



Avaliação do impacto econômico de médio prazo sobre os municípios atingidos pelo desastre de Mariana, Minas Gerais

*Pedro Henrique Silva Monteiro¹
Renato Nunes de Lima Seixas²*

Resumo: Em novembro de 2015 ocorreu o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no município de Mariana, em Minas Gerais, Brasil. Com objetivo de analisar a recuperação econômica de médio prazo (de 2016 a 2018) dos municípios atingido pelo desastre, foram estimados modelos de diferenças em diferenças canônicos e com efeitos dinâmicos para variáveis econômicas: PIB municipal; valor da produção animal; área colhida; valor da produção das lavouras de culturas temporárias e permanentes. Como grupo de controle foram utilizados todos os municípios pertencentes aos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo que não foram afetados pelo desastre. O grupo de tratamento é formado pelos trinta e quatro municípios afetados de forma direta, somados aos dezoito municípios atingidos indiretamente pelo desastre. Os principais resultados apontaram perdas nos municípios atingidos no que se refere ao valor da produção animal nos anos de 2016 e 2017 com uma recuperação já no ano de 2018. As estimações com efeitos dinâmicos para o valor da produção das lavouras também indicaram perdas dos municípios atingidos no ano de 2016, porém se observa uma trajetória de recuperação já a partir do ano de 2017 e que se estende a 2018.

Palavras-chave: Minas Gerais. Impacto econômico. Mariana. Desastre tecnológico.

Evaluation of the medium-term economic impact for the municipalities affected by the disaster in Mariana, Minas Gerais

Abstract: In November 2015, the Fundão Dam, located in the municipality of Mariana, in Minas Gerais, Brazil, collapsed. To analyze the medium-term economic recovery (from 2016 to 2018) of the municipalities affected by the disaster, canonical and dynamic difference-in-difference models were estimated, for economic variables: municipal GDP; value of animal production; harvested area; production value of temporary and permanent crops. As a control group, all municipalities belonging to the states of Minas Gerais and Espírito Santo, which were not affected by the disaster, were used. The treatment group is made up of the thirty-four

¹ Economista. Mestre em Economia pela Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Ciências Jurídicas e Econômicas. E-mail: pshilvam3@gmail.com.

² Economista. Doutor em Economia Agrícola e Recursos Econômicos pela Universidade da Califórnia. Professor do Departamento de economia da Universidade Federal do Espírito Santo. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0510-5181>. E-mail: renato.seixas@ufes.br.

municipalities directly affected, plus the eighteen municipalities indirectly affected by the disaster. The main results pointed losses in the affected municipalities about the value of animal production in the years 2016 and 2017 with a recovery already in 2018. The estimates with dynamic effects for the value of crop production also indicated losses in the municipalities achieved in 2016, however, a recovery trajectory can be observed from 2017 onwards, which extends to 2018.

Keywords: Minas Gerais. Economic Impact. Mariana. Technological Disaster.

Introdução

No dia 5 de novembro de 2015 a barragem utilizada para depósito de rejeitos de mineração de ferro de Fundão, localizada em Mariana, se rompeu. A barragem era de responsabilidade da Samarco S.A., uma mineradora privada, de propriedade da empresa brasileira Vale e da australiana BHP Billiton. O rompimento da barragem liberou cerca de 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração no meio ambiente, ocasionando dezenove óbitos e grandes prejuízos materiais. Toda a lama que se formou afetou diretamente trinta e cinco municípios, destruindo completamente três distritos e atingindo cerca de 1,1 milhão de pessoas. Os rejeitos percorreram uma distância de 663,2 km por corpos d'água e causando danos a 1.469 hectares de terra, incluindo áreas de preservação ambiental. Os efeitos imediatos na economia local incluíram a interrupção das atividades da Samarco, que representa uma importante fonte de renda e emprego para a região, e a proibição da pesca na foz do Rio Doce (MATSUNAGA, 2020).

O desastre de Mariana é um exemplo de “desastre tecnológico”³ ligado à mineração. Devido à sua dimensão, torna-se necessário analisar a dinâmica da recuperação econômica dos municípios atingidos em médio prazo. Simonato (2017), Castro e Almeida (2019) e Niquito, Pozzobon, Halmenschlagerb e Ribeiro (2019) apresentaram evidências de impactos econômicos negativos em curto prazo nos estados e municípios atingidos. Com isso, este artigo tem o objetivo de melhor compreender o ritmo da recuperação econômica dos municípios atingidos dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Para tanto, serão analisados os efeitos do rompimento da barragem sobre o PIB municipal, valor de produção das lavouras, valor da produção animal e área plantada, nos anos a partir de 2016 (período pós-rompimento). Serão estimados modelos de diferenças em diferenças canônicos e com efeitos dinâmicos para cada variável dependente, com o propósito de melhor entender as tendências pré-tratamento entre o

³ Esse tipo de evento se assemelha a desastres naturais (inundações, deslizamentos, terremotos, etc.) pelo seu potencial destrutivo e efeitos econômicos adversos, porém, decorrem de erros humanos, falhas em projetos de engenharia, mau funcionamento de máquinas e falhas de regulação (NIQUITO, POZZOBON, *et al.*, 2021).

grupo de tratados e de controle e avaliar os resultados para o grupo de tratamento, no período pós-tratamento. O corte temporal da análise vai do ano de 2010 a 2018, o que possibilita a análise de três anos após o rompimento da Barragem de Fundão, ocorrida em novembro de 2015.

O grupo de tratamento selecionado para a análise compreende trinta e quatro municípios atingidos diretamente, ou seja, todos que estavam no caminho da lama, e os municípios atingidos indiretamente, reconhecidos pela Fundação Renova e pela Fundação Ramboll, somando o total de cinquenta e dois municípios (RAMBOLL, 2017). O grupo de controle é composto pelos demais municípios dos Estados do Espírito Santo e de Minas Gerais que não estavam no caminho da lama ou que não foram reconhecidos por essas fundações como indiretamente atingidos.

Em relação ao modelo de estimação, este trabalho se diferencia dos demais porque inclui a estimação de modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos. Tal abordagem permite utilizar vários períodos e a variação no tempo de exposição ao tratamento e, assim, capturar a evolução do efeito ao longo dos anos (CALLAWAY; SANT'ANNA, 2021).

Levando-se em conta que a literatura existente sobre os impactos econômicos dos estados e municípios atingidos pelo desastre de Mariana já reconhece os impactos de curto prazo nos municípios, a hipótese deste trabalho é que as variáveis dependentes analisadas sobre o efeito do rompimento apresentem resultados não significantes no período pré-tratamento. No período pós-tratamento, espera-se que, em 2016 (primeiro ano imediatamente após o rompimento da barragem), as estimativas sejam significativas, com resultados que evidenciem o impacto negativo do rompimento sobre essas variáveis. Nos anos seguintes, espera-se que as estimativas, gradativamente, voltem a se mostrar insignificantes. Os principais resultados apresentaram perdas significativas na área colhida. Também foram reveladas perdas no curto prazo, seguidas da recuperação dos resultados dos municípios atingidos, na produção animal e produção das lavouras.

Na próxima seção, apresenta-se o enquadramento do trabalho, que se divide entre informações a respeito da estratégia empírica, base de dados, grupo de controle e estatísticas descritivas. A terceira seção traz os resultados das estimações dos modelos canônicos e, posteriormente, dos dinâmicos. A quarta seção fica responsável pela apresentação da conclusão desta pesquisa.

Enquadramento empírico

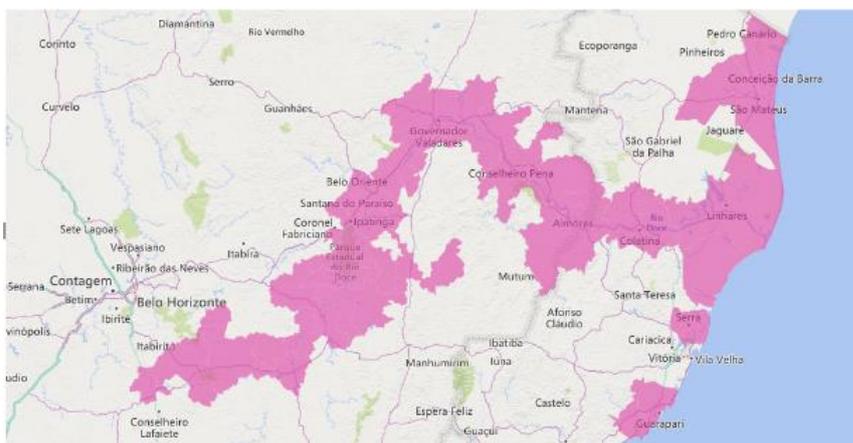
Os efeitos do desastre de Mariana foram semelhantes aos de um desastre natural (NIQUITO; POZZOBON, *et al.*, 2021). Ao analisar os impactos econômicos de desastres naturais, Kousky (2014) revisou a literatura e trouxe informações sobre a modelagem de potenciais danos climáticos futuros e políticas de adaptação climática relacionadas a esses eventos extremos. Mostrou ainda que países em desenvolvimento arcam com ônus maiores na ocorrência de desastres naturais, especialmente quanto ao número de mortes. De acordo com Klomp e Valckx (2014), diversas catástrofes naturais pelo mundo tiveram um tremendo impacto sobre os meios de subsistência de diferentes países. Os trabalhos desses autores validam a ideia de que tais desastres, principalmente em países em desenvolvimento, costumam causar efeitos negativos de curto prazo sobre o Produto Interno Bruto total e setorial das localidades que sofreram a intervenção do evento, além de mudanças na dinâmica do mercado de trabalho (NIQUITO, POZZOBON, *et al.*, 2021).

Para determinar qual região será utilizada na análise, com o objetivo de definir a população-alvo, faremos uma breve diferenciação entre os municípios diretamente e indiretamente afetados. Os municípios que estavam no caminho da lama são os que foram diretamente afetados e que, em sua maioria, fazem parte da bacia do Rio Doce. Os municípios indiretamente afetados não podem ser caracterizados de uma forma única, uma vez que as consequências sofridas por essas regiões são diversas. Para que fosse possível sintetizar os municípios indiretamente afetados em um mesmo grupo, optou-se por selecionar aqueles que foram reconhecidos pelas Fundações Renova e Ramboll, a primeira, entidade responsável pelas ações de reparação dos danos do desastre de Mariana; a segunda, empresa contratada pelo Ministério Público Federal para acompanhar e avaliar o trabalho da Fundação Renova (MATSUNAGA, 2020).

Os municípios afetados no Estado do Espírito Santo são: Baixo Guandu, Colatina, Marilândia, Aracruz, Linhares, Conceição da Barra, Fundão, São Mateus, Serra, Anchieta e Guarapari. Os municípios atingidos no Estado de Minas Gerais são: Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Barra Longa, Mariana, Itueta, Resplendor, Aimorés, Tumiritinga, Naque, Galileia, Periquito, Alpercata, Conselheiro Pena, Belo Oriente, Governador Valadares, Córrego Novo, Dionísio, Raul Soares, São Domingos do Prata, Timóteo, Sem-Peixe, Fernandes Tourinho, Marlieria, Bugre, Pingo-d'Água, São Jose do Goiabal, Sobralia, São Pedro dos Ferros, Iapu, Rio Casca, Bom Jesus do Galho, Ipaba, Santana do Paraíso, Caratinga, Ipatinga, Ponte Nova, Catas

Altas, Santa Bárbara, Congonhas e Ouro Preto (MATSUNAGA, 2020). A Figura 1 mostra a localização de todos esses municípios.

Figura 1: Municípios atingidos direta e indiretamente pelo Desastre de Mariana



Fonte: Elaborado pelos autores.

Estratégia empírica

Os modelos de diferenças em diferenças são utilizados em situações nas quais um tratamento foi dado a algumas unidades e negado a outras, ao acaso. Esse tipo de evento é muitas vezes denominado de “experimento natural”, pois é baseado em uma variação que ocorre naturalmente em alguma variável de tratamento que afeta apenas algumas unidades ao longo do tempo (CUNNINGHAM, 2021). O desastre de Mariana é exemplo de um experimento natural, uma vez que o rompimento da Barragem afetou apenas parte da população dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, enquanto a outra parte da população não sofreu com os danos do evento.

O objetivo deste trabalho é verificar se, no período imediatamente pós-tratamento, as estimativas apresentam evidências de impacto negativo do rompimento sobre indicadores de atividade econômica dos municípios atingidos e, nos anos seguintes, se esses indicadores voltam gradativamente à sua trajetória normal, ou seja, se, nos anos seguintes, existe a dissipação dos efeitos do desastre. Para isso, é necessária a utilização de mecanismos, além de uma simples comparação entre os municípios atingidos e não atingidos, ou somente uma comparação entre o período anterior e posterior ao desastre dentro do grupo de municípios atingidos.

Em primeiro lugar serão realizadas estimativas de modelos canônicos de diferenças em diferenças com dois períodos, anterior e posterior ao desastre, e dois grupos, um de controle e um de tratamento. Como variáveis dependentes serão utilizadas a produção animal, a produção das lavouras, o PIB municipal e a área colhida. A equação desse modelo a ser estimada é:

$$Y_{mt} = \alpha + \gamma TRATADO_m + \lambda D_t + \delta (TRATADO_m \times D_t) + \beta X_{mt} + \varepsilon_{mt} \quad (1)$$

Nessa equação, $TRATADO_m$ é uma variável dummy igual a 1 para os municípios tratados, e D_t uma variável dummy para o período pós-rompimento, isto é, após 2015. O vetor X_{mt} representa covariadas de controle e ε_{mt} representa o termo de erro. O parâmetro de interesse é o relacionado à interação $TRATADO_m \times D_t$ que identifica o efeito causal do rompimento sobre a variável dependente.

Com o objetivo de melhor entender a dinâmica ano a ano do grupo de tratamento e o controle nos períodos pré-tratamento e pós-tratamento, utilizaremos a metodologia de Estudo de Eventos (CUNNINGHAM, 2021). Esse modelo de regressão inclui avanços e atrasos no tratamento (*leads and lags*), que permitem captar os efeitos do rompimento ano a ano sobre os municípios atingidos, permitindo, assim, avaliar as derivações de pré-tratamento, em vez de representar graficamente os dados brutos. Esses efeitos dinâmicos são divididos em efeitos antecipatórios, ou seja, anteriores ao tratamento e efeitos pós-tratamento e permitem verificar em que grau os efeitos de tratamento, no período pós-tratamento, são dinâmicos e se os dois grupos eram comparáveis na dinâmica de resultado pré-tratamento (CUNNINGHAM, 2021).

A equação de regressão em que este estudo se baseia é:

$$Y_{mt} = \gamma_m + \lambda_t + \sum_{\tau=-q}^{-1} \gamma_{\tau} D_{m\tau} + \sum_{\tau=0}^m \delta_{\tau} D_{m\tau} + \beta X_{mt} + \varepsilon_{mt} \quad (2)$$

Onde, Y_{mt} representa a variável dependente de interesse, para o município m no ano t ; γ_m e λ_t são os efeitos fixos dos municípios e do tempo, respectivamente D é uma variável binária que recebe o valor 1 se o município foi atingido pelo rompimento da barragem e 0 para situação contrária. O tratamento ocorre no tempo 0, e foram incluídos q períodos para captar os efeitos antecipatórios e m períodos para captar os atrasos ou efeitos pós-tratamento; X_{mt} representa o grupo variáveis econômicas do município m no ano t , tais como contingente populacional, valor adicionado da agropecuária, valor adicionado da indústria, área colhida, receita corrente dos municípios, despesas com gestão ambiental, despesas com saúde e despesas sociais; ε_{mt} é o termo de erro associado ao município m e ao ano t .

Base de dados

A base de dados utilizada neste trabalho foi compilada das informações secundárias disponibilizadas pelo IBGE e pelo site Compara Brasil. O objetivo é reunir o máximo de variáveis econômicas e sociais que possibilitem o estudo da recuperação econômica dos municípios atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana. A base de dados conta com informações de PIB municipal, valor da produção animal, valor da produção das lavouras (este sendo a soma do valor da produção das culturas permanentes com as culturas temporárias), área colhida (que representa a soma da área colhida das culturas temporárias com a área colhida das culturas permanentes), contingente populacional municipal, e valores adicionados dos serviços, da indústria e da administração. Todas essas informações são do âmbito municipal e disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

A base de dados também conta com informações de despesas com gestão ambiental, despesas com saúde e despesa com assistência social, por serem observações importantes acerca das características econômicas de cada município, obtidas por meio do site Compara Brasil⁴.

As informações do PIB dos municípios, valor da produção animal, valor da produção das lavouras e área colhida serão as variáveis dependentes das regressões. Como covariáveis foram escolhidos o valor adicionado da indústria, dos serviços e da administração e informações referentes às despesas dos municípios.

Grupo de controle

O grupo de controle foi composto pelos municípios dos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais que não foram atingidos pelo desastre de Mariana. Desse modo, a seleção de municípios dos mesmos Estados colabora para que os municípios escolhidos para o grupo de controle sejam mais semelhantes aos municípios tratados. No total contabilizam-se 878 municípios, sendo 67 do Espírito Santo e 811 de Minas Gerais.

A tabela 1 expõe testes de significância para as variáveis, com o objetivo de encontrar algum viés de seleção relacionado a variáveis não observáveis associadas ao erro, por meio de diferenças sistemáticas antes do tratamento entre o grupo de tratamento e o grupo de controle. Ao nível de significância de 5%, apenas duas variáveis se mostraram significativas no teste, ou seja, suas médias no período pré-tratamento se mostraram iguais. Essas variáveis foram a área colhida em hectares e as despesas com saúde *per capita* em reais.

⁴ <http://comparabrasil.com/municipios/paginas/modulo2.aspx>.

A tabela 1 apresenta evidências de diferenças sistemáticas entre o grupo de tratamento e o grupo de controle no pré-tratamento, ou seja, nos anos anteriores a 2015. A identificação dessas diferenças sistemáticas impossibilita uma comparação simples entre o grupo de tratamento e o grupo de controle para que sejam inferidas informações a respeito dos efeitos do rompimento sobre os municípios atingidos.

Tabela 1: Teste t anterior ao desastre (2010 – 2015)

Variável	Grupo Tratados	de Grupo Controle	de t	p- valor
PIB (mil reais)	1.391.796.569	543.913.068	-4.852	0
População	46.422.796	24301.11	-4.341	0
PIB <i>per capita</i> (%)	31.027	20.922	-3.56	0
Valor adicionado da indústria (%)	23.961	14.987	-6.2	0
Valor adicionado da administração (%)	30.853	32.543	1.683	0.093
Valor adicionado de serviços (%)	35.265	33.873	-1.993	0.047
Área colhida (hectares)	652.888	681.077	0.644	0.52
Despesas com assistência social <i>per capita</i> (R\$)	0.128	0.113	-2.413	0.017
Despesas com gestão ambiental <i>per capita</i> (R\$)	0.021	0.015	-2.526	0.012
Despesas com saúde <i>per capita</i> (R\$)	0.745	0.73	-0.634	0.527
Valor produção animal (mil reais)	9.073	14.447	7.109	0
Valor das lavouras (mil reais)	32.309	44.748	2.653	0.008

Fonte: Elaborada pelos autores.

Estatísticas descritivas

A tabela 2 resume as informações de todas as observações de cada variável para cada município ao longo dos anos analisados, por meio da exposição de estatísticas descritivas. Com base nesta tabela, temos informação sobre a quantidade de observações de cada uma das variáveis presentes na coluna “N”. As médias de cada uma das variáveis estão expostas na coluna “média”. As colunas “Mín.” e “Máx.” mostram os valores mínimos e máximos de cada uma das variáveis, respectivamente. Por fim, na última coluna estão presentes os valores do desvio padrão de cada variável.

Para melhor visualizar a dinâmica das variáveis dependentes escolhidas para as regressões realizadas neste trabalho, foi feita uma comparação gráfica entre as médias do grupo de tratados com o grupo de controle para essas variáveis, do ano de 2010 ao ano de 2018 evidenciando os períodos pré e pós-tratamento. As figuras 2, 3, 4 e 5 expõem, respectivamente, as médias do PIB municipal, valor da produção animal municipal, valor de produção das lavouras e área colhida para cada município.

Tabela 2: Estatísticas descritivas dos municípios

Variável	N	Média	Mín.	Máx.	Desvio Padrão
PIB (mil reais)	8379,00	654947,90	9628,000	91957092,00	3360272,00
População	8379,00	26112,01	786,000	2523794,00	97537,55
PIB <i>per capita</i> (mil reais)	8379,00	20,94	5,110	1077,41	33,25
Valor adicionado administração (%)	8379,00	33,03	0,890	69,74	14,29
Valor adicionado da indústria (%)	8379,00	14,69	0,450	89,63	14,94
Valor adicionado de serviço (%)	8379,00	35,01	4,150	89,80	11,29
Área colhida (hectares)	8379,00	679,50	3,560	10727,47	93757,00
Despesas sociais <i>per capita</i> (R\$)	7213,00	0,11	0,004	2,18	0,09
Despesas com gestão ambiental <i>per capita</i> (R\$)	7213,00	0,02	0,000	1,86	0,05
Despesas com saúde <i>per capita</i> (R\$)	7213,00	0,75	0,030	4,52	0,32
Valor produção animal (mil reais)	8363,00	14,21	0,003	1001,45	31,81
Valor produção de lavouras (mil reais)	7872,00	45,13	0,010	1297,80	97,5

Fonte: Elaborada pelos autores.

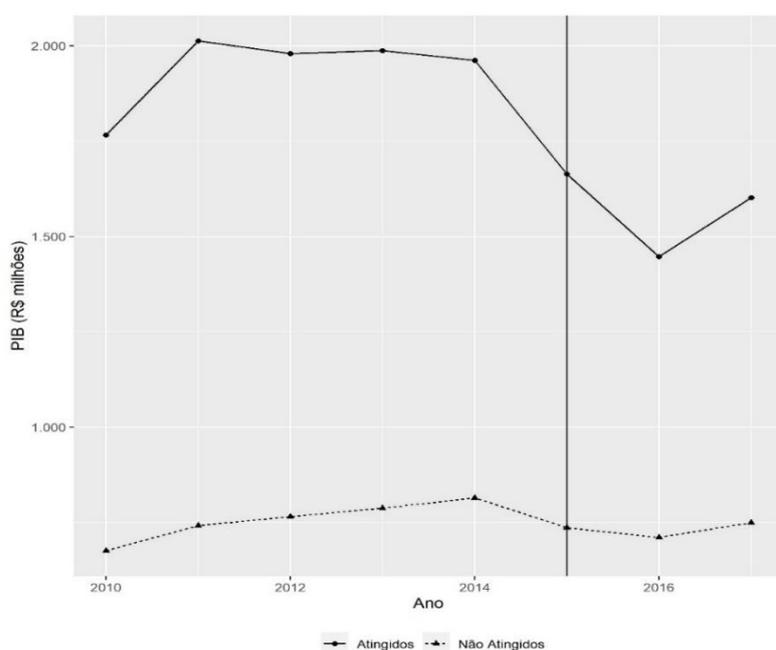
A análise das figuras 2, 3, 4 e 5 indica que, nas variáveis valor da produção animal e valor da produção das lavouras, as tendências das médias no período pré-tratamento expõem semelhanças entre o grupo de controle e o grupo de tratamento. No período pós-tratamento, a variável dependente correspondente ao valor da produção animal apresentou tendências inversas para o grupo de controle e tratamento no período de 2016 a 2017, quando o grupo de controle apresentou ganhos no valor da produção animal, e o grupo de tratamento, perdas. Do ano de 2017 para 2018, os dois grupos apresentaram perdas no valor da produção animal.

Em relação à dinâmica da produção das lavouras no período pós-tratamento, essa variável também apresentou tendências inversas entre os dois grupos, registrando perdas para o

grupo de tratados e relevantes ganhos para o grupo de controle, do ano de 2016 a 2017. No período seguinte, o valor da produção das lavouras permaneceu mostrando resultados inversos entre os grupos, porém, dessa vez, o grupo de tratamento apresentou inclinação positiva.

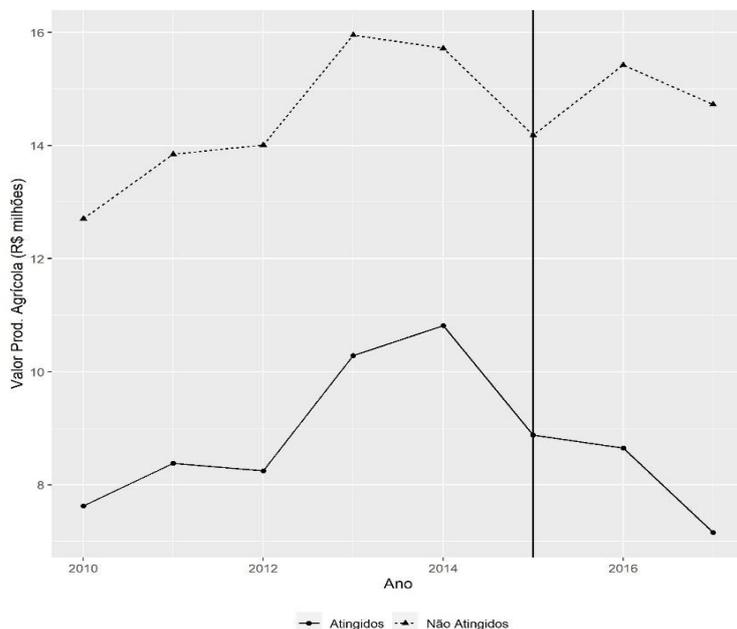
A variável que corresponde aos valores do PIB dos municípios não apresenta as mesmas semelhanças no período pré-tratamento e no período pós-tratamento. Observa-se uma queda mais acentuada do grupo de controle, entre 2016 e 2017, e uma recuperação mais rápida, também para o grupo de controle no período de 2017 a 2018, em relação ao grupo de tratamento. A variável que corresponde à área colhida também não apresentou tendências semelhantes no período pré-tratamento. No período pós-tratamento, o grupo dos municípios tratados apresentou uma trajetória inferior ao desempenho do grupo de tratados. Tanto no período de 2016 a 2017, quanto no período de 2017 a 2018, o grupo de tratados apresentou uma inclinação negativa maior na média da área colhida, em relação ao grupo de controle.

Figura 2: Média do PIB para o grupo de municípios atingidos e não atingidos



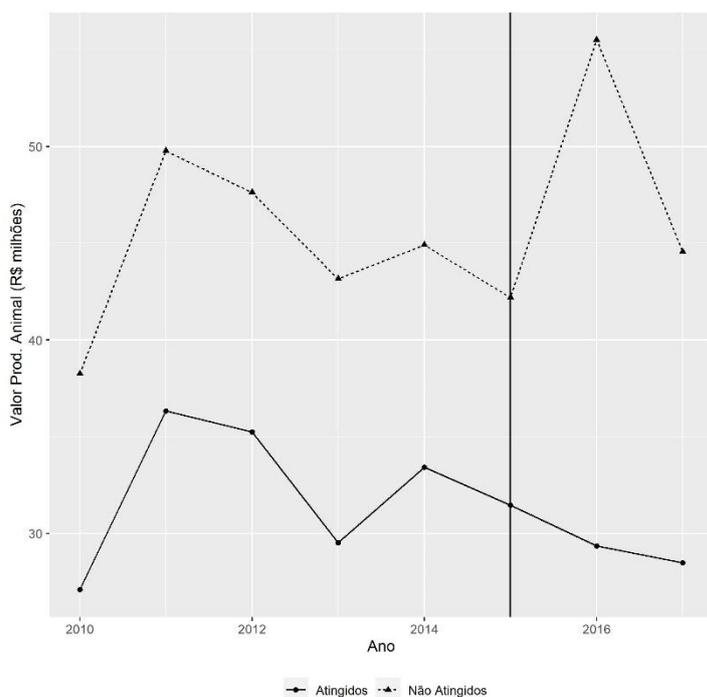
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3: Média do valor da produção animal para o grupo de municípios atingidos e não atingidos

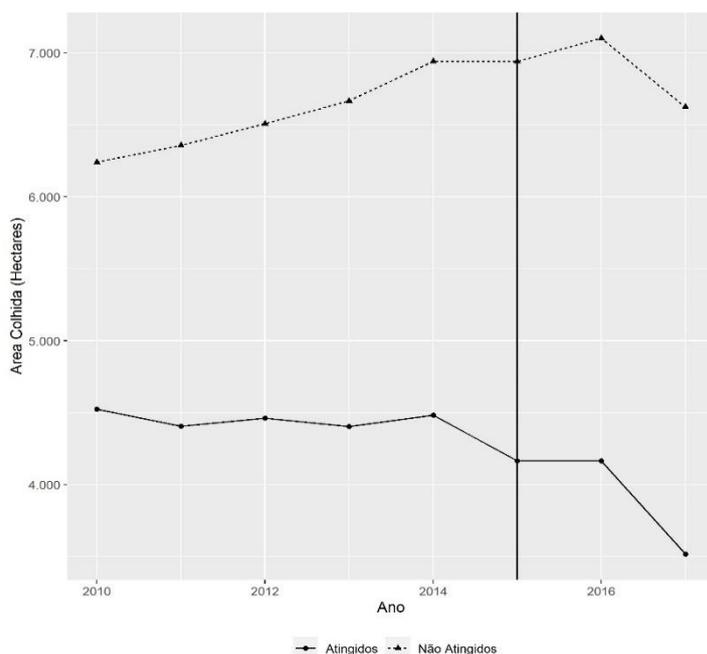


Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4: Média do valor da produção das lavouras para o grupo de municípios atingidos e não atingidos



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 5: Média da área colhida para o grupo de municípios atingidos e não atingidos

. Fonte: Elaborada pelos autores.

Para melhor avaliar os danos do desastre sobre os municípios atingidos e, posteriormente, examinar a recuperação econômica destes, foram rodados modelos de diferenças em diferenças canônicos, para cada variável dependente e, posteriormente, modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos, também para cada uma das variáveis dependentes. Os resultados desses modelos serão apresentados e discutidos nos próximos capítulos.

Resultados e discussão

Estimações dos modelos de diferenças em diferenças canônicos

Nesta seção são apresentados os resultados das estimações referentes à equação 1. As tabelas 3 e 4 expõem duas diferentes especificações dos modelos de regressão utilizados nesta pesquisa: o primeiro modelo, sem a utilização de covariáveis; o segundo, usado como referência para o trabalho, com a adição das covariáveis. O propósito da apresentação dos dois modelos é mostrar que os resultados das estimações mudam conforme muda a especificação do modelo.

Tabela 3: Resultados das estimações para o PIB municipal e valor da produção animal

Efeitos	Variáveis Dependentes			
	PIB Municipal		Valor da Produção Animal (R\$ 1000)	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Rompimento	-300,16**	30,41	-1,80**	-1,48
	(142,58)	(33,44)	(0,72)	(1,14)
Pós-Tratamento	-15,00	-12,30	0,44	0,96**
	(17,64)	(7,50)	(0,50)	(0,42)
Tratados	1.141,97*	-99,41*	-5,36***	-8,33***
	(528,96)	(50,83)	(1,61)	(1,98)
Covariadas	Não	Sim	Não	Sim
N	8.379,00	7.213,00	8.363,00	7.198,00
R ²	0,003	1,000	0,002	0,050
Estatística F	9,66***	295.939,60***	5,35***	38,00***
Notas:	*** Significativo a 1%			
	** Significativo a 5%			
	*Significativo a 10%			
	Erros padrões agrupados por município.			

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando os dados da tabela 3, verifica-se que o efeito do rompimento da barragem sobre os municípios atingidos, no período pós-tratamento (identificado na tabela como “Rompimento”), não foi significativo para a variável que mede o PIB municipal e nem para o valor da produção animal. A tabela 4 expõe resultados negativos significantes tanto para a produção das lavouras quanto para a área colhida. A produção das lavouras apresentou um resultado significativo a um nível de significância de 10%, negativo em 7,35 em relação ao efeito do rompimento da barragem sobre os municípios atingidos. Já a área colhida apresentou perdas médias de 439 hectares de lavouras colhidas para os municípios atingidos em relação ao grupo de tratamento no períodos pós-tratamento, sendo esse resultado significativo a um nível de 1%.

A Tabela 3 traz os primeiros indicativos, ainda que não conclusivos, da influência negativa do desastre sobre a economia dos municípios atingidos. Para melhor avaliar as tendências municipais do PIB, valor da produção animal, valor da produção das lavouras e área colhida, foram estimados modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos baseados na equação 2. Esses efeitos dinâmicos captam estimativas pontuais da influência do desastre nos municípios atingidos e seus intervalos de confiança para cada ano da análise. Essas estimativas desagregadas por ano, em vez de comparadas entre um período anterior e um pós-tratamento, como nos modelos anteriores, permitem avaliar se os efeitos econômicos do desastre de Mariana são persistentes.

Tabela 4: Resultados das estimações para valor da produção das lavouras e área colhida

Efeitos	Variáveis Dependentes			
	Valor da Produção das Lavouras (R\$ 1000)		Área Colhida (Hectare)	
	(4)	(5)	(6)	(7)
Rompimento	-6,18*** (1,97)	-7,35* (4,36)	-929,27*** (214,63)	-439,05*** (33,44)
Pós-tratamento	4,78*** (0,85)	4,43** (1,77)	224,73* (119,19)	109,44*** (7,50)
Tratados	-12,16 (10,45)	-34,09*** (9,02)	-2.201,12* (1329,19)	-5.719,89*** (50,83)
Covariadas	Não	Sim	Não	Sim
N	7.872	6.772	7.872	6.772
R ²	0,002	0,090	0,001	0,100
Estatística F	4,30***	63,03***	3,14**	71,64***
Notas:	*** Significativo a 1%			
	** Significativo a 5%			
	*Significativo a 10%			
	Erros padrões agrupados por município.			

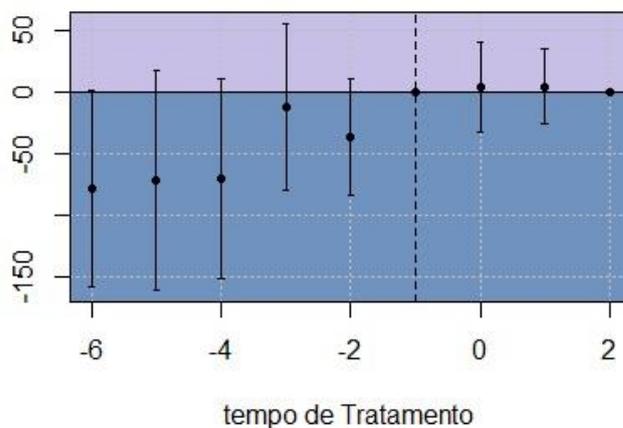
Fonte: Elaborada pelos autores.

Estimações dos modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos

Os modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos foram baseados na equação 2. Os resultados das estimativas pontuais do grupo de tratamento em relação ao grupo de controle, e seus intervalos de confiança são apresentados graficamente nas figuras 6, 7, 8 e 9. A Figura 6 expõe o resultado referente ao impacto do desastre de Mariana no PIB municipal em cada ano analisado. As três tabelas subsequentes fazem o mesmo papel, porém, para valor da produção animal municipal, valor da produção das lavouras e área colhida, respectivamente.

Esse modelo permite a identificação, no período pré-tratamento, de tendências paralelas. Uma vez que são analisadas as estimativas para cada ano analisado, espera-se que as diferenças entre o grupo de controle e tratamento no período pré-tratamento não sejam significativamente diferentes para que seja satisfeita a condição de tendências paralelas. O ano de 2015 (tempo de tratamento -1) aparece em evidência, pois é o ano da ocorrência do desastre de Mariana, desse modo é o marco que divide o período pré-tratamento do período pós-tratamento.

Figura 6: Resultado das estimações do modelo dinâmico para o PIB

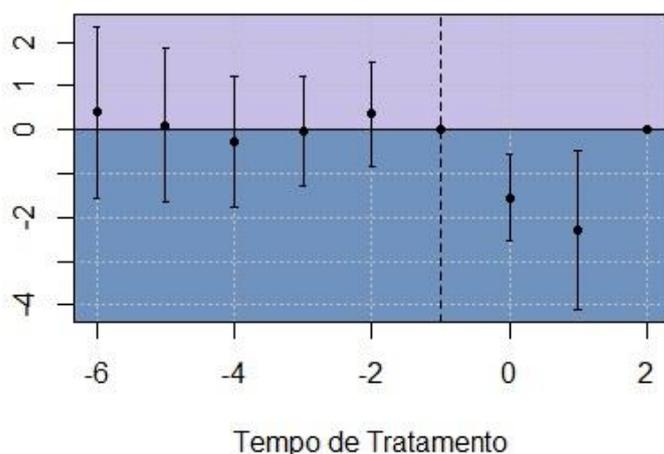


Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando primeiramente os resultados para o PIB municipal, é possível verificar que existem tendências paralelas no período pré-tratamento, porém, o período pós-tratamento não apresenta algum coeficiente que indique perdas ou ganhos devido ao rompimento da barragem de Fundão. Todos os intervalos de confiança permanecem indicando resultados paralelos entre o grupo de controle e tratamento, no período pós-tratamento, ou seja, o desastre de Mariana não

provocou danos que causassem diferenças estatísticas nos resultados para o PIB municipal entre municípios do grupo de controle e tratamento.

Figura 7: Resultado das estimações do modelo dinâmico para o valor da produção animal



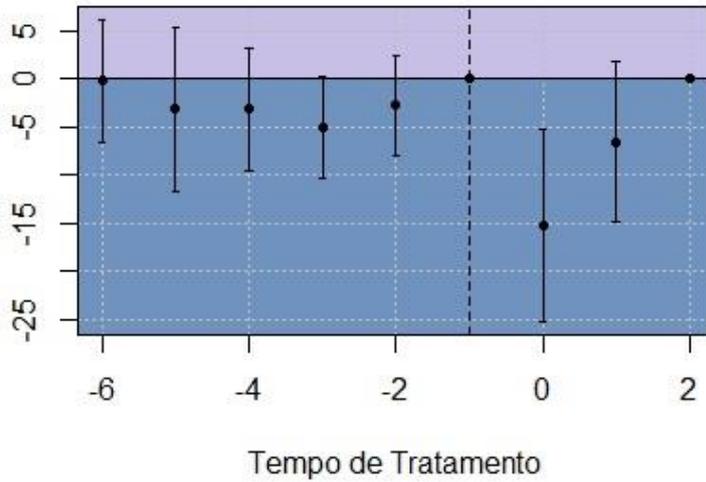
Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados para valor da produção animal também indicaram tendências paralelas no período pré-tratamento entre o grupo de controle e tratamento. No período pós-tratamento é possível observar uma diferença entre o grupo de tratados e controle, no ano de 2016 e 2017 (primeiro e segundo ano após o desastre). Essa diferença indica perdas dos municípios atingidos direta e indiretamente pelo desastre de Mariana, na produção animal, em relação ao grupo de controle.

No ano de 2018 já se observa uma recuperação dos municípios atingidos em relação ao grupo de controle para valor da produção animal. Uma vez que neste não existem mais diferenças estatísticas significativas entre os grupos para essa variável, é possível interpretar os resultados como as primeiras evidências da recuperação econômica dos municípios atingidos pelo desastre de Mariana em médio prazo.

Examinando agora os resultados para o valor da produção das lavouras, expostos na figura 12, também se observa que a condição de tendências paralelas é atendida no período pré-tratamento, o que garante uma base de comparação entre o grupo de tratados e o de controle. No ano de 2016, ou seja, o ano diretamente após a ocorrência do evento, o grupo de tratados apresentou uma acentuada diferença entre os grupos, indicando perdas no valor da produção das lavouras dos municípios atingidos em relação ao grupo de controle.

Figura 8: Resultado das estimações do modelo dinâmico para o valor da produção das lavouras

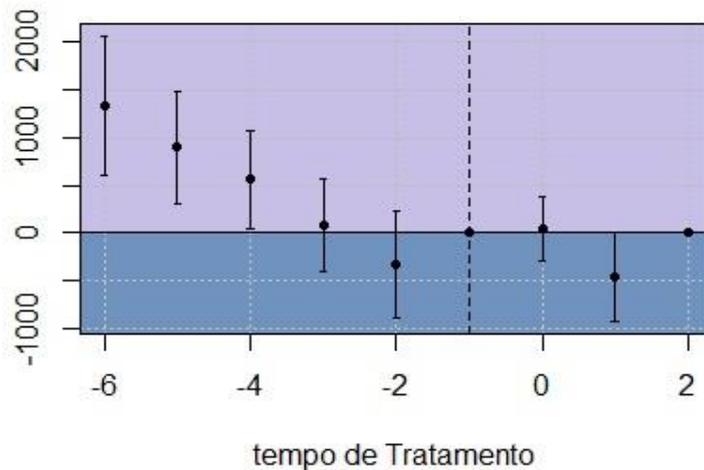


Fonte: Elaborada pelos autores.

Nos anos subsequentes, as estimativas voltam a não apresentar diferenças entre os grupos e, gradativamente, as estimativas pontuais do grupo de municípios atingidos se aproximam da média dos municípios não atingidos. Esses resultados trazem evidências de que também existe uma recuperação dos municípios atingidos, no médio prazo, no que diz respeito ao valor de produção das lavouras.

Por fim, analisando os resultados do modelo dinâmico para a área colhida, em hectares, apresentados na Figura 9, observa-se que a condição de tendências paralelas não confere, uma vez que os resultados no período pré-tratamento não se mostraram significativos na maioria dos anos. No período pós-tratamento as estimações se mostraram significativas, porém os resultados não são conclusivos.

Em suma, os resultados das estimações dos modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos apresentaram evidências importantes a respeito da queda do valor da produção animal e das lavouras do grupo de tratados, com posterior e rápida recuperação desse grupo até o ano de 2018.

Figura 9: Resultado das estimações do modelo dinâmico para área colhida

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conclusão

Dada a crescente tendência de desastres tecnológicos ligados à indústria mineradora por todo o mundo, é necessário entender a forma por meio da qual esses desastres afetam as comunidades no curto prazo e se os efeitos negativos desses eventos se estendem ao longo dos anos. Neste trabalho foram examinados os efeitos sobre a economia dos municípios atingidos pelo desastre de Mariana, ocorrido em novembro de 2015, em Minas Gerais, Brasil. O objetivo deste estudo foi avaliar se os danos econômicos causados a essas localidades são persistentes em médio prazo. A avaliação dos danos econômicos foi realizada mediante análise de dados referentes ao desempenho econômico dos municípios no que se refere à produção animal, ao PIB municipal, à área colhida e ao valor da produção das lavouras.

A literatura analisou impactos econômicos do desastre apenas para 2016, ano diretamente seguinte ao ocorrido, ficando restritas apenas à avaliação de curto prazo. Nesta pesquisa, o corte temporal se estende por mais dois anos, além de 2016, sendo possível captar efeitos de médio prazo, necessários para o exame da recuperação econômica dos municípios atingidos pelo desastre.

Foram estimados modelos de diferenças em diferenças com efeitos canônicos, com dois períodos (um pré-tratamento e um pós-tratamento) e dois grupos (um de controle e um de tratamento) e, posteriormente, estimados modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos, para captar a influência do desastre ano a ano, no pós-tratamento, e avaliar as tendências paralelas no período pré-tratamento sobre os municípios atingidos direta e

indiretamente. Foi medida a influência do desastre sobre quatro variáveis econômicas que, nesses modelos, foram estudadas como variáveis dependentes, sendo: o somatório do valor da produção das culturas permanentes e temporárias, denominado valor de produção das lavouras; PIB municipal; valor da produção animal; área colhida.

O grupo de tratamento contém todos os municípios atingidos pelo desastre direta e indiretamente, enquanto o grupo de controle comporta todos os outros municípios mineiros e capixabas que não sofreram danos econômicos. Além disso, foram selecionados outros dados socioeconômicos para que fossem utilizados como variáveis de controle para o modelo.

Em relação aos resultados das estimações dos modelos, em primeiro lugar, os modelos de diferenças em diferenças canônicos apontaram perdas significativas na área colhida e valor da produção das lavouras, no período pós-tratamento. Esse dado indica a destruição física das lavouras e das áreas de cultivo pelo rio de lama criado no momento do rompimento da barragem e que percorreu parte dos dois estados até desaguar no litoral capixaba. Já para PIB municipal e valor da produção animal os resultados não se mostraram significativos, o que gerou a necessidade de analisar o comportamento dos municípios a cada ano, antes e após o desastre. Uma vez que os grupos de municípios atingidos têm suas atividades econômicas estreitamente ligadas à agropecuária, uma análise desagregada por ano possibilita aferimentos de resultados mais precisos.

Os resultados dos modelos de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos mostraram, primeiramente, que o desastre de Mariana não causou perdas estatisticamente significativas ao PIB dos municípios atingidos no período pós-tratamento, o que pode ser explicado pela atuação da Defensoria Pública da União (DPU) e das Defensorias Públicas de Minas Gerais (DPE/MG) e do Espírito Santo (DPE/ES), garantindo o pagamento de auxílio financeiro emergencial, somado ao pagamento de seguros agrícolas aos produtores assegurados.

Para a produção animal, esse modelo mostrou perdas no grupo de tratamento, nos anos de 2016 e 2017, com recuperação da variável econômica no ano de 2018, voltando ao patamar que ocupava no período pré-tratamento. O valor da produção das lavouras sofreu queda no ano diretamente após o ocorrido, porém, recuperou-se já no ano de 2017, e em 2018 retornou ao nível que experimentava no período pré-tratamento. Por fim, os resultados para a área colhida não se mostraram significativos, uma vez que a condição de tendências paralelas não foi satisfeita para essa variável, impossibilitando qualquer interpretação no período pós-tratamento.

Por fim, este trabalho trouxe evidências de que os municípios atingidos direta e indiretamente pelo desastre de Mariana tiveram perdas econômicas no curto prazo, porém já apresentam sinais de recuperação nos anos seguintes. Este é o primeiro estudo a utilizar modelos

de diferenças em diferenças com efeitos dinâmicos para avaliar a recuperação econômica de médio prazo dos municípios atingidos direta e indiretamente pelo desastre de Mariana. As descobertas deste trabalho são úteis para ilustrar a dinâmica da economia dos municípios atingidos com o passar dos anos. Isso se torna material importante para a formulação e manutenção de políticas públicas que preencham espaços deixados nos municípios atingidos pelo desastre, buscando uma recuperação justa e rápida da população dessas localidades.

Referências

CALLAWAY, B.; SANT'ANNA, P. Difference-in-Differences with Multiple Time Periods. **Journal of Econometrics**, V. 225, n. 2, Dezembro 2021. 200-230.

CASTRO, L. S. D.; ALMEIDA, E. S. D. Desastres e desempenho econômico: avaliação do impacto do rompimento da barragem de Mariana. **GEOSUL Revista do Departamento de Geociências CFH/UFSC**, Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 406-429, jan 2019.

CUNNINGHAM, S. Difference-in-Differences. In: CUNNINGHAM, S. **Causal Inference: The Mixtape**. New Haven: Yale University Press, 2021. Cap. 9.

JEROEN KLOMP, K. V. Natural disasters and economic growth: A meta-analysis. **Global Environmental Change**, 10 Fevereiro 2014.

KOUSKY, C. Informing climate adaptation: A review of the economic costs of natural disasters. **Energy Economics**, 25 Setembro 2013.

MATSUNAGA, L. **Disasters and mental health: Evidence from the Fundao tailing dam breach in Mariana, Brazil**, 2020. 123 f. Dissertação (Mestre em Ciências Econômicas) - Universidade de São Paulo - São Paulo.

NIQUITO, T. W. et al. Human-made disasters and economic impact for a developing economy: evidence from Brazil. **Nat Hazards**, 109, 2021. 2313-2341.

RAMBOLL. **RELATÓRIO CONSOLIDADO REFERENTE AOS TRABALHOS DOS PRIMEIROS NOVE MESES DE AVALIAÇÃO DOS PROGRAMAS SOCIOECONÔMICOS E SOCIOAMBIENTAIS**, 2017. Disponível em: <<https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/relatorio-consolidado-da-ramboll-de-2017>>. Acesso em: 2023 Abril 13.

SIMONATO, T. C. **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG**, 2017. 180 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

*Recebido em: 15/06/2023.
Aprovado em: 02/08/2023.*