedora fazem dela uma das professoras mais queridas da universidade. Sou imensamente grata por todo o apoio, pelas palavras encorajadoras e pelo exemplo de dedicação que levarei comigo para sempre.

E não poderia deixar de agradecer às duas amigas especiais que, mesmo fora da universidade, sempre acreditaram em mim. Foram palavras de incentivo, abraços silenciosos, orações e gestos de carinho que me empurraram para a frente quando o cansaço batia mais forte.

## RESUMO

Nas últimas décadas, os desastres ambientais têm provocado perdas econômicas e humanas. No Brasil, um marco ocorreu em novembro de 2015, com o rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana-MG, que lançou uma “onda de lama” que atingiu 37 municípios em Minas Gerais e 12 no Espírito Santo. No município de Governador Valadares – MG, situado no percurso do Rio Doce, os efeitos econômicos persistem até hoje. Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar os impactos macroeconômicos do desastre ambiental da Barragem de Fundão no município de Governador Valadares-MG, utilizando o método de Controle Sintético. Com dados em painel balanceado de 2010 a 2020 de fontes do IBGE e do Ministério do Trabalho e Emprego. O ano de 2015 foi considerado o evento exógeno devido ao desastre ambiental, Governador Valadares-MG representou a única unidade tratada e o controle sintético compreendeu os municípios não atingidos com características socioeconômicas semelhantes. O ajuste do modelo entre 2010 e 2014 demonstrou aderência entre a trajetória observada e a contrafactual de Governador Valadares. Os resultados evidenciam três fases: (1) perdas diretas imediatas, como a contaminação do Rio Doce; (2) desaceleração do PIB per capita a partir de 2016, mais intensa nos primeiros anos, mostrando que os efeitos extrapolam a esfera ambiental e atingem a renda e o desenvolvimento; e (3) início de recuperação econômica, ainda insuficiente para retomar os níveis pré-desastre.

Palavras-chave: Avaliação de impacto. Controle Sintético. Desastre ambiental. Governador Valadares. Taxa de Crescimento PIB Per Capita.

## ABSTRACT

In recent decades, environmental disasters have caused economic and human losses. In Brazil, a landmark event occurred in November 2015 with the collapse of the Fundão Dam in Mariana, Minas Gerais, which unleashed a "mud wave" that hit 37 municipalities in Minas Gerais and 12 in Espírito Santo. In the municipality of Governador Valadares, Minas Gerais, located along the Rio Doce River, the economic effects persist to this day. Therefore, the objective of this study is to assess the macroeconomic impacts of the Fundão Dam environmental disaster in the municipality of Governador Valadares, Minas Gerais, using the Synthetic Control method. Balanced panel data from 2010 to 2020 were collected from the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) and the Ministry of Labor and Employment. 2015 was considered the exogenous event due to the environmental disaster, with Governador Valadares, Minas Gerais, representing the only treated unit, and the synthetic control included unaffected municipalities with similar socioeconomic characteristics. The model adjustment between 2010 and 2014 demonstrated agreement between the observed trajectory and the Governador Valadares counterfactual. The results reveal three phases: (1) immediate direct losses, such as the contamination of the Doce River; (2) a deceleration in per capita GDP starting in 2016, more intense in the first few years, demonstrating that the effects extend beyond the environmental sphere and affect income and development; and (3) the beginning of economic recovery, still insufficient to return to pre-disaster levels.

**Keywords::** Impact assessment. Synthetic Control. Environmental disaster. Governador Valadares. GDP Per Capita Growth Rate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Municípios atingidos pelo Desastre da barragem de Fundão em Mariana - MG, 2015 .....	17
Figura 2	– PIB per capita dos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo: comparação entre 2010 e 2014.....	32
Figura 3	– Ajuste entre Governador Valadares e a unidade sintética (pré-tratamento) .....	34
Figura 4	– Diferença entre a Taxa de Crescimento do PIB per capita de Governador Valadares e sua Unidade Sintética 2010–2020) .....	36
Figura 5	– Teste de Placebos: Resultados em Municípios de Controle .....	38

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1	– Descrição das Variáveis Seleccionadas e fonte de Dados .....	25
Tabela 1	– Estatísticas descritivas .....	31
Tabela 2	– Médias das Variáveis no Período Pré-Intervenção: Município Tratado, Unidade Sintética e Média da Amostra .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCB	Banco Central do Brasil
DID	Diferenças em Diferenças
EGC	Equilíbrio Geral Computável
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FGV	Fundação Getúlio Vargas
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
PIB	Produto Interno Bruto
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
SCM	Synthetic Control Method
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1 FONTES DE DADOS.....	24
3.2 ESTRATÉGIA EMPÍRICA.....	26
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil, em 05 de novembro de 2015, sofreu um dos maiores desastres ambientais de sua história no setor de mineração. A Barragem de Fundão, no município de Mariana no Estado de Minas Gerais, era uma estrutura construída para reter água e rejeitos provenientes da atividade de mineração, operada pela Samarco Mineração S.A. e controlada pela Vale S.A. O rompimento resultou na liberação de aproximadamente 40 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro. A barragem se localizava no afluente do Rio Doce e a “onda de lama” percorreu 55 km no rio Gualaxo do Norte até o rio do Carmo e 22 km até o Rio Doce. Comunidades inteiras foram soterradas e a destruição de ecossistemas fluviais. Este evento não só resultou na trágica perda de 19 vidas humanas, como também deixou um legado de destruição ambiental, e de perdas sociais e econômicas que continua a ser sentido até hoje (Simonato, Domingues e Magalhães, 2017; Monteiro e Seixas, 2023).

A contaminação do Rio Doce, um dos principais cursos de água da região Sudeste brasileira, comprometeu não apenas o abastecimento de água potável para milhares de pessoas, como também a subsistência de comunidades que dependiam da pesca e da agricultura. Além dos danos imediatos, o desastre trouxe à tona a fragilidade das infraestruturas de mineração e a insuficiência das medidas de segurança e prevenção adotadas pela Samarco e demais autoridades competentes (Viana, 2020).

O evento causou impactos de larga escala, com efeitos não apenas para o meio ambiente, mas também na dinâmica econômica e social de diversos municípios. Inicialmente, foram identificadas as cidades atingidas e diretamente localizadas ao longo do curso do rio Doce; posteriormente, por meio de decisões judiciais e técnicas especializadas, outras localidades também foram reconhecidas como atingidas. No total, 49 municípios foram afetados pelo desastre, abrangendo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Castro e Almeida, 2019; Simonato *et al.*, 2019).

O setor da mineração é relevante para muitas cidades, principalmente nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, pois gera empregos e, por sua vez, cria um dinamismo econômico (Castro e Almeida, 2019; Simonato, Domingues e Magalhães, 2015). Os municípios mineradores recebem uma Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Mineráveis (CFEM) da Agência Nacional de Mineração (ANM). O repasse financeiro é realizado da seguinte forma: 60% aos municípios produtores, 15% aos estados produtores, 15% aos municípios afetados e 10% para a União, foi estabelecida pela Lei nº 13.540, sancionada em 18 de dezembro de 2017 (BRASIL, 2017). Segundo a ANM (2023), o minério de ferro corresponde a 70% de toda essa arrecadação

e esses recursos são repassados aos municípios como royalties da mineração. Apesar disso, os recursos não foram suficientes para mitigar os efeitos negativos que as comunidades locais tiveram com o desastre ambiental. (Castro e Almeida, 2019). Além dos impactos ambientais e sociais, por causa do desastre há uma queda na arrecadação de impostos que afetam os orçamentos municipais utilizados para investimentos em infraestrutura, saúde e educação (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015; Castro e Almeida, 2019). Estas perdas prejudicam o desenvolvimento local das cidades e a capacidade de satisfazer as necessidades básicas dos seus residentes.

O município de Governador Valadares, está situado no leste de Minas Gerais, e é um polo regional multifuncional, integrando educação, saúde, comércio e logística, com uma área territorial de 2.342,376 km<sup>2</sup>, de 257.171 habitantes em 2022 e uma densidade demográfica de 109,79 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). No setor comercial, a cidade exerce influência central, atraindo consumidores de municípios vizinhos de menor porte em busca de bens e serviços diversificados. A economia local é voltada para o setor de serviços, representando 63,3% do PIB, seguido pela administração pública (22,7%), indústria (13%) e agropecuária (1%). O PIB per capita em 2021 foi de R\$ 26.165,06 (IBGE, 2023). A centralidade logística de Valadares é reforçada pela malha viária formada pelas rodovias BR-116, BR-381 e BR-259, além da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), que integra Minas Gerais ao Espírito Santo (Infraestrutura-MG, 2023) e DER-MG (DER-MG, 2023).

Com o rompimento da barragem de Fundão, foram liberados aproximadamente 43,7 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos no Rio Doce, que afetou diretamente o abastecimento de água em Governador Valadares, que depende exclusivamente desse rio para captação (Dutra, 2018). A interrupção do abastecimento causou transtornos à população e prejuízos à economia local, com impactos em setores como a indústria e os serviços (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015). Esses aspectos destacam a importância de Governador Valadares como centro econômico e de serviços na região, além de evidenciar os desafios enfrentados em decorrência de desastres ambientais. Portanto, a pergunta de partida deste estudo é a seguinte: qual o impacto do rompimento da barragem de Fundão na taxa de crescimento do PIB per capita do município de Governador Valadares - MG? O objetivo geral do estudo é avaliar o efeito causal do desastre ambiental da barragem de Fundão na dinâmica econômica do município de Governador Valadares-MG, no período de 2010 a 2020.

A base de dados utilizada neste estudo contempla informações referentes aos municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, obtidas a partir de fontes oficiais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego. Seguindo a estratégia empírica proposta, foram excluídos da

amostra todos os municípios diretamente atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão em 2015, preservando-se apenas Governador Valadares, município foco da análise. A partir da restrição dos dados, o método de Controle Sintético foi aplicado para construir uma unidade contrafactual composta por uma combinação ponderada de municípios não afetados, de modo que suas características no período pré-desastre fossem semelhantes às de Governador Valadares.

Este estudo parte da hipótese de que o rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 2015, provocou um impacto negativo significativo na taxa de crescimento do PIB per capita. município de Governador Valadares, no PIB per capita e no número de vínculos formais de emprego. Considera-se que, em comparação com municípios similares não afetados diretamente pelo desastre, Governador Valadares apresentou uma trajetória econômica inferior no período pós-desastre. Essa suposição será testada por meio do método de controle sintético, que permite a construção de uma unidade sintética composta por municípios não afetados, mas com características socioeconômicas semelhantes no período pré-desastre, servindo como contraponto para avaliar os efeitos do evento. A fundamentação teórica apoia-se em estudos que analisam os impactos de desastres ambientais na economia local, como os trabalhos Simonato, Domingues e Magalhães (2015) e de Castro e Almeida (2019), que destacam a importância de metodologias robustas para a avaliação de efeitos causais em contextos de desastres. Além disso, fundamenta-se na metodologia proposta por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), que desenvolveram o método como uma ferramenta eficaz para estudos comparativos em economia regional. Assim, a hipótese orienta a investigação sobre as consequências econômicas do desastre de Mariana para Governador Valadares, contribuindo para a compreensão dos efeitos de desastres ambientais em economias locais.

A contribuição do estudo é estruturada em alguns aspectos: primeiro, oferece uma análise detalhada dos impactos econômicos que desastres ambientais geram em contextos locais (Simonato, 2017; Castro e Almeida, 2019); segundo, utiliza o método do controle sintético como ferramenta de avaliação de impacto (Abadie, Diamond e Hainmueller, 2010); e, por fim, contribui para a literatura sobre desastres ambientais ao aplicar esse método em contexto regional brasileiro, onde ainda são escassas evidências empíricas acerca dos efeitos de grandes choques ambientais sobre a trajetória do PIB per capita em nível municipal.

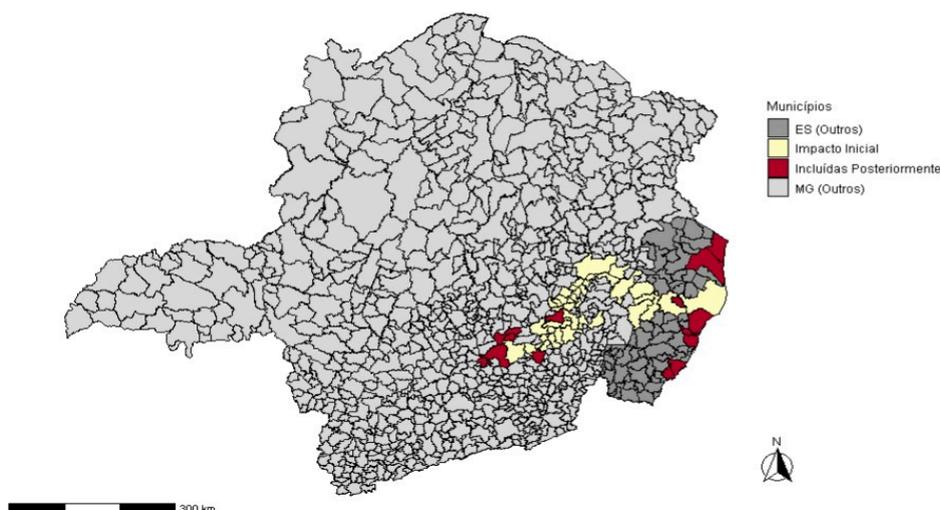
## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

A literatura sobre os impactos de desastres ambientais em economias locais tem crescido nos últimos anos, especialmente no contexto brasileiro, em virtude de eventos de grande escala, que

buscam compreender como choques ambientais afetam a dinâmica econômica de municípios dependentes de setores econômicos, como a mineração, a agricultura e os serviços. Neste capítulo será abordado o contexto institucional do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana - MG e as principais evidências empíricas relacionadas à temática.

Cabe lembrar brevemente o evento que motiva este estudo. Em 5 de novembro de 2015, a barragem de Fundão, em Mariana-MG, rompeu liberando milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração. A lama percorreu a bacia do Rio Doce, atingindo dezenas de municípios em Minas Gerais e no Espírito Santo, provocando mortes, destruição ambiental e severas consequências socioeconômicas. Para ilustrar a abrangência desse percurso e a dimensão territorial do desastre, apresenta-se a seguir a Figura 1, que identifica os municípios afetados

**Figura 1** - Municípios atingidos pelo desastre da barragem de Fundão em Mariana - MG, 2015



Fonte: elaboração própria.

A Figura 1 apresenta os municípios<sup>1</sup> atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, e mostra o percurso dos rejeitos desde o início do desastre até a foz do rio Doce. Os municípios denominados “impacto inicial” representam os 35 que foram atingidos diretamente pela enxurrada de lama, com destaque para Governador Valadares, Ipatinga e Aimorés. Já os municípios

<sup>1</sup> Cidades atingidas: **Minas Gerais:** Aimorés, Alpercata, Barra Longa, Belo Oriente, Bom Jesus do Galho, Bugre, Caratinga, Conselheiro Pena, Coronel Fabriciano, Córrego Novo, Dionísio, Fernandes Tourinho, Galiléia, Governador Valadares, Iapu, Ipaba, Ipatinga, Itueta, Mariana, Marliéria, Naque, Ouro Preto, Periquito, Pingo-d'Água, Ponte Nova, Raul Soares, Resplendor, Rio Casca, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Santana do Paraíso, São Domingos do Prata, São José do Goiabal, São Pedro dos Ferros, Sem-Peixe, Sobrália, Timóteo, Tumiritinga. **Espírito Santo:** Anchieta, Aracruz, Baixo Guandu, Colatina, Conceição da Barra, Fundão, Guarapari, Linhares, Marilândia, São Mateus, Serra, Vila Velha, Vitória.

classificados como “incluídos posteriormente” foram adicionados ao conjunto dos atingidos devido aos efeitos econômicos indiretos e às decisões judiciais que ampliaram o reconhecimento dos danos, como, por exemplo, Aracruz e Serra, no Estado do Espírito Santo. A extensão e diversidade dos impactos registrados, tanto ambientais quanto produtivos, demonstram a complexidade da tragédia e a importância de uma análise territorial ampla para compreender os efeitos de longo prazo sobre as atividades econômicas e a capacidade de recuperação das regiões afetadas (Simonato, Domingues e Magalhães, 2021).

A perda de atividades econômicas tradicionais, como a pesca e a aquicultura, devido à contaminação do Rio Doce, exemplifica a interrupção direta da fonte de renda de muitas comunidades locais (Santos *et al.*, 2019). Os impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão também afetaram diretamente os ecossistemas aquáticos da bacia do Rio Doce. O monitoramento da qualidade da água após o desastre evidenciou aumentos significativos nos níveis de turbidez e concentração de metais pesados, como manganês e ferro (Dutra, 2018). De acordo com a ANA (2015), a interrupção do abastecimento de água em municípios dependentes do Rio Doce, como Governador Valadares e Resplendor, gerou impactos diretos na produção agrícola e pecuária, uma vez que a água se tornou imprópria para o consumo humano e animal (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015).

Segundo Santos *et al.* (2019), a falta de água potável agravou a situação de produtores agrícolas e pecuaristas, que dependem desse recurso para suas atividades. O colapso hídrico desestruturou setores como a pesca, fundamental para a subsistência de muitas famílias. Somadas a essas dificuldades iniciais, os danos a infraestruturas essenciais, como pontes e estradas, agravaram os impactos econômicos e comprometeram a mobilidade e a logística nas regiões afetadas (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015). A contaminação por metais pesados no leito do Rio Doce resultou na redução significativa da biodiversidade aquática, enquanto a interrupção das atividades industriais e a perda de confiança da população em produtos locais geraram prejuízos de difícil reversão (Dutra, 2018). Os impactos econômicos do desastre da barragem de Fundão, em Minas Gerais, também foram severos em setores como agricultura e serviços (Castro e Almeida, 2019). Somando as informações Gonzalez, Ornelas e Silva (2023) relataram que os produtores das regiões afetadas sofreram uma redução entre 41% e 60% na receita proveniente de clientes externos, o que demonstra o impacto da contaminação do Rio Doce sobre a dinâmica do comércio e da produção regional. Essa queda foi associada à deterioração da qualidade da água e à perda de confiança nos produtos locais. Além disso, a retração das atividades agrícolas e dos serviços levou a uma redução de aproximadamente 7% no PIB municipal médio dos municípios atingidos, evidenciando a vulnerabilidade estrutural de economias locais dependentes de recursos naturais.

González *et al.* (2023) mostraram que a contaminação do Rio Doce causou perdas acumuladas de 14% no valor agregado da agricultura nas 37 cidades mais afetadas, com quedas de até 18% em áreas altamente dependentes da água do rio. Além disso, a contaminação do solo por metais pesados afetou a produtividade agrícola, modificou a composição das culturas, reduziu a área cultivada o que gerou um impacto negativo na economia local. Esse cenário destaca a importância de monitorar a qualidade da água e de adotar políticas de uso sustentável dos recursos naturais para evitar danos semelhantes no futuro.

O Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios foi afetado de forma negativa devido à redução na atividade econômica, causada por uma menor demanda por bens e serviços locais. Estudos indicam que o rompimento da Barragem de Fundão provocou a perda de ativos econômicos e interrupção de atividades produtivas em diversos municípios diretamente atingidos pelo desastre, afetando diferentes dimensões das economias mineira e capixaba (Fundação Getulio Vargas, 2021)

A paralisação das operações mineradoras não levou apenas à perda de investimentos diretos e indiretos, mas também prejudicou a arrecadação de impostos e royalties municipais, necessária para o financiamento de serviços públicos essenciais e investimentos em infraestrutura (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015; Castro e Almeida, 2019). Nesse contexto, além das perdas imediatas, muitos desses municípios enfrentaram queda na arrecadação, aumento do desemprego e colapso parcial de serviços públicos essenciais. A gravidade do desastre evidenciou a ausência de mecanismos institucionais eficazes de prevenção e resposta, exigindo ações coordenadas entre o governo federal, os governos estaduais e os municípios atingidos (Ruiz *et al.*, 2023).

Os impactos econômicos do desastre de Mariana sobre o desempenho econômico regional foram estudados por Simonato, Domingues e Magalhães (2015). Os resultados indicam uma contração de quase 50% no PIB local nos anos subsequentes ao desastre, enquanto a retomada parcial da produção minerária em 2018 reduziu essa perda para 33%. No entanto, mesmo com a retomada da atividade minerária, os autores concluem que o período de cinco anos após o desastre foi insuficiente para a recomposição dos níveis de produção, consumo, emprego e investimento aos patamares anteriores ao evento. A dimensão econômica do rompimento da barragem de Fundão foi analisada por Castro e Almeida (2019) por meio da aplicação do método de Controle Sintético, que permitiu estimar os efeitos do desastre sobre o desempenho econômico dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Utilizando séries históricas e comparando os dados reais com um cenário contrafactual, isto é, simulando como teria sido a economia desses estados caso o desastre não tivesse ocorrido, os autores concluíram que o impacto foi mais severo no Espírito Santo.

A paralisação temporária de usinas hidrelétricas da região, como a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candonga), intensificou a crise econômica ao interromper a geração de energia e comprometer a arrecadação local. Mesmo inoperante, essa usina continuou recebendo repasses financeiros por estar vinculada ao sistema elétrico nacional, o que evidencia falhas institucionais e destaca a vulnerabilidade das infraestruturas produtivas frente a desastres ambientais de grande magnitude (ANEEL, 2021).

A produção industrial geral no Espírito Santo apresentou uma retração média de 18,22%, evidenciando que o setor industrial capixaba foi sensivelmente afetado pela paralisação de atividades e pela interrupção da cadeia produtiva. Em contraste, Minas Gerais não registrou uma queda significativa na produção industrial geral, fato atribuído à menor relevância industrial da região diretamente atingida no estado, que não se configura como um polo industrial. No entanto, ao se analisar o setor mineral extrativista, ambos os estados sofreram perdas expressivas. A produção mineral caiu 25,01% no Espírito Santo e 15,58% em Minas Gerais, revelando a alta vulnerabilidade econômica decorrente da dependência da mineração. Esses resultados sustentam a tese de que a ausência de diversificação produtiva pode amplificar os efeitos econômicos de desastres ambientais, especialmente em regiões fortemente atreladas a setores extrativos.

O consumo das famílias também foi afetado, com queda média de 8%, especialmente entre trabalhadores informais e mais expostos a riscos financeiros. Os impactos do rompimento da barragem não se limitaram a Mariana, afetando municípios ao longo do Rio Doce, como Governador Valadares, onde houve uma crise hídrica e econômica. Santos *et al.* (2019) relatam que a contaminação do rio levou à interrupção da captação de água, o que levou à decretação do Estado de Calamidade Pública e deixou a população dependente de caminhões-pipa e doações de água potável provenientes de diversas regiões do país. Além disso, a paralisação das atividades agrícolas e pesqueiras comprometeu a economia local, reduziu a arrecadação municipal e afetou diretamente a subsistência de muitas famílias. A interligação entre os impactos ambientais e econômicos evidencia o papel crucial da água limpa como recurso essencial para o consumo produtivo e o bem-estar humano, e ressalta a necessidade de avaliar seu valor econômico e adotar políticas públicas que garantam sua conservação e o desenvolvimento sustentável das regiões afetadas (Gonzalez, Ornelas e Silva, 2023).

Além dos impactos econômicos diretos sobre a produção e o emprego, desastres ambientais como o rompimento da barragem de Fundão também afetam significativamente o sistema financeiro local. Os efeitos se manifestam, por exemplo, na retração de linhas de crédito, nos saldos bancários e na dinâmica das movimentações financeiras. Em Mariana, identificou-se uma redução nos financiamentos rurais, agroindustriais e imobiliários, indicando um cenário de paralisação

produtiva, incerteza e retração econômica. Esses efeitos não se limitam às perdas materiais imediatas, mas alcançam também os mecanismos de confiança no sistema bancário local, demonstrando a importância de respostas institucionais eficazes para mitigar os danos econômicos de longo prazo (Ruiz *et al.*, 2023).

A instabilidade gerada pelo desastre não afetou apenas os fluxos de capital nos municípios diretamente atingidos, mas também reverberou sobre a percepção de risco em nível mais amplo, especialmente entre agentes do mercado financeiro. Quando há falhas de governança e demora na reparação, aumenta-se a desconfiança quanto à capacidade das instituições e empresas envolvidas de responder adequadamente a situações de crise. Os autores destacam que, após o rompimento da barragem, a fragilidade institucional e a lentidão na implementação de medidas compensatórias comprometem não apenas a recuperação econômica local, mas também influenciaram negativamente a percepção de risco dos investidores e a estabilidade no mercado de ações vinculado às empresas responsáveis pelo desastre. As decisões judiciais subsequentes, incluindo a imposição de multas e obrigações acessórias, tiveram impacto adicional no desempenho das ações, refletindo a sensibilidade do mercado às medidas regulatórias adotadas no contexto pós-desastre (Ruiz *et al.*, 2023.).

Os impactos econômicos do rompimento da barragem de Fundão se estendeu de forma ampla e mostrou a dependência econômica de Mariana na produção de minério de ferro e amplificando os efeitos negativos do desastre. O PIB municipal de Mariana apresentou uma queda acumulada de quase 50% entre 2016 e 2020 em um cenário sem a retomada da produção minerária. Esse resultado evidenciou a fragilidade econômica das regiões cuja principal atividade produtiva é experimentada em setores de alta vulnerabilidade a choques externos. A redução na atividade econômica afetou diretamente o PIB municipal e trouxe uma menor circulação de dinheiro e agravou a dependência de setores específicos da economia local (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015).

Em relação ao cenário de retomada da produção minerária em 2018, o desvio acumulado do PIB de Mariana foi menor, com perdas reduzidas para aproximadamente 33% no período avaliado. Embora essa recuperação parcial tenha contribuído para amenizar os problemas econômicos, seus efeitos ficam restritos ao setor de mineração, com impactos limitados sobre atividades complementares, como o comércio e os serviços locais. Essa análise evidencia a importância da diversificação econômica e da implementação de políticas públicas estratégicas voltadas ao estímulo de setores alternativos, como serviços, turismo sustentável e agricultura (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015). Economias com alta dependência de recursos naturais apresentam maior vulnerabilidade a choques externos, tornando essencial o fortalecimento de outras

atividades produtivas para promover resiliência e reduzir a dependência exclusiva da mineração como base para a sustentação das economias regionais (Barbier, 2010).

Os efeitos dos desastres ambientais também se estendem ao setor educacional. Alves e Menezes (2023) analisaram o impacto do rompimento da barragem de Fundão sobre o desempenho escolar nos municípios atingidos, utilizando o método de controle sintético. Em Mariana, o índice de distorção idade-série (TDI) do 1º ano do ensino fundamental apresentou um aumento transitório de quase 30 pontos percentuais em relação ao cenário contrafactual. Nos demais municípios afetados, os impactos também foram significativos, com variações de 0,72 a 13,58 pontos percentuais nas taxas de abandono escolar e distorção idade-série. Os autores argumentam que esses resultados refletem a interrupção no acesso à educação formal, a realocação de estudantes e os efeitos indiretos do desastre sobre a estrutura familiar e social, indicando que tragédias ambientais comprometem não apenas a infraestrutura física, mas também a continuidade do processo educacional, demandando políticas públicas consistentes para mitigar seus efeitos no médio e longo prazo (Alves e Menezes, 2023).

No caso específico da educação, segundo Alves e Menezes (2015), a taxa de distorção idade-série no 1º ano do ensino fundamental em Mariana apresentou um aumento transitório de quase 30 pontos percentuais em relação ao controle sintético entre 2016 e 2017. Esse crescimento está associado à postergação da entrada de crianças na educação formal devido ao desastre. Além disso, a restrição da rede escolar e a alocação de estudantes em instituições remotas agravam a instabilidade no acesso à educação básica. A perda de infraestrutura educacional e a necessidade de realocação de famílias afetaram diretamente a continuidade do processo educativo, gerando desafios adicionais para professores e alunos.

Esses efeitos negativos se estenderam também ao conjunto de municípios diretamente atingidos, como Barra Longa, Santa Cruz do Escalvado e Rio Doce, e se manifestaram em diversos indicadores de desempenho escolar. A taxa de distorção idade-série no 9º ano aumentou 13,58 pontos percentuais após o desastre, enquanto as taxas de abandono e reprovação também registraram elevações significativas. Além disso, os dados revelam que o retorno ao desempenho pré-desastre foi lento, exigindo investimentos contínuos para recuperação. O papel das fundações e programas emergenciais, embora relevantes, não foi suficiente para suprir a complexidade das demandas educacionais. Estratégias de longo prazo, como o fortalecimento das redes escolares e o suporte psicológico aos estudantes, são essenciais para evitar a perpetuação dos prejuízos educacionais (Alves e Menezes, 2015).

A resposta institucional também desempenhou papel relevante nos impactos econômicos dos desastres. Ao analisar as diferenças entre os efeitos da ruptura das barragens de Mariana e

Brumadinho, observou-se que, enquanto Mariana apresentou recuperação financeira modesta, marcada por reduções nos saldos de financiamento rural, agroindustrial e imobiliário, Brumadinho registrou expressivo aumento nas operações de crédito e depósitos financeiros. Esse contraste é atribuído tanto ao aporte de auxílios financeiros emergenciais quanto a uma resposta institucional mais estruturada em Brumadinho, o que contribuiu para mitigar os efeitos econômicos do evento. Conforme salientam Ruiz *et al.* (2023), políticas rápidas e eficazes são essenciais para acelerar a recuperação das economias locais, ressaltando a importância de uma governança institucional eficiente em situações de desastres ambientais. Essa relação entre governança e resposta a desastres também se reflete nas dinâmicas econômicas observadas nas regiões impactadas. Em Mariana, conforme apontado por Ruiz *et al.* (2023), os saldos em financiamentos rurais e agroindustriais sofreram uma queda de até 15,59% no período pós-desastre, apontando a interrupção de atividades produtivas essenciais para a economia local. Ou seja, a ausência de uma base econômica diversificada pode ampliar os efeitos de desastres, tornando as comunidades mais suscetíveis a choques externos (Ruiz *et al.*, 2023).

Os desastres ecológicos também demonstraram a complexidade da gestão ambiental em grandes empreendimentos. De acordo com Amaral, Ferreira e Borba (2021), o impacto financeiro e socioambiental decorrente da tragédia de Fundão expôs falhas institucionais, como a ausência de provisão efetiva e de ações compensatórias. O aumento de 45 vezes no número de litígios ambientais após o desastre indicou a necessidade de maior transparência e de responsabilidade social corporativa, visando mitigar danos e prevenir a ocorrência de novos eventos catastróficos (Amaral, Ferreira e Borba, 2021).

A fragilidade da fiscalização e da governança ambiental no setor mineiro brasileiro também foi evidenciada pelos desastres de Mariana e Brumadinho. Fabrício, Ferreira e Borba (2021) argumentam que falhas na regulação e na gestão de riscos contribuíram para a recorrência dessas tragédias, resultando em impactos socioeconômicos e ambientais severos. O estudo aponta que, além das perdas humanas e ambientais, houve uma desestruturação econômica nas regiões afetadas, comprometendo setores produtivos e a arrecadação fiscal municipal. Os autores destacam que a ausência de medidas preventivas eficazes e a demora na reparação dos danos agravam a vulnerabilidade das comunidades atingidas, evidenciando a necessidade de uma política regulatória mais rigorosa e de uma gestão ambiental mais transparente para evitar novas catástrofes desse porte.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se a metodologia utilizada para avaliar os impactos econômicos do desastre da Barragem de Fundão sobre o município de Governador Valadares-MG. Inicialmente, são descritas as fontes de dados e variáveis empregadas na análise. Em seguida, detalha-se a estratégia empírica adotada, baseada no método de Controle Sintético, ressaltando seus fundamentos, critérios de seleção e indicadores de ajuste.

#### 3.1 FONTES DE DADOS E VARIÁVEIS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) fornecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego. As informações foram organizadas de forma a abranger todos os municípios do Estado de Minas Gerais e Espírito Santo, com séries anuais compreendendo o período de 2010 a 2020. Essa série histórica possibilita analisar de forma mais aprofundada as condições socioeconômicas anteriores ao rompimento da Barragem de Fundão (2010–2014) e os efeitos de até cinco anos após o desastre (2015–2020), permitindo capturar mudanças da renda no Município.

A variável dependente é a taxa de crescimento do PIB per capita, pois esse indicador capta não apenas o nível absoluto de renda, mas também a trajetória de expansão ou retração econômica ao longo do tempo, e é sensível a choques como o desastre de Mariana (Castro, Almeida, 2019). Estudos que analisam os efeitos econômicos de desastres destacam que a variação do PIB per capita oferece um panorama adequado para mensurar os impactos sobre a renda, emprego e atividade econômica nas regiões afetadas (Simonato, Domingues; Magalhães, 2020; Ruiz *et al.*, 2022).

O conjunto de variáveis de controle corresponde aos valores adicionados dos setores industrial, de serviços e da agropecuária, que representam a estrutura produtiva de cada município. Considera-se que diferentes setores econômicos reagem de maneira distinta frente aos desastres. Por exemplo, atividades industriais são mais suscetíveis a interrupções de infraestrutura e logística, enquanto o setor de serviços tende a apresentar maior resiliência e capacidade de recuperação (Castro e Almeida, 2019; Ruiz *et al.*, 2022). Já o setor agropecuário, embora dependa de ciclos sazonais e das condições climáticas, pode ser impactado por contaminações ambientais, perda de áreas cultiváveis e degradação da qualidade do solo, como apontou Dutra (2018), evidenciado também na análise de impactos regionais conduzida por Simonato, Domingues e Magalhães (2020).

A população total foi usada como *proxy* do tamanho do mercado consumidor e da capacidade de absorver choques, visto que municípios mais populosos costumam apresentar maior resiliência por terem mais diversidade de atividades econômicas, o que pode ajudar amortecer a intensidade dos efeitos negativos de eventos adversos (Simonato, Domingues e Magalhães, 2015).

A renda média per capita anual é um indicador que representa o poder aquisitivo da população local, sensível a mudanças no nível de emprego, produtividade e na dinâmica econômica do município (Castro e Almeida, 2019). Neste sentido, é um parâmetro fundamental para mensurar o bem-estar econômico.

O número de vínculos formais com ensino superior reflete o nível de qualificação da força de trabalho, elemento essencial para avaliar a capacidade de resposta do município a choques econômicos, pois trabalhadores mais qualificados tendem a apresentar maior mobilidade no mercado de trabalho e melhores condições para se reinserirem após crises (Fundação Getúlio Vargas, 2021).

**Quadro 1** - Descrição das Variáveis Seleccionadas e Fonte de Dados

Variável	Descrição	Fonte de Dados
PIB	Valor total dos bens e serviços produzidos em um município	IBGE
Taxa de crescimento do PIB per capita	Varição percentual anual do PIB per capita deflacionado.	Cálculo próprio
Valor agregado da indústria (% do PIB)	Participação percentual do setor industrial no PIB municipal	IBGE
Valor agregado dos serviços (% do PIB)	Participação percentual do setor de serviços no PIB municipal	IBGE
Valor agregado da Agricultura (% do PIB)	Participação percentual do setor da Agricultura no PIB municipal	IBGE
População dos municípios	Número total de habitantes em cada município (pop).	IBGE
Renda média per capita anual	Média do rendimento dos trabalhadores formais no município	RAIS/MTE
Vínculos formais com ensino superior	Número de empregos formais ocupados por pessoas com ensino superior completo	RAIS/MTE

Fonte: elaboração própria.

Além das variáveis anteriormente mencionadas, foram considerados os indicadores de exportações e importações (% do PIB), utilizados como critério de exclusão para eliminar municípios com fluxos atípicos de comércio exterior. Essa restrição de amostra teve como objetivo

garantir maior homogeneidade e melhor comparabilidade entre os municípios selecionados para a construção da unidade sintética.

### 3.2 ESTRATÉGIA EMPÍRICA

Para determinar o impacto econômico do desastre da Barragem de Fundão em Governador Valadares-MG, foi utilizado o método do Controle Sintético. Esse modelo propõe a construção de uma unidade sintética formada por uma combinação ponderada de municípios que não foram afetados pelo desastre, que juntos servem como grupo de controle contrafactual. O método permite gerar uma trajetória sintética que imita, com alto grau de precisão, as características do município tratado no período anterior ao desastre, possibilitando assim a comparação entre os resultados realmente observados em Governador Valadares e os valores contrafactuais estimados. Dessa forma, torna-se possível isolar o impacto do desastre sobre os indicadores econômicos e sociais do município (Abadie, Diamond e Hainmueller, 2010).

Para a construção do grupo de controle no método do Controle Sintético, foi preciso identificar os municípios que não foram afetados pelo rompimento da barragem em 2015. A seleção dessas cidades não foi feita de forma aleatória nem restrita a critérios geográficos; muito pelo contrário, baseou-se numa análise detalhada da trajetória econômica de cada município antes do desastre, considerando a evolução das variáveis relevantes que pudessem refletir condições econômicas semelhantes e comparáveis. O objetivo central era encontrar uma combinação ponderada de municípios não atingidos que apresentassem trajetória histórica parecida com a de Governador Valadares no período pré-intervenção, garantindo a validade do contrafactual criado. Essa estratégia metodológica segue as orientações propostas por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010), que defendem a utilização de unidades de controle que, juntas, consigam reproduzir a trajetória do município tratado antes do evento de interesse.

Uma das decisões mais importantes nesta pesquisa foi adotar a taxa de crescimento do PIB per capita deflacionado como critério central para a escolha das variáveis preditoras e para a montagem do controle sintético. Essa escolha se justifica porque a taxa de crescimento do PIB per capita constitui um indicador relevante da trajetória de expansão ou retração econômica ao longo do tempo, permitindo comparações mais consistentes entre municípios com estruturas produtivas distintas. Contudo, é importante destacar que crescimento econômico não equivale a desenvolvimento, uma vez que este último abrange dimensões sociais, institucionais e distributivas mais amplas (Myrdal, 1968; Sen, 2000 ). Ainda assim, ao se focar no crescimento econômico como variável de análise, busca-se construir um contrafactual robusto que permita isolar os efeitos

do desastre sobre a renda municipal. Nesse sentido, como destaca (Abadie, 2010), controles sintéticos eficazes são compostos por unidades que compartilham trajetórias similares à da unidade tratada antes do evento analisado, pois essa similaridade garante maior confiabilidade na estimação do impacto do choque sobre a variável de interesse, permitindo interpretações mais consistentes.

Nem todas as cidades de Minas Gerais puderam ser consideradas como candidatas para compor o grupo de controle. Vários municípios foram impactados pelo desastre de Fundão, seja de forma direta, ao serem atingidos pela lama ou água contaminada, seja de forma institucional, por meio de reconhecimento oficial em processos judiciais ou envolvimento em ações de reparação conduzidas pela Fundação Renova. Criada em 2016 a partir do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) firmado entre a União, os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, órgãos de fiscalização e as empresas responsáveis pela barragem (Samarco, Vale e BHP Billiton), a Fundação Renova foi instituída com a finalidade de executar e gerir os programas de compensação e reparação integral dos danos ambientais, sociais e econômicos decorrentes do rompimento. A inclusão dessas cidades no grupo de controle iria comprometer a validade do modelo, já que elas também teriam sido, em alguma medida, afetadas pelo evento e, portanto, estariam sujeitas a choques semelhantes aos experimentados por Governador Valadares. Dessa maneira, foi feita a exclusão prévia de todos os municípios identificados como atingidos, com base em listas oficiais, documentos judiciais e relatórios da Fundação Renova..

Após essa etapa de exclusão, o modelo foi calibrado para, dentro do conjunto remanescente ou seja, dos municípios não tratados, encontrar uma combinação ponderada que melhor reproduziu o padrão de crescimento econômico de Governador Valadares no período anterior a 2015. Em seguida, foram aplicados dois filtros adicionais para refinar ainda mais o grupo de controle: foram incluídos apenas os municípios que apresentaram exportações superiores a zero no período analisado e cujo PIB total se situava dentro de um intervalo previamente definido, visando maior comparabilidade com Governador Valadares. Esses critérios visam garantir uma base comparável e economicamente ativa, compatível com a realidade de Governador Valadares.

Para o modelo, além da taxa de crescimento do PIB per capita, foram incluídas variáveis relevantes como o valor adicionado setorial (indústria, agricultura, serviços), a população total, e os vínculos formais de trabalho (dados obtidos na RAIS), pois esses indicadores são preditores estáveis e altamente informativos sobre a evolução do PIB per capita municipal, conforme recomenda a literatura especializada na avaliação dos efeitos de desastres socioeconômicos.

Essa escolha metodológica busca também mitigar o risco de viés decorrente da omissão de choques locais que não são observáveis. Algumas cidades do grupo de controle podem ter passado por eventos específicos que afetaram seu desempenho econômico, como desastres climáticos,

mudanças em políticas públicas locais ou transformações setoriais relevantes. Para reduzir esse risco, foram previstos testes de robustez e placebos, seguindo as recomendações de Abadie *et al.* (2015), com objetivo de verificar se os efeitos estimados ocorrem exclusivamente em Governador Valadares ou se também se manifestam em municípios não tratados, o que poderia indicar vieses no modelo, comprometendo a validade das conclusões.

A base de dados foi organizada de forma a possibilitar a identificação clara do município tratado (Governador Valadares) e sua comparação com os demais municípios do grupo de controle, respeitando o período pré e pós-desastre (2010 a 2020). A escolha das variáveis explicativas foi feita considerando critérios teóricos e evidências empíricas obtidas em estudos anteriores sobre os impactos econômicos e sociais de desastres ambientais. As variáveis de composição do PIB, como o valor adicionado da indústria e dos serviços, ajudam a captar mudanças estruturais na base produtiva dos municípios ao longo do tempo. Em situações de choque, setores econômicos diferentes podem reagir de maneiras distintas, sendo alguns mais vulneráveis e outros servindo como amortecedores. Essas variáveis são fundamentais para entender a resiliência econômica das regiões afetadas.

Para mensurar o impacto econômico do rompimento da barragem de Fundão sobre a trajetória da taxa de crescimento do PIB per capita de Governador Valadares, utilizou-se o método de Controle Sintético (SCM). Essa abordagem permite construir uma unidade sintética, ou seja, um contrafactual a partir de uma combinação ponderada de municípios não afetados pelo desastre, que juntos simulam a trajetória que a unidade tratada teria seguido na ausência do evento. A variável observada pode ser descrita da seguinte forma:

$$Y_{it} = \begin{cases} Y_{it}^{ND}, & \text{na ausência do desastre} \\ Y_{it}^P \equiv Y_{it}^{ND} + \tau_{it}D_{it}, & \text{na presença do desastre} \end{cases} \quad (1)$$

Em que:  $Y_{it}$  representa o valor observado da taxa de crescimento do PIB per capita,  $Y_{it}^{(ND)}$  representa o valor contrafactual (ou seja, o que seria observado se o desastre de Fundão não tivesse ocorrido);  $\tau_{it}$  corresponde ao efeito causado pelo desastre para a unidade  $i$  no período  $t$ ; e  $D_{it}$  é uma variável indicadora que assume valor 1 para  $t > T_0$  e  $i=1$  (unidade tratada no período pós-desastre) e valor 0 caso contrário.

$$Y_{it}^{ND} = \alpha_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Neste modelo,  $\alpha_t$  representa um fator comum inobservável constante entre unidades;  $Z_i$  é um vetor de variáveis explicativas observáveis;  $\theta_t$  são os coeficientes dessas covariáveis;  $\mu_i$  é um vetor de efeitos específicos da unidade;  $\lambda_t$  são os fatores comuns não observados.; e  $\varepsilon_{it}$  é um termo de erro idiossincrático com média zero.

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j Y_{jt} = \alpha_t + \theta_t \sum_{j=2}^{J+1} w_j Z_j + \lambda_t \sum_{j=2}^{J+1} w_j \mu_j + \sum_{j=2}^{J+1} w_j \varepsilon_{jt} \quad (3)$$

A unidade sintética é uma média ponderada das unidades de controle. Os pesos  $W_j$  são não-negativos e somam 1. Eles são atribuídos às unidades doadoras com base em sua capacidade de reproduzir a trajetória da unidade tratada antes do desastre.

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{j1} = Y_{11}, \quad \dots, \quad \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jT_0} = Y_{1T_0}, \quad \sum_{j=2}^J w_j^* Z_j = Z_1 \quad (4)$$

A escolha dos pesos ótimos  $W^*$  é feita de modo que as médias das variáveis preditoras (observadas no pré-tratamento) da unidade tratada se aproximem o máximo possível das médias ponderadas das unidades de controle.

$$\hat{\tau}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \quad (5)$$

O impacto do desastre é estimado como a diferença entre o valor observado da unidade tratada e o valor estimado da unidade sintética no mesmo período após a intervenção. O Erro Quadrático Médio da Previsão (RMSPE) é um indicador utilizado para avaliar a qualidade do ajuste entre a unidade tratada e sua contraparte sintética durante o período anterior à intervenção. Esse índice expressa numericamente a proximidade entre os valores observados da variável de interesse e os valores estimados pelo modelo sintético antes do evento analisado, neste caso, o desastre da barragem de Fundão. Valores baixos de RMSPE indicam um bom desempenho preditivo do modelo, e quanto mais próximo de zero, melhor o ajuste.

A fórmula do RMSPE é dada por:

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} \left( Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Y_{jt} \right)^2} \quad (6)$$

Onde:  $Y_{1t}$  representa os valores observados da variável de interesse para a unidade tratada,  $\hat{Y}_{1t}$  representa os valores estimados pelo controle sintético para essa mesma unidade, e  $T_0$  corresponde ao número de períodos anteriores ao desastre.

Para complementar a análise do ajuste, Adhikari e Alm (2016) propuseram o uso do Benchmark RMSPE, calculado como:

$$Benchmark\ RMSPE = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{t=1}^{T_0} (Y_{1t})^2} \quad (7)$$

A partir desses dois valores, obtém-se o *Fit Index*, definido como:

$$Fit\ Index = \frac{RMSPE}{Benchmark\ RMSPE} \quad (8)$$

O *Fit Index* é um indicador proposto por Adhikari e Alm (2016) para avaliar a qualidade do ajuste pré-tratamento no método de Controle Sintético. Esse índice é calculado a partir da razão entre o RMSPE obtido e o *Benchmark RMSPE*, sendo este último definido como a raiz da média dos quadrados dos valores observados no período anterior à intervenção. Valores próximos de zero indicam que a unidade sintética reproduziu com alta precisão a trajetória da unidade tratada, caracterizando um ajuste perfeito. Quando o *Fit Index* é igual a 1, o ajuste é equivalente ao que se obteria com uma unidade sintética que difere da tratada em magnitude igual ao valor observado do *Benchmark RMSPE*. Valores acima de 1 indicam menor similaridade entre as trajetórias, podendo comprometer a qualidade do contrafactual, especialmente quando a variável de interesse é o PIB per capita, situação em que grandes discrepâncias não são plausíveis.

Portanto, a metodologia adotada neste estudo, ao permitir a comparação entre a trajetória observada e a trajetória contrafactual da taxa de crescimento do PIB per capita, oferece uma base consistente para avaliar o impacto do desastre de Fundão sobre o município de Governador Valadares.

## 4 RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os principais resultados: os ajustes pré-intervenção, a comparação entre a trajetória observada de Governador Valadares e sua unidade sintética no período pós-desastre, bem como os indicadores que permitem avaliar a robustez do modelo. Esses elementos fornecem subsídios para compreender os efeitos econômicos do desastre sobre Governador Valadares no período analisado.

A Tabela 1 apresenta a análise descritiva dos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo entre 2010 e 2020. Os dados revelam elevada heterogeneidade: enquanto o PIB médio municipal foi de aproximadamente R\$ 692,6 mil, Governador Valadares registrou valores muito superiores, alcançando cerca de R\$ 6,7 bilhões em 2020, o que, embora distante da capital Belo Horizonte, evidencia sua importância econômica na região do Vale do Rio Doce. Quanto à renda média, a amostra apresentou valor médio de R\$ 12,5 milhões, enquanto Valadares registrou aproximadamente R\$ 111 milhões em 2020, indicando seu peso relativo maior na geração de renda formal. A taxa de crescimento do PIB per capita da amostra teve média de 9,37% e grande variabilidade (desvio-padrão de 21). Já os vínculos formais de trabalhadores com ensino superior apresentaram média de 1.163 na amostra, ao passo que Valadares manteve patamares muito superiores, entre 10 mil e 11 mil vínculos ao longo da década, reforçando sua posição como polo regional.

**Tabela 1** - Estatísticas descritivas

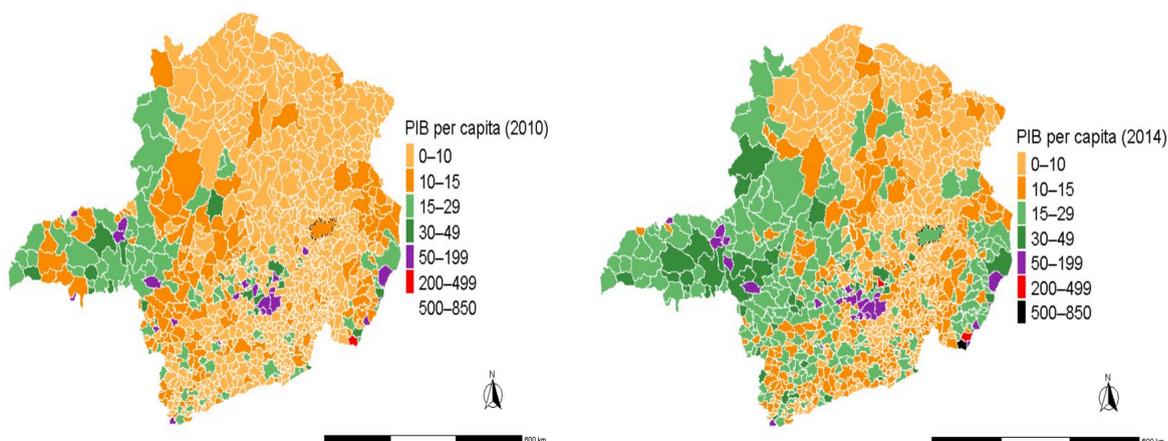
Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
PIB	R\$ 692.609,80	R\$ 3.509.839,00	R\$ 9.454,84	R\$ 99.296.420,00
PIB da Agricultura* <sup>2</sup>	0,16	0,12	0,00	0,90
PIB da Indústria*	0,13	0,14	0,00	0,89
PIB de Serviços*	0,33	0,10	0,04	0,85
População	26.300	98.174	776	2.523.794
Renda Média	R\$ 12.497.930,00	R\$ 125.219.900,00	R\$ 46.354,21	R\$ 4.341.313.000,00
Taxa de Crescimento do PIB per capita	9,37	21,00	-82,70	647,00
Vínculos com Ensino Superior	1.163	5.796	28	165.335

Fonte: Elaboração própria.

<sup>2</sup> (\*) Valores setoriais obtidos a partir da razão entre o PIB de cada setor e o PIB per capita do município, expressos em termos percentuais.

Com base na Figura 2 apresentada, observa-se a distribuição espacial do PIB per capita dos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo, nos anos de 2010 e 2014, pré-desastre da Barragem de Fundão. No ano de 2010, o Triângulo Mineiro e áreas centrais do estado, apresentavam níveis elevados de renda per capita. O município de Governador Valadares, situado na região Leste de Minas Gerais, configura-se como um dos principais polos econômicos do Vale do Rio Doce, exercendo centralidade no comércio e nos serviços regionais e apresentando infraestrutura urbana superior à média da região. Contudo, conforme destacado por Faleiro (2017), o respectivo PIB per capita permanece abaixo dos maiores centros industriais e agropecuários do estado, evidenciando um desempenho econômico relevante, mas distante das regiões de maior especialização produtiva.

**Figura 2** – PIB per capita dos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo: comparação entre 2010 e 2014



Fonte: elaboração própria.

No ano de 2014, observa-se um crescimento do PIB per capita maior no estado de Minas Gerais e no Espírito Santo, fenômeno que, conforme Silva (2004), evidencia a dificuldade de convergência econômica em áreas historicamente menos dinâmicas. Por exemplo, o Triângulo Mineiro registrou elevação no PIB per capita, consolidando-se como uma das regiões mais dinâmicas e economicamente integradas do estado. No Espírito Santo, municípios do eixo metropolitano de Vitória também apresentaram desempenho acima da média, acentuando o contraste com áreas em situação de maior estagnação. Em contrapartida, embora Governador Valadares tenha registrado algum avanço no período, o crescimento dos municípios vizinhos

permaneceu aquém da média estadual e sem alterações estruturais significativas, mantendo a região em um patamar relativamente estagnado. Esse quadro é semelhante em partes do oeste capixaba, onde a economia local não acompanhou o dinamismo observado em outras regiões do estado. Nesse contexto, a região tende a permanecer estagnada, uma vez que os municípios do entorno ou concentram suas atividades econômicas em Governador Valadares, reforçando sua centralidade, ou apresentam baixo crescimento próprio, sem capacidade de induzir transformações mais amplas. Como destacam Silva (2004) e Faleiro (2017), tais características acentuam a vulnerabilidade da região diante de choques externos e reduzem as perspectivas de recuperação no médio prazo.

A Tabela 2 apresenta a comparação entre o município tratado (Governador Valadares), sua unidade sintética e a média geral da amostra nos principais indicadores utilizados no modelo. A Coluna (1) representa os valores observados para Governador Valadares, a Coluna (2) traz os valores da unidade sintética construída, e a Coluna (3) apresenta a média das demais unidades da amostra.

**Tabela 2** - Médias das Variáveis no Período Pré-Intervenção: Município Tratado, Unidade Sintética e Média da Amostra

Variável	Tratamento	Sintético	Média Amostral
PIB da Agricultura	0,009	0,037	0,044
PIB da Indústria	0,135	0,161	0,259
PIB de Serviços	0,573	0,510	0,460
População	270.929	139.197	93.366
Renda Média	R\$ 77.118.775.813,00	R\$ 42.408.793.507,00	R\$ 32.705.318.442,00
Taxa de Crescimento do PIB per capita	8,097	8,101	15,086
Vínculos com Ensino Superior	11.683	5825	4726
Média do PIB da Indústria 2011 a 2013	0,143	0,168	0,261
Média População 2014	276.995	142.924	96.062
Média taxa de Crescimento PIB 2011 a 2013	8,097	8,101	15,086

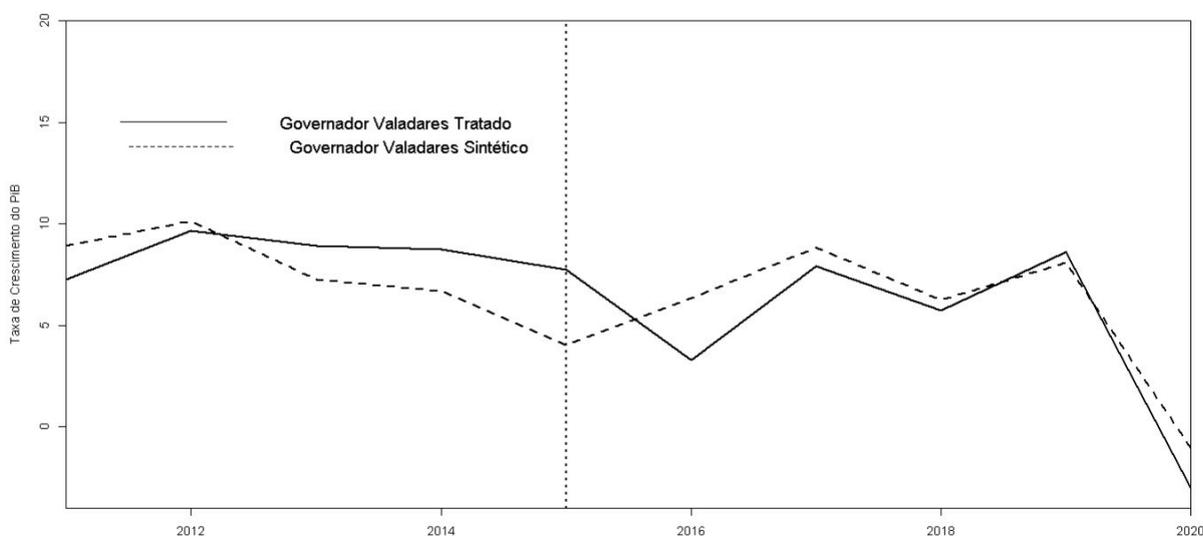
Fonte: Elaboração própria.

Os resultados mostram que, no período pré-intervenção (2010–2014), a unidade sintética conseguiu reproduzir a tendência das variáveis de controle de Governador Valadares. Destacam-se os valores próximos para a taxa de crescimento do PIB per capita (8,097 em GV e 8,101 na unidade sintética), a média da população em 2014 e o valor agregado da indústria. Essa similaridade no comportamento pré-tratamento indica um bom ajuste do modelo sintético, o que é essencial para garantir a confiabilidade das comparações no período pós-intervenção.

Embora as médias gerais da amostra apresentem valores mais distantes, o que reflete a heterogeneidade entre os municípios mineiros, a unidade sintética conseguiu reproduzir de forma

consistente as variáveis mais relevantes para o ajuste. Em contextos de grande diversidade regional, é esperado que nem todas as variáveis de controle alcancem valores semelhantes; ainda assim, a proximidade alcançada em indicadores-chave demonstra a qualidade do modelo e assegura a confiabilidade da avaliação dos impactos econômicos.

**Figura 3** – Governador Valadares e a unidade sintética (pré-tratamento)



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3 apresenta a comparação entre a trajetória da taxa de crescimento do PIB per capita de Governador Valadares (linha contínua) e da unidade sintética (linha tracejada). Observa-se que, no período pré-intervenção (2011-2014), às trajetórias apresentam evolução bastante similar, evidenciando o bom ajuste do modelo, como recomendado por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010). No que se refere à formação da unidade sintética, se destacam alguns municípios que, em conjunto, conseguiram reproduzir de forma mais fiel o comportamento de Governador Valadares antes do desastre. Entre eles, Barbacena acabou assumindo a maior relevância, complementada pela contribuição de cidades como Alfenas e Araxá, que também apresentaram trajetórias econômicas prévias semelhantes. Essa composição evidencia fortemente a validade do modelo estimado, ao demonstrar que a unidade sintética foi formada por municípios que compartilham características estruturais muito próximas às de Governador Valadares, o que permite a estimativa precisa do contrafactual para mensurar os efeitos do rompimento da Barragem de Fundão.

Em 2015, na Figura 3, podemos identificar a queda devido ao rompimento da barragem de Fundão. A partir desse período há um deslocamento entre os grupos de tratamento e controle sintético. Isso indica que o município de Governador Valadares registrou um resultado do PIB per

capita inferior ao projetado pelo contrafactual. Em outras palavras, o desastre da barragem de Fundão em Mariana-MG impactou negativamente o dinamismo econômico local, o que também vem sendo discutido em Azevedo (2023). As perdas econômicas foram significativas logo após o rompimento, ainda que amortecidas nos anos seguintes por indenizações. Como demonstra o estudo de Batista (2024), apesar dos repasses expressivos realizados pela Fundação Renova, incluindo indenizações e investimentos diretos no município a partir de 2017, a recomposição fiscal de Governador Valadares começou a ser percebida de forma mais estável até 2019, quando ocorre uma nova queda em razão da pandemia de COVID-19.<sup>3</sup>

Além da queda observada no PIB de Governador Valadares em 2016, é relevante considerar que os repasses diretos da Fundação Renova, por meio da Agenda Integrada e dos programas de indenização, podem estar contribuindo para acelerar a recuperação econômica local. Em fevereiro de 2020, foi confirmado o aporte de R\$ 516 milhões para projetos de infraestrutura, saúde, incluindo obras no Hospital Regional de GV, educação, e rodovias na região (Agência Minas, 2020). Dados disponíveis em relatórios técnicos apontam que, até 2019, mais de 9,8 mil famílias foram indenizadas em Minas Gerais e no Espírito Santo, com valores médios em torno de R\$ 28 mil por família, alcançando em alguns casos cifras superiores a R\$ 180 mil. Esses montantes foram direcionados a diferentes categorias de atingidos, como pescadores, ribeirinhos e pequenos comerciantes, e representaram um aporte financeiro expressivo nas economias locais, funcionando como uma compensação parcial às perdas produtivas e de renda geradas pelo desastre (Fundação Getúlio Vargas, 2021). No caso de Governador Valadares, embora os relatórios não tragam valores individualizados para o município, a presença de centenas de propriedades cadastradas e de famílias reconhecidas como atingidas permite inferir que parte significativa desses recursos circulou na cidade. Tal fluxo financeiro contribuiu para suavizar os impactos econômicos imediatos e, em alguma medida, favorecer a recuperação da atividade econômica local, reforçando o papel das indenizações como mecanismo de recomposição de renda e estímulo à retomada de serviços e comércio (Fundação Getúlio Vargas, 2021).

Além da análise gráfica, o ajuste do modelo foi avaliado pelo Erro Quadrático Médio da Previsão (*RMSPE*) no período pré-intervenção, que apresentou valor de 2,48. A partir desse resultado, calculou-se o *Benchmark RMSPE* (8,79) e o *Fit Index* (0,28). Esse índice indica que a diferença média entre a trajetória observada e a sintética antes do desastre corresponde a apenas 28% da diferença que ocorreria caso a unidade sintética fosse o dobro ou a metade da tratada,

---

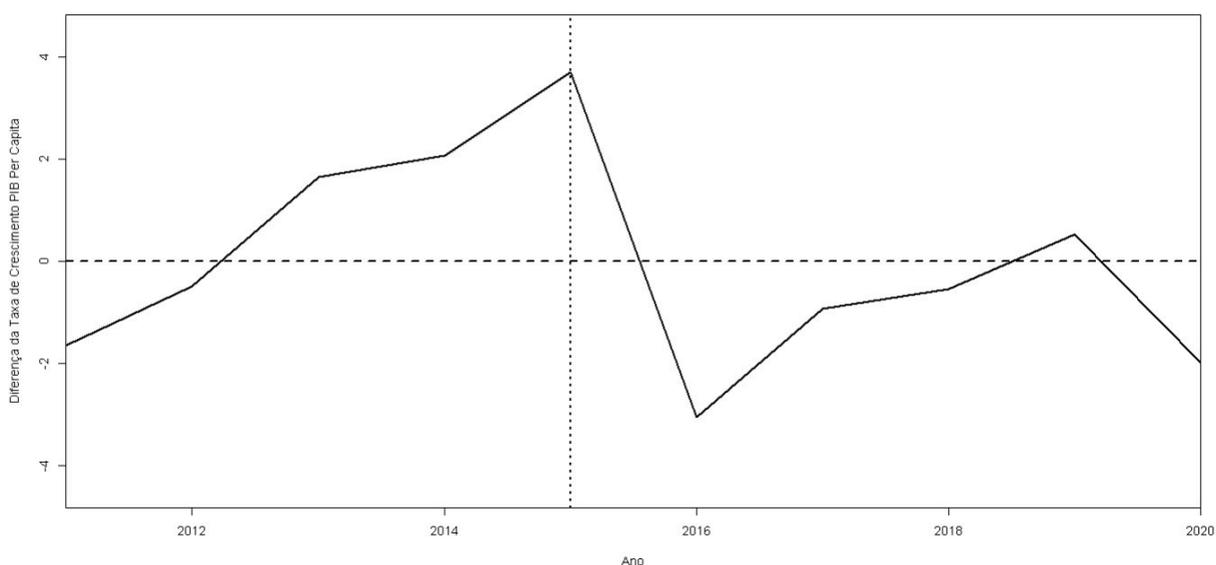
<sup>3</sup> A pandemia de COVID-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde em março de 2020, provocou uma recessão global decorrente da adoção de medidas de isolamento social, interrupção de cadeias produtivas e retração do comércio e serviços, afetando significativamente o PIB brasileiro (IBGE, 2021).

sugerindo um alto grau de similaridade no pré-tratamento. Esses valores confirmam que o modelo conseguiu reproduzir de forma consistente a trajetória de Governador Valadares antes do rompimento da barragem, oferecendo um contrafactual confiável para a estimativa dos impactos econômicos.

A Figura 4 apresenta as diferenças entre a trajetória observada da Taxa de Crescimento PIB per capita de Governador Valadares e o contrafactual estimado pela unidade sintética. Durante o período pré-desastre (2011-2014), as variações permaneceram próximas de zero, indicando que o modelo representou adequadamente o comportamento do município antes do evento. A partir de 2015, observa-se um aumento expressivo da diferença, que chega a ultrapassar quatro pontos percentuais em determinados anos, revelando um desempenho significativamente inferior ao que seria esperado sem o desastre. Essa divergência se mantém até 2020, e evidencia que o rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG teve impacto negativo e persistente sobre a trajetória de crescimento econômico do município.

Segundo Abadie *et al.* (2015), a análise das diferenças é essencial para avaliar a magnitude e a persistência dos impactos, sendo um dos principais indicadores de robustez do modelo. Esses resultados, portanto, demonstram que a diferença observada não pode ser atribuída a flutuações naturais ou choques comuns ao controle sintético, mas, sim, a um efeito específico do desastre.

**Figura 4** - Diferença entre o PIB per capita de Governador Valadares e sua Unidade Sintética (2010–2020)



Fonte: Elaboração própria.

A análise dos pesos atribuídos às variáveis no modelo indicou que aspectos relacionados a indicadores médios históricos e à trajetória recente de crescimento econômico tiveram um papel

central na construção do controle sintético. A média da taxa de crescimento do PIB no período de 2011 a 2013 apresentou a maior importância relativa para ajustar a trajetória de Governador Valadares, seguida pela taxa de crescimento do PIB per capita e pela participação percentual da indústria no PIB per capita. Outras variáveis, como participação percentual dos serviços e da agricultura no PIB per capita, população, renda média e vínculos formais com ensino superior, também contribuíram para a composição do controle sintético, embora com pesos menores. Esses resultados sugerem que, no período pré-intervenção, a estabilidade média do crescimento econômico, combinada ao desempenho recente e à estrutura produtiva industrial, foi determinante para explicar a dinâmica do município, reforçando a relevância desses fatores em estudos sobre impactos de choques exógenos.

Quanto aos atributos utilizados, a média da taxa de crescimento do PIB (2011-2013), a taxa de crescimento do PIB per capita e a participação percentual da indústria no PIB per capita receberam maior relevância na composição do vetor  $v$ , ajustando de forma consistente a trajetória econômica do município. Em contraste, a participação percentual dos serviços e da agricultura no PIB per capita, a população, a renda média e os vínculos formais com ensino superior exerceram influência relativamente menor, atuando como variáveis complementares para refinar o ajuste. Isso demonstra que, no período analisado, o padrão médio de crescimento, o desempenho recente e a participação industrial foram as principais explicações para o comportamento pré-intervenção, ressaltando a importância de considerar esses elementos em avaliações causais de desenvolvimento local.

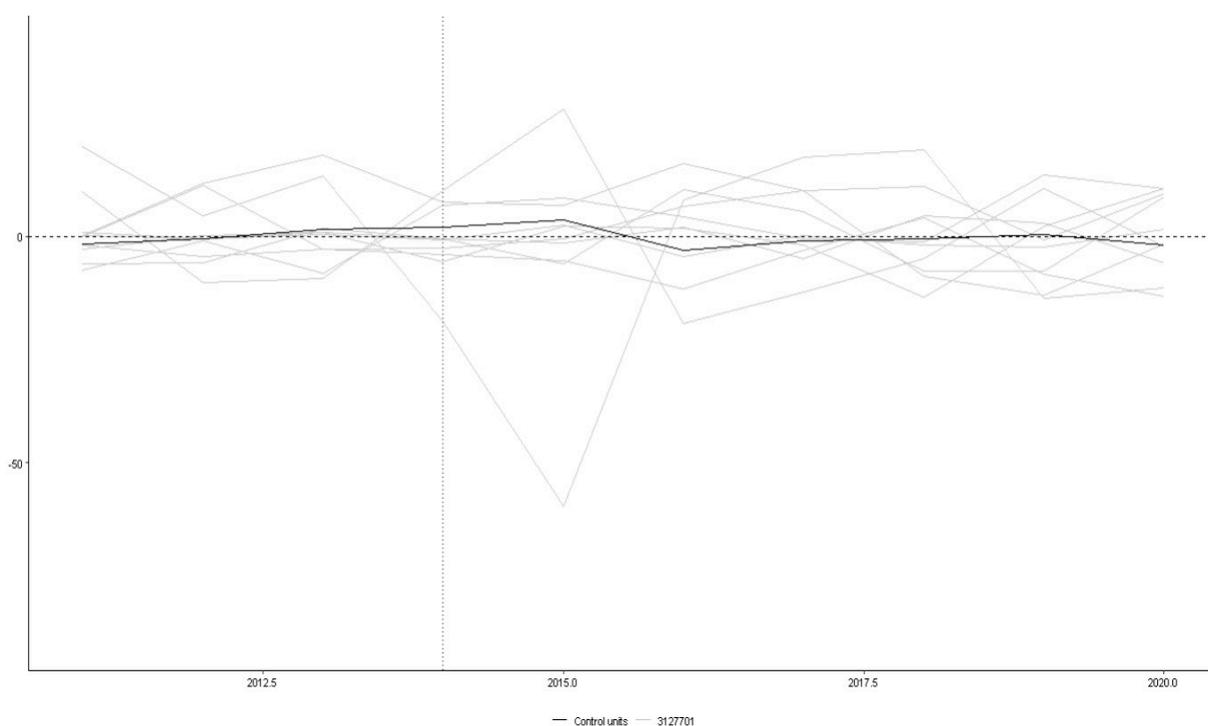
O Estado de Minas Gerais apresenta grande diversidade entre seus municípios, diferenciando-se não apenas na dimensão econômica, mas também nas formas de organização social, ambiental e setorial. Estudos como o de Rivera Peres Jr. *et al.* (2013, 75.) sobre agricultura familiar demonstram que as cidades mineiras manifestam “notória diversidade de formas sociais, organizativas e de produção, interferindo na pretensão de caracterizá-la no Estado de Minas Gerais, igualmente diverso em seu território, em sua economia e cultura”. Esse cenário heterogêneo dificulta a construção de controles sintéticos que combinam múltiplas dimensões, especialmente quando se busca elevar o grau de similaridade entre municípios. Assim, destaca-se a complexidade de encontrar unidades com alinhamento forte em aspectos territoriais, produtivos e demográficos, o que torna particular a trajetória de Governador Valadares e salienta a relevância das variáveis que receberam maior peso na análise.

A Figura 5 apresenta os testes placebo realizados nos municípios que compõem o grupo de controle, simulando a aplicação do método do controle sintético em cidades que não foram afetadas pelo desastre. As linhas cinzas vão representando os gaps de cada unidade placebo, enquanto a

linha destacada em preto mostra o de Governador Valadares. A análise revela que, no período pós-2015, Governador Valadares exibe um padrão de divergência muito mais acentuado em relação à maioria das unidades placebo, especialmente entre 2015 e 2017, quando a diferença entre o observado e o sintético atinge picos significativos. Esse resultado evidencia de forma consistente a robustez do modelo, demonstrando que os efeitos identificados não se repetem nas cidades do grupo de controle e que não refletem variações comuns a outros municípios.

Conforme recomendado por Abadie *et al.* (2010) e aplicado por Simonato *et al.* (2021), o teste placebo é um procedimento fundamental para validar a hipótese de que o impacto estimado está associado exclusivamente ao evento investigado. Assim, a análise dos placebos vai confirmando que a ruptura na trajetória de crescimento de Governador Valadares foi um fenômeno específico e relacionado ao desastre, não sendo resultado de tendências aleatórias ou fatores externos não observados que poderiam ter afetado outros municípios.

**Figura 5** – Teste de Placebo: Diferença entre Municípios de Controle e suas Unidades Sintéticas



Fonte: Elaboração própria.

Após a validação dos resultados pelo teste placebo (Figura 5), torna-se ainda mais relevante considerar o papel estratégico de Governador Valadares na região leste de Minas Gerais. Conforme destaca Faleiro (2017), o município se consolida como polo de desenvolvimento no Vale do Rio Doce, exercendo funções centrais em saúde, serviços e educação para dezenas de cidades vizinhas. Esse caráter de centralidade amplia a sensibilidade da economia local a choques externos, já que eventuais retrações em Valadares repercutem em toda a região imediata. Em consonância,

Batista (2024) mostra que os impactos econômicos foram mais intensos nos municípios diretamente banhados pelo Rio Doce e diminuem gradualmente com a distância, o que reforça tanto a vulnerabilidade quanto a importância estratégica de Governador Valadares na dinâmica regional.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou o impacto do desastre ambiental decorrente do rompimento da Barragem de Fundão, em 2015, sobre a trajetória econômica do município de Governador Valadares-MG. Por meio do método do Controle Sintético, conforme proposto por Abadie, Diamond e Hainmueller (2010; 2015), foi possível construir um contrafactual capaz de reproduzir a trajetória pré-desastre da taxa de crescimento do PIB per capita do município.

Os resultados indicaram que, após 2015, Governador Valadares-MG apresentou taxas de crescimento do PIB per capita inferiores às projetadas pela unidade sintética, demonstrando os efeitos negativos do desastre sobre a economia local. Isso se justifica pela retração do desempenho econômico em municípios atingidos, especialmente naqueles mais dependentes da mineração e dos encadeamentos produtivos afetados (Monteiro e Seixas, 2023; Castro e Almeida, 2019). Mesmo após cinco anos, variáveis como produção, e emprego não retornaram aos patamares pré-desastre, evidenciando que o choque gerado teve efeitos persistentes (Simonato (2017)). Os testes placebo aplicados às unidades do grupo de controle confirmaram que os efeitos observados são específicos de Governador Valadares, não sendo explicados por choques comuns às demais cidades da região.

Esses resultados evidenciam a necessidade de políticas de prevenção e mitigação de riscos voltadas especialmente para áreas com histórico de mineração intensiva. A experiência de Governador Valadares após o desastre é um alerta para gestores públicos sobre a importância da governança ambiental e da preparação para eventos exógenos.

Por fim, este estudo contribui para a literatura ao evidenciar empiricamente impactos como o rompimento da barragem de Fundão, no ano de 2015, são devastadores nos municípios de Minas Gerais e Espírito Santo. Este desastre não apenas desencadeou uma crise socioambiental, mas também expôs as fragilidades socioeconômicas das regiões altamente dependentes da mineração e enfatizou a necessidade de políticas públicas e investimentos estratégicos para mitigar os efeitos desse problema e promover o desenvolvimento econômico. Reitera-se a urgência de ampliar a pesquisa com abordagens multidimensionais, incorporando variáveis sociais, ambientais e institucionais às análises econômicas. Os resultados salientam a importância da integração entre políticas públicas de segurança de barragens, fortalecimento da resiliência econômica e

desenvolvimento sustentável em áreas vulneráveis, assegurando maior proteção à população e ao meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABADIE, Alberto; DIAMOND, Alexis; HAINMUELLER, Jens. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of the American Statistical Association**, v. 105, n. 490, p. 493-505, 2010.

ABADIE, Alberto; DIAMOND, Alexis; HAINMUELLER, Jens. Comparative politics and the synthetic control method. **American Journal of Political Science**, v. 59, n. 2, p. 495-510, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ajps.12116>

ABADIE, Alberto; DIAMOND, Alexis; HAINMUELLER, Jens. Synthetic control methods for comparative case studies: estimating the effect of California's tobacco control program. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 105, n. 490, p. 493-505, 1 jun. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>.

ABSHER, Samuel; GRIER, Kevin; GRIER, Robin. The economic consequences of durable left-populist regimes in Latin America. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 177, p. 787-817, 2020.

ADHIKARI, Bibek; ALM, James. Evaluating the economic effects of flat tax reforms using synthetic control methods. **Southern Economic Journal**, v. 83, n. 2, p. 437-463, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/soej.12152>

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Arrecadação da CFEM**. Brasília: ANM, 2023. Disponível em: [https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/relatorios/arrecadacao\\_cfem.aspx](https://sistemas.anm.gov.br/arrecadacao/extra/relatorios/arrecadacao_cfem.aspx). Acesso em: 15 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Relatório de arrecadação da CFEM 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/cfem>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Voto do Processo nº 48500.000917/2021-32: Suspensão da operação da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (Candongá)**. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/cedoc/areh20223016\\_1.pdf](https://www2.aneel.gov.br/cedoc/areh20223016_1.pdf). Acesso em: 22 ago. 2025.

BARBIER, Edward B. Poverty, development and environment. **Environment and Development Economics**, v. 15, n. 6, p. 635–660, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355770X1000032X>.

BATISTA, Isabella Carraro Azevedo. **Perdas econômicas e recuperação fiscal pós-rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG: um estudo focado em Governador Valadares.** 2024. Monografia (Graduação em Economia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Governador Valadares, 2024. 33 p.

BRASIL. **Lei nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017.** Altera a legislação sobre a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13540.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13540.htm). Acesso em: 12 ago. 2025.

BRASIL. Ministério Público Federal; MINAS GERAIS. Ministério Público do Estado; ESPÍRITO SANTO. Ministério Público do Estado; UNIÃO; ESTADO DE MINAS GERAIS; ESTADO DO ESPÍRITO SANTO; SAMARCO; VALE; BHP BILLITON. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta – TTAC.** Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/cif/arquivos/ttac/cif-ttac-completo.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

CARVALHO, Délton Winter de. The ore tailings dam rupture disaster in Mariana, Brazil 2015: what we have to learn from anthropogenic disasters. **Natural Resources Journal**, v. 59, n. 2, p. 281-320, 2019.

CASTRO, Lucas Siqueira de; ALMEIDA, Eduardo. Desastres e desempenho econômico: avaliação do impacto do rompimento da barragem de Mariana. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 406-429, jan./abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p406>.

COSTA, Marli Marlene Moraes da; QUINTANA, Stéffani das Chagas. As mulheres rurais e a luta pela igualdade de gênero no Brasil: uma análise à luz do ecofeminismo e da sustentabilidade. **Caderno Humanidades em Perspectivas**, Curitiba, v. 8, n. 20, p. 41-50, 2024.

DER-MG. **Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais. Governo de Minas Gerais.** Disponível em: <https://www.der.mg.gov.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.

DUTRA, Pollyana Rocha Franco. **Análise dos impactos relacionados ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG com ênfase em recursos hídricos.** 2018. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 27 jul. 2018. 52 p.

FALEIRO, Josiane Rafaella. **Vale do Rio Doce: potencialidades de desenvolvimento e carências apresentadas pelos municípios da região através de uma aplicação de análise fatorial**. 2017. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. 67 p.

FONTELA, Bruna de Souza. **Efeitos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana no resultado das eleições de 2016**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade do Vale dos Sinos, Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação em Economia, Porto Alegre, 2020. 70 p.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Projeto Rio Doce – **Nota Técnica nº 53: Análise dos modelos indenizatórios da Fundação Renova e balanço da implementação do Novel**. Rio de Janeiro: FGV, 2021. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/d5d79c25-2c37-4ad0-bebe-0e894b31e4e9>. Acesso em: 22 ago. 2025

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Estudo do impacto econômico do rompimento da Barragem de Fundão nas regiões afetadas**. Projeto Rio Doce. Rio de Janeiro: FGV, 2021. Disponível em: <https://projektoriodoce.fgv.br/economia>. Acesso em: 11 mar. 2025.

GONZALEZ, Rodrigo Barbone; ORNELAS, José Renato Haas; SILVA, Thiago Christiano. The value of clean water: evidence from an environmental disaster. **Banco Central do Brasil, Working Paper Series**, n. 583, ago. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022: primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades – Governador Valadares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/governador-valadares/panorama>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html>.

INFRAESTRUTURA-MG. **Plano Estratégico Ferroviário de Minas Gerais (PEF-MG)**. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.infraestrutura.mg.gov.br/transparencia/program/1562-PEF>. Acesso em: 23 ago. 2025.

MYRDAL, Gunnar. **Teoria econômica e regiões subdesenvolvidas**. Tradução de Ewaldo Corrêa Lima. 2.ed. Rio de Janeiro: ISEB, 1968.

MONTEIRO, Pedro Henrique Silva; SEIXAS, Renato Nunes de Lima. Avaliação do impacto econômico de médio prazo sobre os municípios atingidos pelo desastre de Mariana, Minas Gerais. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, v. 20, n. 36, p. 258-279, jul./dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22481/ccsa.v20i36.12810>.

PERES JR, Miguel Rivera; PEREIRA, Viviane Guimarães; SIQUEIRA, Paulo Henrique de Lima; ANTONIALLI, Luiz Marcelo. Caracterização e agrupamento de municípios de Minas Gerais em relação à agricultura familiar. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 3, p. 75-99, 2013.

RUIZ, Ricardo; RIBEIRO, Rafael; CANTELMO, Wesley; LOPES, Aleff. Reparação econômica e governança institucional: os casos das rupturas de barragem nos municípios de Mariana e Brumadinho. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 51., 2023, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ANPEC, 2023.

SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. Tradução de Laura Teixeira Motta; revisão técnica de Ricardo Doninelli Mendes. São Paulo: Companhia das Letras, 2000. (Companhia de Bolso).

SILVA, Elydia; FONTES, Rosa; ALVES, Luiz Fernando. Análise das disparidades regionais em Minas Gerais. *In*: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 11., 2004, Diamantina. **Anais [...]**. Diamantina: Universidade Federal de Minas Gerais, Cedeplar, 2004.

SILVA, Lisiana Lawson Terra da; FREITAS, André Luis Castro de. Educação ambiental crítica e ecofeminismo: uma potente lente epistemológica para uma educação ambiental popular e feminista. **Horizontes - Revista de Educação**, v. 40, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24933/horizontes.v40i1.1357>.

SIMONATO, Thiago Cavalcante. **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG.** 2017. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.108 p.