



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

ANÁLISE DO IMPACTO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E SUSTENTÁVEIS DOS MUNICÍPIOS ATINGIDOS

EBIO VIANA MENESES NETO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)

FERNANDA MARIA DE ALMEIDA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)

EVANDRO RODRIGUES DE FARIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradeço à CAPES e à FAPEMIG por financiarem o programa de Pós-Graduação no qual atuo.

ANÁLISE DO IMPACTO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO NOS INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E SUSTENTÁVEIS DOS MUNICÍPIOS ATINGIDOS

1. INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de rejeitos de minério ocorrido em 5 de novembro de 2015, na cidade de Mariana, em Minas Gerais, foi um dos maiores desastres ecológicos da história do Brasil (IBAMA, 2022). Cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos foram alçados ao meio ambiente, sem quaisquer perspectivas de mitigação do impacto ambiental pela mantenedora da barragem, o que confronta aos burocráticos critérios de sustentabilidade impostos pelo governo federal, estadual e municipal (LABONNE, 2016; IBAMA, 2022). Neste sentido, objetiva-se analisar o impacto do rompimento da barragem para os municípios mineiros que tiveram algum tipo de malefício causado pelos rejeitos, contrapondo aos não atingidos diretamente, nos indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade.

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) contabiliza 36 municípios mineiros atingidos pelos rejeitos advindos da barragem de Fundão, em Mariana, sendo estes os que receberão o tratamento e posterior análise de indicadores socioeconômicos. Os danos decorrentes do rompimento da barragem causaram uma série de impactos sociais, ambientais e econômicos aos municípios e pequenas comunidades, mas em diferentes proporções para aqueles que recebem *royalties* de mineração (FREITAS et al., 2019).

Assim, de forma a subsidiar discussões teóricas e empíricas sobre a gestão dos municípios atingidos pelos rejeitos da barragem de Fundão, o presente trabalho torna-se relevante ao analisar comparativamente os indicadores socioeconômicos entre os municípios atingidos (tratados) e todos os outros de Minas Gerais (controle), de forma a contribuir para a identificação de pontos críticos do desenvolvimento municipal ao longo dos anos. Diferencia-se de Freitas et al. (2019) por dar ênfase a uma análise quantitativa a partir de diversos indicadores como: saúde, educação, saneamento básico, meio ambiente, assistência social, renda, emprego, cultura, esporte, finanças, gestão, área e população.

Sobre indicadores de vulnerabilidade socioeconômica para casos de desastres, De Silva e Kawasaki (2018) afirmam que o impacto de desastres como inundações é maior para pessoas de baixa renda em comunidades rurais do Sri Lanka, o que influencia o governo a encontrar possibilidades de complementação financeira fora do ambiente agrícola para as famílias que se sustentam destes recursos naturais.

Em consonância, embora as perdas financeiras não contemplem a totalidade do impacto dos desastres, Marulanda et al. (2010) afirmam que analisar as perdas econômicas para regiões que sofrem algum tipo de desastre é extremamente relevante para avaliar as consequências geradas para economia local e nacional, além de indicar quais políticas devem ser feitas para mitigar os problemas.

Já Dolman et al. (2018), a partir de uma pesquisa de análise do impacto socioeconômico de inundações em Rio Branco – Acre, apontam que os resultados para dados sociais e custos governamentais demonstram que as famílias mais vulneráveis são as que apresentam uma maior dificuldade de recuperação pós ocorrência (inundação). Contudo, a particularidade da pesquisa de Dolman et al. (2018) está associada à recorrência dos desastres, o que indica uma necessidade de mapeamento dos riscos pré-acidente, o que pode revelar limitações gerenciais e identificar possibilidades de reforma (DOLMAN et al., 2018).

O presente estudo contrapõe às pesquisas de Marulanda et al. (2010), Dolman et al. (2018) e De Silva e Kawasaki (2018) não só pelo objeto de estudo, mas por analisar em painel a evolução de vários indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade. Estes indicadores, em conjunto, podem demonstrar a possibilidade de empobrecimento implícito (tendência de

perdas) dos municípios atingidos pelo rejeito da barragem de Fundão, seja pela presença do minério nos rios ou no prejuízo a curto, médio e longo prazo, o que, para mitigar os danos existentes, incorre na mudança de alocação de recursos.

As informações sobre risco e exposição a danos de desastres como o rompimento da barragem de Fundão podem ser utilizadas numa perspectiva anterior ao ocorrido, a partir da avaliação do risco na intenção de mitigá-lo, ou numa perspectiva pós acontecimento, através da estruturação de gestão de riscos, avaliação de danos e reconstrução. Neste sentido, espera-se descobrir se o efeito e os danos causados por um desastre como este podem se propagar entre as áreas locais devido às interconexões econômicas dos sistemas de produção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desastres ambientais e consequências socioeconômicas e sustentáveis

Os desastres são conceituados sobre o prisma de diversas abordagens. De forma geral, as conceituações mais vistas envolvem eventos súbitos, decorrentes de algo natural ou sob a influência de atividades humanas (BRADSHAW, 2003). Este mesmo autor, assim como Dolman et al. (2018), Markhvida et al. (2020) e Mercer et al. (2012) afirmam que estes eventos causam uma ruptura estrutural temporária nos locais afetados, de modo a gerar obstáculos consideráveis às atividades sociais e econômicas existentes.

Os desastres naturais são aqueles causados por tempestades, inundações, secas, terremotos, erupções vulcânicas, tsunamis ou deslizamentos de terra. Tais fenômenos não só produzem efeitos de imediato, mas também impactam de forma contínua após a ocorrência do desastre (BRADSHAW, 2003). Entretanto, Markhvida et al. (2020) afirmam que as avaliações de risco de desastres naturais normalmente consideram perigos ambientais e danos físicos, com menor abordagem, por exemplo, na influência destes desastres no bem-estar das famílias atingidas. Estes autores perceberam que famílias mais pobres perdem 19% dos seus bens pós desastre contra 41% das perdas de bem-estar, o que demonstra a importância de se identificar, além dos danos físicos, a perda social, cultural, de satisfação e de bem-estar.

De fato, os desastres têm um grande impacto nas condições de vida, no desempenho econômico, nos ativos e também nos serviços ambientais das regiões afetadas (BRADSHAW, 2003). Corroborando, através de um estudo feito na América Central, Ishizawa e Miranda (2019) perceberam que a intensidade de um furacão leva a uma diminuição no crescimento do produto interno bruto total per capita, além de provocar queda na renda total familiar e na renda do trabalho, o que por sua vez está diretamente proporcional ao aumento da extrema pobreza.

Já Perera et al. (2018), através da análise sobre desastres causados por deslizamentos de terra em Aranayake, Sri Lanka, constataram que desastres desta magnitude para regiões voltadas para a agricultura familiar afetam diretamente a renda básica familiar, bem como o PIB da região afetada. Outros autores, como Mercer et al. (2012) e Wicker et al. (2013), destacam sobre a influência de ativos governamentais no enfretamento de crises geradas por desastres naturais em relação ao esporte e à cultura, o que influencia em vários aspectos econômicos, como o PIB local, e sociais, pela alta dependência de recursos de terceiros para atividades deste tipo. Ainda, Inoue e Havard (2015) afirmam que esporte pode desempenhar um papel importante nos esforços de recuperação da comunidade pós desastre.

As consequências geradas pelos desastres naturais podem perdurar no longo prazo e até mesmo afetar irreversivelmente as estruturas econômicas, sociais e de meio ambiente (BRADSHAW, 2003). A crise causada por desastres naturais, em países em desenvolvimento, mesmo para valores absolutos monetários menores, afeta diretamente a sustentabilidade e o desenvolvimento local (saúde, educação, renda, emprego, ...), em virtude do significativo peso relativo do impacto (BRADSHAW, 2003).

Segundo Rush (2018) e Islam e Khan (2018), desastres naturais geram um aumento da pobreza local. Ainda, têm-se um impacto negativo dos desastres nas matrículas dos alunos nos níveis fundamental e médio, de forma que os desastres naturais podem alterar

significativamente as decisões sobre a educação das crianças em virtude das restrições que os familiares enfrentam durante a crise por desastre. De forma complementar, Hoffmann e Blecha (2020) afirmam sobre a importância do desenvolvimento educacional para o enfrentamento das crises geradas por desastres. Para o autor, de forma indireta, a educação dá aos indivíduos e famílias acesso a recursos materiais, informativos e sociais, que podem ajudar a reduzir a vulnerabilidade a desastres.

Contudo, existem os desastres causados pela ação humana que estão diretamente relacionados à uma má gestão de mitigação do risco (BRADSHAW, 2003). Algumas ações humanas cada vez mais causam ou agravam fenômenos que aconteceriam de forma natural, ora por não utilizarem adequadamente os recursos naturais, ora por não cumprirem os códigos e normas para o desenvolvimento do projeto (BRADSHAW, 2003; ALBERT; AMARATUNGA; HAIGH, 2018). Ainda, a equivocada intervenção humana está diretamente relacionada ao crescimento da vulnerabilidade dos locais atingidos, através dos assentamentos humanos, das atividades produtivas e dos serviços prestados (BRADSHAW, 2003).

Segundo Albert et al. (2018), existem impactos significativos de derramamentos de óleo em todas as fontes de estrutura de subsistência de uma comunidade. Os achados demonstraram que os danos causados ao meio ambiente aumentaram significativamente o custo de vida das famílias. Corroborando, Dolman et al. (2018) afirmam que o mal uso da terra e os aspectos demográficos de crescimento populacional, em conjunto com causas naturais como a mudança climática e o período das cheias, teve um forte impacto nas famílias afetadas em Rio Branco, no Acre. Dentre os fatores destaca-se as perdas monetárias, o crescimento de doenças e o aumento da ansiedade, agravando negativamente o impacto socioeconômico e ambiental das regiões atingidas (DOLMAN et al., 2018).

Bradshaw (2003) compara a crise por desastres com a geração hidrelétrica. O mesmo autor indica que a gestão de recursos hídricos exige um amplo aparato financeiro para o desenvolvimento das obras como barragens de desvio e armazenamento. Neste sentido, os danos causados pelos desastres a essas instalações são imensuráveis, atingindo diretamente todo meio de subsistência das regiões afetadas, desde a geração de eletricidade ao prejuízo no abastecimento de água (BRADSHAW, 2003).

Assim, destaca-se que uma avaliação das consequências socioeconômicas e sustentáveis de desastres causados pela ação humana é uma parte essencial do desenvolvimento de planos de redução de risco e gestão de desastres (BRADSHAW, 2003; MARULANDA; CARDONA; BARBAT, 2010; AMINI HOSSEINI; HOSSEINIOON; POOYAN, 2013). Neste sentido, o tópico que segue sobre o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, torna-se imprescindível para entender melhor o caso.

2.2 Desastre por atividade humana: o rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, ocorrido no dia 5 de novembro de 2015, é considerado um dos maiores desastres da mineração brasileira em nível de extensão territorial e danos ambientais (FONTES; LOPES, 2017; FREITAS et al., 2019; LACAZ; PORTO; PINHEIRO, 2017), causando danos direta e indiretamente às partes presentes nas regiões atingidas.

Os danos causados pelos desastres por atividade humana são, em muitos casos, de difícil precificação (BRADSHAW, 2003). Os desastres provocam maiores custos operacionais devido à destruição de infraestrutura física, valores provavelmente maiores em detrimento de uma política de gestão de risco, por exemplo; diminuição da produção ou prestação de serviços devido à paralisação total ou parcial das atividades; custos adicionais incorridos pela necessidade de recorrer a meios alternativos de produção ou prestação de serviços essenciais; maiores custos por reorientação ou remanejamento orçamentário; redução de receitas por não prestação ou prestação parcial de serviços; custos de atendimento à população afetada durante

a fase de emergência; custos adicionais com campanhas de saúde e economia de água tratada; aumento da taxa de desempregados; custo com treinamento para socorristas ou brigadas, alguns custos de poluição ambiental, maior congestionamento de tráfego e outras repercussões semelhantes de um desastre (BRADSHAW, 2003).

Rezende et al. (2021) afirmam que o rompimento da barragem de Fundão causou, além de impactos ambientais, um crescimento da vulnerabilidade socioeconômica de pequenos grupos frágeis politicamente. Ainda, o governo federal, por meio do Decreto nº 9759, de 11 de abril de 2019, desestabilizou as ações de vários conselhos públicos regulares e elaboradores de política pública, que buscavam aumentar a resiliência da comunidade no intuito de mitigar os impactos, principalmente sociais (ROLAND et al., 2018; REZENDE; PORTELLA; OLIVEIRA, 2021).

Corroborando e de forma complementar, Freitas et al. (2019) destacam que o município de Mariana, com receitas dependentes em 80% da mineração, a partir de uma interrupção dos serviços entorno da mineração, afetam em cadeia as populações e territórios atingidos, gerando impactos sobre as condições de vida e consequentemente maiores investimentos financeiros. Entretanto, Lacaz et al. (2017) afirma que a exigência de maiores investimentos está na contramão às receitas dos municípios.

Segundo Fernandes et al. (2016), os danos causados pelo rompimento da barragem foi calculado pelo governo federal em mais de 20 bilhões de dólares. Dentre a presença de danos irreversíveis, como a perda de vidas e comunidades inteiras destruídas, têm-se ainda que a interrupção da atividade de mineração afetará o desenvolvimento de 37 aldeias e cidades devido à redução de royalties e receitas a partir de compensação financeira pela utilização de recursos (FERNANDES et al., 2016).

O estudo de Faria e Botelho (2018) mostrou que alguns eventos sobre a estrutura física da barragem implicaram numa progressiva deterioração da capacidade de suportar todo volume de rejeito despejado, ocasionando o rompimento e, consequentemente, sugerindo uma mau controle da empresa gestora, assim como também abordam Rojas e Pereira (2018). Dessa forma, assim como apontam Pinto-Coelho (2015), Botelho et al. (2021) e Rezende et al. (2021) fatores gerenciais, de operação, de controle, de engenharia, do ambiente de trabalho e das agências reguladoras, contribuíram significativamente para o rompimento da barragem de Fundão, acarretando em diversos danos socioeconômicos e sustentáveis graves no curto, médio e de longo prazo.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo, quantitativo e descritivo, busca, através da avaliação de impacto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, analisar, a partir de indicadores socioeconômicos e sustentáveis, os 853 municípios mineiros, divididos em grupo tratado e grupo de controle. Destes, 36 municípios foram atingidos diretamente pelos rejeitos da barragem (IBAMA, 2022), sendo alocados ao grupo de tratamento. Os outros 817 fazem parte do grupo de controle.

Os dados secundários foram coletados através da Fundação João Pinheiro, pelo Índice Mineiro de Responsabilidade Social (IMRS, 2019), todos tratados de forma a contemplar os anos entre 2010 e 2019. A variável PIB per capita, no ano de 2019, foi retirada do IBGE Cidades como forma de complementação dos dados para a utilização do ano.

As dimensões escolhidas, conforme a literatura, foram: Orçamento, Saúde, Financeira, Demográfica, Sustentabilidade, Assistência Social e Educação. As variáveis correspondentes não só possuem relação com indicadores socioeconômicos que avaliam o desempenho municipal, como também foram testadas e descritas pela literatura como importantes para entendimento sobre desastres (FREITAS et al., 2019; MARKHVIDA et al., 2020). Neste sentido, encontra-se relevância na avaliação do impacto do rompimento da barragem de Fundão. Assim, o Quadro 1 abaixo apresenta as dimensões e suas respectivas variáveis:

Quadro 1: Caracterização das Dimensões e Variáveis

SAÚDE: “Taxa bruta de mortalidade”; “Proporção de internações por doenças de veiculação hídrica”; “Proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado”; “Proporção da população atendida pela Estratégia de Saúde da Família”; “Proporção de óbitos por causas mal definidas”; “Proporção de internações hospitalares por condições sensíveis à atenção primária”; “Gasto per capita com atividades de saúde”; “Esforço orçamentário em atividades de saúde”; “Percentual do gasto em saúde em relação à receita de impostos e transferências (EC 29)”. **EDUCAÇÃO:** “Taxa de Escolaridade Líquida do Ensino Fundamental”; “Taxa de escolarização líquida do Ensino Médio”; “Gasto per capita com atividades de educação”; “Esforço orçamentário em atividades de educação”; “Gasto mínimo da educação (Art. 212, CF/88)”. **ASSISTÊNCIA SOCIAL:** “Número de famílias com renda per capita até 1/2 salário mínimo”; “Proporção de beneficiários do BPC por mil habitantes”; “Gasto per capita com atividades de assistência social e cidadania”; “Esforço orçamentário em atividades de assistência social e cidadania”; “Índice de Gestão Descentralizada Municipal do Programa Bolsa Família - Saúde”; “Índice de Gestão Descentralizada Municipal do Programa Bolsa Família - atualização do Cadastro Único”. **SUSTENTABILIDADE:** “Percentual da população urbana em domicílios com abastecimento de água (rede)”; “Percentual da população urbana em domicílios com esgotamento sanitário (rede)”; “Percentual de esgoto tratado”; “Percentual da população urbana em domicílios com coleta de lixo (direta e indireta)”; “Existência de coleta seletiva”; “Percentual da população atendida por sistema de coleta e tratamento de lixo”; “Gasto per capita com saneamento”; “Esforço orçamentário em saneamento”; “Existência de Conselho Municipal de Saneamento”; “Índice de Esforço de Gestão das Políticas de Saneamento Básico”; “Gasto per capita com meio ambiente”; “Esforço Orçamentário em Meio Ambiente”; “ICMS recebido pelo critério ecológico da lei Robin Hood”; “Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos”; “Compensação financeira pela exploração mineral”. **FINANÇAS:** “Transferências per capita - BF”; “Transferências per capita - BPC”; “Gasto per capita com difusão cultural”; “Gasto per capita com esporte e lazer”; “Gasto per capita com agropecuária”; “Gasto per capita com desenvolvimento econômico”; “Gasto per capita com infraestrutura”; “Gasto per capita com reforma agrária e colonização”; “Gasto per capita com apoio ao trabalho”; “Gasto per capita com turismo”; “Índice de Desenvolvimento Tributário e Econômico (IDTE)”; “Compensação financeira pela exploração mineral”; “Receita corrente líquida per capita”; “Percentual do gasto com pessoal em relação à receita corrente líquida”; “Balanço orçamentário”; “Endividamento - Participação da dívida consolidada líquida na receita corrente líquida”; “Percentual do custeio da máquina em relação à Receita Corrente Líquida (RCL)”; “Percentual do investimento em relação à despesa total”; “Percentual de receitas de convênios em relação à Receita Corrente Líquida (RCL)”. **ORÇAMENTO:** “Esforço orçamentário em esporte e lazer”; “Esforço orçamentário em difusão cultural”; “Esforço orçamentário em agropecuária”; “Esforço orçamentário em desenvolvimento econômico”; “Esforço orçamentário em infraestrutura”; “Esforço orçamentário em apoio ao trabalho”; “Esforço orçamentário em turismo”. **DEMOGRÁFICOS:** “População total”; “Índice de envelhecimento”; “Taxa de urbanização”.

As dimensões acima foram determinadas buscando responder ao objetivo proposto de avaliar o impacto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana – MG, para as variáveis de interesse socioeconômicas (PIB per capita “PIB”, Número de famílias com renda per capita até 1/2 salário mínimo “assist1PC”) e de sustentabilidade (Gasto per capita com meio ambiente “sust11”, Esforço Orçamentário em Meio Ambiente “sust12”, Compensação Financeira por

utilização dos recursos hídricos “COMP”). Parafraseando Gertler et al. (2018, p.46) “o tamanho dos efeitos esperados é a base para a realização dos cálculos de poder estatístico”.

3.1 Análise dos Dados

A análise consistirá em usar seletivamente as variáveis dispostas em dimensões para responder qual o impacto do rompimento da barragem de Fundão nos indicadores socioeconômicos dos municípios diretamente atingidos. Ao contrário de um monitoramento contínuo das ações, a avaliação de impacto é realizada em pontos específicos ao longo do tempo, com o objetivo de dar perspectivas de análises para especialistas. “O seu desenho, método e custo variam substancialmente, dependendo do tipo de pergunta que a avaliação tenta responder” (GERTLER et al., 2018, p.8).

Os métodos de comparação para análise do efeito tratamento visam reduzir o viés ao escolher os grupos de tratamento e comparação com base nas características observáveis, sendo, no caso da pesquisa, municípios atingidos e não atingidos diretamente pelo rejeito da barragem. A medição de impacto ao usar dados em painel é vantajosa por permitir um maior tamanho da amostra e a possibilidade de identificar mudanças estruturais na relação entre a variável dependente e as variáveis independentes ao longo do tempo, sendo que os dados dispostos pelo IMRS se encontram na linha de base antes do acontecimento, entre os anos de 2010 e 2015 e após o rompimento da barragem, entre os anos de 2016 e 2019 (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009; GERTLER et al., 2018).

Foi criada uma variável “ageDummy” associada aos municípios mineiros. A variável recebeu o valor 0 para os anos entre 2010 e 2015 (anteriores ao desastre) e valor 1 para os anos entre 2016 e 2019 (posteriores ao desastre). O rompimento da barragem aconteceu em 5 de novembro de 2015, próximo ao fechamento do ano contábil dos municípios. Por este motivo, o ano de 2015 foi considerado como anterior ao desastre.

Pereza et al. (2020) utilizaram dados em painel para analisar a vulnerabilidade socioeconômica e de infraestrutura urbana brasileira, aliada à exposição da população a desastres ante observados e para possíveis riscos de reincidência. Já Padli et al. (2018), através da análise dinâmica de dados em painel, descobriram que o nível de desenvolvimento econômico desempenha um papel importante na mitigação do impacto de desastres naturais, como secas, terremotos, inundações e tempestades.

Para o presente trabalho foram utilizadas várias variáveis divididas em dimensões. Grande parte delas já foram utilizadas, mesmo que substancialmente, em outras pesquisas. Contudo, visando analisar a covariância entre as variáveis observáveis e no intuito de dar mais robustez à pesquisa, será utilizada Análise Fatorial Exploratória (AFE), sendo retiradas do modelo as variáveis que não possuam correlação latente.

Neste sentido, dividiu-se a análise em três fases:

1. Análise Fatorial Exploratória;
2. Técnica de Pareamento, ou *Propensity-score Matching*;
3. Teste de Diferenças em Diferenças com painel.

3.1.1 Análise Fatorial Exploratória (AFE)

Daniels e Minot (2019) afirmam que a análise fatorial é uma técnica estatística multivariada utilizada para identificar um número reduzido de fatores latentes a partir de um número de variáveis observadas e correlacionadas. Durante a análise fatorial, variáveis estatísticas são formadas para melhor representarem a estrutura subjacente ou padrões das variáveis conforme representadas por suas intercorrelações (HAMILTON, 2012).

A Análise fatorial exploratória inclui análise de componentes principais e análise dos fatores comuns, sendo esta uma abordagem estatística que pode ser usada para analisar inter-relações entre um grande número de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns (fatores). O objetivo é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais, em um conjunto menor de variáveis

estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação. Pelo fato de fornecer uma estimativa empírica da estrutura das variáveis consideradas, a análise fatorial se torna uma base objetiva para criar escalas múltiplas (HAIR et al., 2009).

O propósito geral de técnicas de análise fatorial é encontrar um modo de condensar (resumir) a informação contida em diversas variáveis originais em um conjunto menor de novas dimensões compostas ou variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação – ou seja, buscar e definir os construtos fundamentais ou dimensões assumidas como inerentes às variáveis originais.

Ao atingir seus objetivos, a análise fatorial é ajustada com quatro questões: especificação da unidade de análise; obtenção do resumo de dados e/ou redução dos mesmos; seleção de variáveis e uso de resultados da análise fatorial com outras técnicas (HAIR et al., 2009). Neste sentido, inicialmente, os fatores latentes serão utilizados em substituição às variáveis para o cálculo do efeito tratamento a partir da técnica de escores de propensão (*Propensity-score Matching*).

3.1.2 Teste de Escores de Propensão (*Propensity-score Matching*)

Da mesma forma que nos estudos observacionais, os sujeitos são alocados aos grupos de tratamento e de controle de forma não aleatória. Neste caso, o efeito tratamento estimado pode ser enviesado pela existência de fatores de confusão. A utilização do escore de propensão é uma forma de “corrigir” o efeito tratamento estimado, a partir do controle da existência desses fatores de confusão, de forma que o viés é reduzido ao comparar os resultados entre os indivíduos tratados e de controle mais semelhantes (BECKER; ICHINO, 2002).

Neste sentido, considere $D = \{0, 1\}$ como o indicador de exposição ao tratamento, sendo 0 para os municípios de controle e 1 para os municípios de tratamento (foram atingidos pela lama da barragem). O “i” corresponde aos municípios e o “Y” está associado às variáveis de interesse para análise do impacto.

$$Y^i = DY_1^i + (1-D) Y_0^i$$

Como resultado, Rosenbaum e Rubin (1983) afirmam que dada uma população denotada por i, se o escore de propensão Y^i for conhecido, então o efeito médio do tratamento no tratado (ATT) pode ser estimado a partir da diferença entre o grupo tratado e o grupo de controle, para o D associado ao recebimento do tratamento:

$$E\{Y_1^i - Y_0^i | D^i = 1\}$$

No presente estudo, o método irá resumir as características de pré-tratamento de cada município em uma variável de índice único (o índice de propensão) que torna a análise comparada viável (BECKER; ICHINO, 2002). Neste método de estratificação pode haver unidades tratadas que são descartadas porque nenhum controle está disponível em seu bloco, sendo necessária a utilização do método de vizinho mais próximo para que todas as unidades tratadas encontrem uma correspondência (comparação entre controle e tratado). Ainda, pode acontecer de algumas correspondências serem ruins para entender o efeito tratamento, pois para algumas unidades tratadas o vizinho mais próximo pode ter um escore de propensão muito diferente. Contudo, as correspondências ainda contribuiriam para a estimativa do efeito do tratamento independentemente dessa diferença. No Stata®, os métodos *Radius Matching*(attr) e *Kernel Matching* (attnd e attnw) oferecem uma solução para o problema de não correspondência e serão utilizados neste trabalho.

Assim, em conjunto com a Análise Fatorial Exploratória, o viés será reduzido pela riqueza e qualidade das variáveis de controle nas quais o escore de propensão é calculado e o pareamento realizado. Ainda, o viés será eliminado se os municípios tratados puderem ser considerados puramente aleatórios entre indicadores que possuem o mesmo valor do escore de propensão.

Khander et al. (2009) afirmam que o pareamento simples por escore de propensão, apesar de extremamente relevante, não é capaz de incorporar características não observáveis

que podem explicar por que um grupo opta por se inscrever em um programa e que também podem afetar os resultados e, por isso, o presente estudo utilizará o pareamento combinado com a técnica de diferenças em diferenças.

3.1.3 Teste de Diferença em Diferenças

O método de dupla diferença, também conhecido como diferenças em diferenças, é mais utilizado em avaliações não experimentais, ou seja, o método estima a diferença no resultado durante o período pós-intervenção entre um grupo de tratamento e um grupo de controle em relação aos indicadores estudados. A maneira mais simples de calcular o efeito a partir do teste de dupla diferença é tomar manualmente a diferença nos resultados entre o tratamento e o controle (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009).

O pareamento combinado à diferença em diferenças é utilizado para analisar quaisquer características não observáveis que sejam constantes ao longo do tempo entre os dois grupos (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009). Ainda, a combinação do *Propensity Score* com o método de Diferenças em Diferenças busca considerar a constância das características não observáveis ao longo do tempo, contando com os dados da linha de base, de forma a possibilitar a redução do risco de viés. A combinação é feita após o pareamento, calculando-se a primeira diferença entre o antes e depois do instrumento de estudo, e a segunda diferença com a mudança antes e depois para comparação com o grupo de controle. Após esse cálculo, subtrai-se a primeira diferença da segunda e calcula-se a média da amostra (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009).

A técnica de diferenças em diferenças é adequada em contextos de avaliação onde os dados observacionais para unidades tratadas e não tratadas estão disponíveis antes e depois do tratamento (CERULLI, 2015), assim como ocorre com as variáveis explicativas e variáveis de interesse do presente estudo. Os efeitos causais, sob tal estrutura de dados, podem ser identificados e estimados de forma consistente pelo teste de diferenças em diferenças (*diff in diff*).

Dois tipos de estimadores *diff in diff* têm sido propostos na literatura, o referente aos dados em um conjunto longitudinal puro, também conhecido como dados de painel, ou uma seção transversal repetida. No primeiro caso, a mesma unidade (tratada ou não tratada) é observada antes e após a ocorrência de um tratamento; no segundo caso (seção repetida), as unidades observadas antes e depois do tratamento (tratadas ou não) podem ser diferentes. A interpretação dos resultados em ambos os tipos de *diff in diff* são, no entanto, as mesmas (CERULLI, 2015). O presente estudo utilizará o estimador *diff in diff* para dados em painel, conforme descrito na seção 3.1.1.

A técnica de *diff in diff* foi utilizada a partir de um conjunto de dados longitudinais, onde a mesma unidade i (municípios) pode ser observada antes e após o tratamento. Os dados estão dispostos para dois pontos no tempo t , para cada período observável, ou seja, no formato *average*, para $\frac{1}{4} \{0, 1\}$ (CERULLI, 2015):

Antes do rompimento da barragem = 0 (controle = 0; tratamento = 1); Depois do rompimento da barragem = 1 (controle = 0; tratamento = 1).

A técnica é considerada relevante pois os sujeitos de análise são municípios, que possuem características parecidas e comparáveis ao longo tempo. Neste sentido, em uma configuração de dados em painel, o teste de diferenças em diferenças é definido como o estimador na seguinte regressão (CERULLI, 2015):

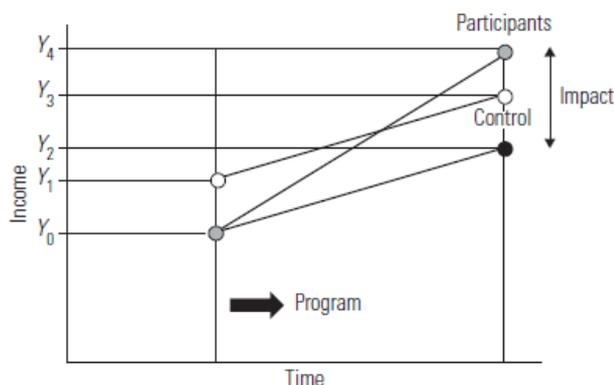
$$\hat{\alpha}_{DID} = \left(\bar{Y}_{i1}^T - \bar{Y}_{i1}^C \right) - \left(\bar{Y}_{i0}^T - \bar{Y}_{i0}^C \right)$$

Sendo:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{it}^T &= \text{¼ média de Y no tratado em } t \text{ ¼ } 1 \\ \bar{Y}_{it}^C &= \text{¼ média de Y no tratado em } t \text{ ¼ } 1 \\ \bar{Y}_{i0}^T &= \text{¼ média de Y no tratado em } t \text{ ¼ } 0 \\ \bar{Y}_{i0}^C &= \text{¼ média de Y no tratado em } t \text{ ¼ } 0 \end{aligned}$$

Para se ter o impacto do teste de diferenças em diferenças, deve-se calcular a diferença média nos resultados separadamente para participantes e não participantes ao longo dos períodos e, em seguida, tomar uma diferença adicional entre as mudanças médias nos resultados para esses dois grupos (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009; CERULLI, 2015), conforme a equação $DD = (Y_4 - Y_0) - (Y_3 - Y_1)$ (KHANDKER; KOOLWAL; SAMAD, 2009) disposta na figura 1 abaixo:

Figura 1: Exemplo do teste de Diferenças em Diferenças



Fonte: Khander et al. (2009)

Neste caso, as características não observadas criam uma diferença entre os resultados de controle medidos, sendo que os verdadeiros resultados contrafactuais são considerados invariantes no tempo, de modo que a diferença entre as duas tendências é a mesma no período. A figura 1 acima traz a implicação que $(Y_3 - Y_2) = (Y_1 - Y_0)$. Usando esta igualdade na equação DD anterior, obtém-se $DD = (Y_4 - Y_2)$.

Bondonio e Greenbaum (2018) utilizaram a dinâmica de correspondência de pontuação de propensão com um estimador de diferença em diferença para analisar condados dos EUA entre 1989 e 1999 em relação a resiliência da economia local à desastres naturais raros. Assim como Bondonio e Greenbaum (2018), o presente estudo utilizou em conjunto a técnica de escore de propensão e o teste de diferenças em diferenças, mesmo que não seja para desastres naturais. O software estatístico Stata®, versão 16, foi utilizado para rodar o modelo de avaliação de impacto do rompimento da barragem de rejeitos de minério.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram desenvolvidos os resultados estatísticos, visando analisar o efeito do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG, nos indicadores socioeconômicos e de sustentabilidade dos municípios atingidos pelo rejeito da barragem.

4.1 Resultados

Inicialmente, é salutar traçar uma análise descritiva das variáveis de interesse para entender a sua dinâmica e disposição no banco de dados. Assim, apresenta-se a sumarização conforme figura 2 abaixo:

Figura 2: Sumarização das variáveis de interesse

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
PIB	8,530	16.57048	18.72308	3.25	340.1447
assist1PC	8,530	.141089	.0508687	.0195456	.3273576
sust11	8,517	10.96778	27.66093	0	587.47
sust12	8,524	.4048651	.8274515	0	13.22
COMP	7,180	183.1229	714.8787	0	8729.094

Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do Stata (2022)

As variáveis PIB e COMP, correspondentes ao PIB per capita e Compensação Financeira por utilização hídrica respectivamente, estão na proporção 1 para 1000,00. Portanto, o mínimo do PIB Per capita é de 3250,00 e o máximo 340.144,70, com média de 16.570,48. Alguns municípios não recebem compensação financeira por utilização de recursos hídricos, por isso o mínimo de 0. O esforço orçamentário com meio ambiente (sust12) e o gasto per capita com meio ambiente (sust11) também possuem o mínimo 0, mas em virtude da ausência de informação para alguns poucos municípios. Por fim, o número per capita médio de famílias que possuem até ½ salário mínimo entre todos os dependentes é de 0,14.

Como forma de melhor tratar as variáveis e ainda confrontar a literatura, a Análise Fatorial Exploratória foi utilizada para reorganizar as variáveis a partir da correlação entre elas. Foram aceitos somente os elementos com raízes características superiores a 1, o que proporcionou a identificação de treze fatores: Fator 1: Gasto com legislativo per capita, Receita corrente líquida per capita, Gasto per capita com difusão cultural, Gasto per capita com atividades de educação, Gasto per capita com desporto e lazer, Gasto per capita com infraestrutura, Gasto per capita com atividades de saúde, Gasto per capita com atividades de assistência social e cidadania. Fator 2: Taxa de Urbanização, Proporção da população atendida pela Estratégia de Saúde da Família, Índice de Desenvolvimento Tributário e Econômico (IDTE). Fator 3: Existência de Conselho Municipal de Saneamento, Índice de Esforço de Gestão das Políticas de Saneamento Básico. Fator 4: Proporção de internações por doenças de veiculação hídrica, Proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, Proporção de internações hospitalares por condições sensíveis à atenção primária. Fator 5: Gasto per capita com saneamento, Esforço Orçamentário com Saneamento. Fator 6: Gasto per capita com agropecuária, Esforço Orçamentário em Agropecuária. Fator 7: Gasto per capita com apoio ao trabalho, Esforço orçamentário em apoio ao trabalho. Fator 8: Gasto per capita com difusão cultural, Esforço orçamentário em difusão cultural. Fator 9: Gasto per capita com esporte e lazer, Esforço orçamentário com esporte e lazer. Fator 10: Gasto per capita com desenvolvimento econômico, Esforço orçamentário em desenvolvimento econômico. Fator 11: Taxa de Escolaridade Líquida do Ensino Fundamental. Fator 12: Gasto per capita com turismo, Esforço orçamentário em turismo. Fator 13: Esforço orçamentário em atividades de saúde.

A partir da presença dos fatores, foi possível perceber uma união das variáveis de “gasto per capita” com o “esforço orçamentário”, o que sugere uma interlocução entre cálculo dos valores das variáveis, ou uma interpretação dos gestores sobre a semelhança no sentido das duas variáveis. Ainda, percebeu-se uma fraca correlação entre as variáveis de proporção de internações por doenças de veiculação hídrica e proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado com o gasto e esforço em saneamento básico.

Para validar a Análise Fatorial, foram utilizados os testes: esfericidade de Barlett e medida de adequacidade de Kayser-Meier-Olkin (KMO). O teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população, sendo que o

software confirmou p-valor de 0,00, abaixo dos 5% de significância, validando os fatores pelo teste de esfericidade de Bartlett. Já o teste de adequacidade KMO, os valores do índice aceitável variam de autor para autor. O presente trabalho aceita o que diz Hair et al. (2009), quando afirma que valores entre 0,5 e 1,0 são aceitos para validar a análise fatorial. O Stata encontrou o valor de 0,693 para o KMO. Feito os testes, parte-se, portanto, para a análise do impacto com início da exploração pela técnica de escores de propensão, ou *propensity score matching*.

4.1.1 Análise pelo Propensity Score Matching

Existem várias maneiras de verificar a robustez dos achados a partir da *Propensity Score Matching*. Uma abordagem é estimar a equação do escore de propensão e então usar os diferentes métodos de pareamento discutidos na metodologia para comparar os resultados.

A partir da variável de tratamento e das variáveis explicativas, foi detectada a presença de quatro escores de propensão, conforme figura 3 abaixo. Foram identificados 3296 dados, com 3122 para o grupo de controle e 174 para o grupo de tratamento.

Figura 3: Escores de Propensão

Inferior of block of pscore	Tratamento		Total
	0	1	
.0162335	1,985	63	2,048
.05	929	77	1,006
.1	192	32	224
.2	16	2	18
Total	3,122	174	3,296

Note: the common support option has been selected

Fonte: Elaborado pelo autor, com auxílio do Stata (2022)

Os achados com diferentes técnicas de correspondência são bastante consistentes (GERTLER et al., 2018). Utilizou-se as abordagens atts (sem a utilização de variáveis explicativas e comparação pelo vizinho próximo); a ATTnd (com variáveis explicativas e a técnica do vizinho mais próximo) e a ATTk (com variáveis explicativas; técnica de kernel).

A abordagem do vizinho mais próximo tenta capturar os efeitos de diferentes covariáveis observadas na participação em um único índice ou pontuação de propensão. Em seguida, os resultados dos municípios tratados e não tratados, com escores de propensão semelhantes, são comparados para obter o efeito do programa. Os municípios para as quais nenhuma correspondência é encontrada são descartados porque não existe base para comparação. Na correspondência de kernel, todos tratados, bem como todos os controles, são usados. A estimativa do ATT é bastante próxima daquela obtido com o emparelhamento do vizinho mais próximo. O quadro 2 abaixo demonstra os dados para as variáveis de interesse. É salutar informar que foi feito um modelo de regressão para analisar cada variável dependente para os mesmos fatores descobertos.

Quadro 2: Análise de Impacto pelo Propensity Score Matching

Variáveis/Teste	Propensity Score Matching				
	ATTs	ATTnd	Coef.	P-valor (Nerest-Neighbor)	ATTk
Pib Per Capita (em 1000,00)	-3.962	-3.273	-3.55	0.032	-1.866
Número de Famílias per capita até ½ salários mínimos	0.022	0.024	0.021	0.000	0.013
Gasto per capita com meio ambiente	6.170	2.099	6.31	0.032	7.261
Esforço Orçamentário em Meio Ambiente	0.323	0.210	0.32	0.005	0.341

Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (em 1000,00)	-163.233	-123.890	-179.81	0.000	-122.960
--	----------	----------	---------	-------	----------

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A técnica de escore de propensão para o vizinho mais próximo mostra a significância da variável de interesse em relação aos blocos de propensão analisados. Percebe-se, portanto, que todas as variáveis possuem valores abaixo de 5%, o que demonstra a significância das variáveis para analisar o impacto por esta técnica.

O efeito tratamento teve uma diferença grande entre as abordagens para o gasto per capita com meio ambiente, com o valor de 6.170 para a análise sem as variáveis explicativas, no valor 2.099 para o efeito utilizando a abordagem do vizinho mais próximo e 7261 para a abordagem de Kernel. Ainda, houve uma diferença enorme entre os achados da atts, attnd e attk, para a variável de compensação financeira pela utilização de recursos hídricos.

Partindo do pressuposto de significância, é possível observar que o PIB per capita dos municípios que foram atingidos pela lama é 3.550 menor que os municípios de controle. Cabe destacar, que o valor do coeficiente foi dado pela técnica do vizinho mais próximo, o que demonstra uma grande diferenciação para municípios estatisticamente parecidos. Em consonância ao PIB, os municípios tratados tiveram um aumento de 2% no número per capita de famílias com até ½ salário mínimo em comparação ao grupo de controle, o que mostra uma tendência de piora nos indicadores socioeconômicos.

Em contrapartida, os gastos com meio ambiente e o esforço orçamentário cresceram, respectivamente, 631% e 32%, em comparação aos municípios que não foram atingidos. Isto indica uma presença de novas transferências para enfrentamento das crises geradas pelo desastre ecológico. O Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC) e o Termo de Ajustamento de Conduta de Governança (TACG), visam auxiliar principalmente na reparação, principalmente de danos socioeconômicos dos municípios atingidos (ROLAND et al., 2018). Por fim, a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos foi menor em 179.810,00 para os municípios atingidos pela lama. Este número demonstra uma queda exorbitante na arrecadação de recursos próprios proveniente de indenizações por empresas de luz, como aconteceu com a Usina Hidrelétrica de Candonga, por exemplo, no município de Rio Doce.

De forma complementar, o próximo tópico aborda a análise dos resultados a partir da técnica de diferenças em diferenças. Em vez de comparar os resultados entre os grupos de tratamento e de comparação após a intervenção, o método diferença em diferenças compara as tendências entre os grupos de tratamento e de comparação ao longo do tempo (GERTLER et al., 2018). A tendência entre os grupos nada mais é do que a diferença no resultado para o municípios antes e após o rompimento da barragem.

4.1.2 *Diff in Diff*

Neste tópico, utilizou-se o modelo de regressão descrito nos procedimentos metodológicos para auxiliar na análise das diferenças dos resultados. Os dados encontrados estão dispostos no quadro 3 abaixo:

Quadro 3: Análise de Impacto pelo Diff in Diff

Variáveis/Teste	Diff in Diff		Test t
	Diff in Diff	P-valor	Diff ttest (média)
Pib Per Capita (em 1000,00)	-5,10	0,018	2049,62 (rejeito H0)
Número de Famílias per capita até ½ salários mínimos	0,010	0,043	-0,10 (rejeito H0)
Gasto per capita com meio ambiente	4,26	0,355	-7,83 (rejeito H0)
Esforço Orçamentário em Meio Ambiente	0,098	0,579	-0,34 (rejeito H0)

Compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (em 1000,00)	- 265,617	0,000	96,20 (Rejeito H0)
--	-----------	-------	--------------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Inicialmente, percebe-se que as variáveis de gasto per capita com meio ambiente e esforço orçamentário em meio ambiente são foram significativas para um valor de aceitação de 95%. Já as variáveis significativas foram analisadas em quatro quadrantes: Municípios atingidos pela lama (antes e depois do desastre) e Municípios não atingidos pela lama (antes e depois do desastre), sendo possível avaliar o impacto do rompimento da barragem para ambos grupos, nestes dois momentos específicos de tempo.

O PIB per capita tem uma diferença negativa de 5100,00 de antes do desastre para depois, o que demonstra uma queda acentuada no desenvolvimento local dos municípios atingidos em comparação aos não-atingidos. Neste sentido, é possível inferir que o aporte financeiro estadual e o pagamento de indenizações por parte da empresa responsável pela barragem não seguiram em proporção as necessidades locais, o que provocou um desequilíbrio no desenvolvimento entre os entes. Na mesma linha, a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos cresceu negativamente em 265.617,00. Para ambos os casos, percebe-se uma miopia quando se analisa somente a diferença de média dos grupos pelo teste t, mas com valores um pouco mais aproximados para o PIB per capita.

Ainda, o número per capita de famílias com recebimento de até ½ salários mínimos para os dependentes cresceu 1% dos municípios atingidos para os não-atingidos, após o rompimento da barragem.

4.2 Discussões

Inicialmente, percebeu-se que o rompimento da barragem de Fundão impactou negativamente o PIB per capita ao longo do tempo. Em consonância, Bradshaw (2003) destaca que o produto interno bruto pode ser prejudicado pela queda na produção de bens e serviços, mas que a reconstrução permite a volta do desenvolvimento local. Da mesma forma, Marulanda et al. (2010), Ishizawa e Miranda (2019) e Markhvida et al. (2020), afirmaram que foram inúmeros os impactos adversos no produto interno bruto per capita em cidades atingidas por desastres, com um agravante para o primeiro caso na Colômbia, onde a maior parte dos atingidos não recebeu nenhuma ajuda substancial pós-desastre para recuperação e desenvolvimento.

Bradshaw (2003, p.30) relata que “os gastos do setor público geralmente aumentam como resultado de desembolsos feitos durante as fases de emergência e reabilitação ou de subsídios concedidos a grupos populacionais significativamente afetados”. Mesmo sem ser o foco central desta pesquisa, foi possível perceber algum esforço governamental a partir do TTAC e do TACG. Contudo, a compensação financeira por utilização dos recursos hídricos é extremamente menor para os municípios atingidos, o que demonstra uma diminuição clara nos valores arrecadados, podendo explicar a queda no desenvolvimento local.

Roland et al. (2018) afirmam que mesmo com os termos governamentais, o objetivo de mitigação dos danos causados pode estar enviesado pelas empresas contratadas para avaliar o impacto do rompimento da barragem, em virtude das mesmas terem sido escolhidas em uma negociação entre o Ministério Público e as empresas responsáveis pela barragem. A menor arrecadação por parte dos municípios atingidos e o viés no objetivo central dos termos contrapõe-se aos autores Marulanda et al. (2010), quando, num ponto de vista social e microeconômico, afirmam que os desastres devem ser acompanhados de perto pelos formuladores e avaliadores de políticas públicas.

Neste sentido, a diferença negativa no PIB per capita e na arrecadação própria dos municípios atingidos podem explicar o aumento no número per capita de famílias com a renda per capita de até ½ salário mínimo. Os achados vão de encontro aos resultados de Islam e Khan

(2018), quando estes afirmam que as ameaças socioeconômicas a partir dos desastres ambientais estão diretamente relacionadas com a baixa renda, a pobreza, o desemprego, a falta de seguridade social, os riscos à saúde e principalmente à falta de perspectiva de solução. Da mesma forma, Dolman et al. (2018) afirmaram que as enchentes em Rio Branco, no Acre, afetaram diretamente a agricultura e conseqüentemente a renda das famílias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se, portanto, que inúmeras são as partes interessadas no desenvolvimento local pós-desastre: órgão público, empresas, sociedade civil e, mesmo assim, existe pouca capacidade de se recobrar facilmente ou se adaptar à má sorte ou às mudanças causadas por desastres como o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana.

Os achados demonstram que os problemas são inúmeros, mas que seguem um mesmo padrão para outras comunidades atingidas por desastres ao redor do globo. Cabe destacar uma primazia pela falta de responsabilização, principalmente para desastres causados por ação humana com vários temas associados: má gestão, falta de resiliência, escassez de recursos, uma sociedade menos instruída, pouca capacidade técnica e infraestrutura precária. Neste sentido, para melhor entendimento das variáveis estudadas, é válido aprofundar nos estudos *in loco*, visitando as cidades atingidas, com a possibilidade de realizar uma avaliação mais aproximada das comunidades e partes interessadas, além da captar novas variáveis de interesse para o modelo.

Algumas inquietações, ainda não passíveis de resposta, emergiram pós estudo: existiram políticas específicas para as dimensões aqui estudadas? Existe um planejamento comparativo entre a possível arrecadação das cidades e o subsídio governamental/sanção à empresa responsável?

Destaca-se que os impactos no PIB, na arrecadação financeira por utilização de recursos hídricos e na renda familiar foram justificados pelo modelo. Contudo, apesar de existirem mais pesquisas voltadas especificamente para o rompimento da barragem de Fundão, os assuntos a serem abordados ainda não se esgotaram.

REFERÊNCIAS

ALBERT, O. N.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R. P. Evaluation of the Impacts of Oil Spill Disaster on Communities and Its Influence on Restiveness in Niger Delta, Nigeria. **Procedia Engineering**, 7th International Conference on Building Resilience: Using scientific knowledge to inform policy and practice in disaster risk reduction. v. 212, p. 1054–1061, 1 jan. 2018.

AMINI HOSSEINI, K.; HOSSEINIOON, S.; POOYAN, Z. An investigation into the socioeconomic aspects of two major earthquakes in Iran. **Disasters**, v. 37, n. 3, p. 516–535, 2013.

BECKER, S. O.; ICHINO, A. Estimation of average treatment effects based on propensity scores. **The stata journal**, v. 2, n. 4, p. 358–377, 2002.

BOTELHO, M. R. et al. Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 46, 2021.

BRADSHAW, S. **Handbook for estimating the socio-economic and environmental effects of disasters**. United Nations, ECLAC & International Bank for Reconstruction & Development ..., , 2003.

CERULLI, G. **Econometric evaluation of socio-economic programs Theory and applications**. [s.l.] Springer, 2015.

DANIELS, L.; MINOT, N. **An Introduction to Statistics and Data Analysis Using Stata®: From Research Design to Final Report**. [s.l.] Sage Publications, 2019.

DE SILVA, M. M. G. T.; KAWASAKI, A. Socioeconomic Vulnerability to Disaster Risk: A Case Study of Flood and Drought Impact in a Rural Sri Lankan Community. **Ecological Economics**, v. 152, p. 131–140, 1 out. 2018.

DOLMAN, D. I. et al. Re-thinking socio-economic impact assessments of disasters: The 2015 flood in Rio Branco, Brazilian Amazon. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 31, p. 212–219, 1 out. 2018.

FARIA, M.; BOTELHO, M. O rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, Brasil: a incubação de um acidente organizacional. **Methodology**, v. 1, p. 9, 2018.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35–45, 2016.

FONTES, R. N.; LOPES, I. DA S. As representações da mídia sobre o rompimento da barragem do Fundão em Mariana, Minas Gerais. **Espacios**, v. 38, n. 34, p. 32–46, 2017.

FREITAS, C. M. DE et al. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 35, 20 maio 2019.

GERTLER, P. J. et al. **Avaliação de Impacto na Prática, Segunda edição**. [s.l.] World Bank Publications, 2018.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. [s.l.] Bookman editora, 2009.

HAMILTON, L. C. **Statistics with Stata: version 12**. [s.l.] Cengage Learning, 2012.

HOFFMANN, R.; BLECHA, D. Education and Disaster Vulnerability in Southeast Asia: Evidence and Policy Implications. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1401, jan. 2020.

IBAMA. Rompimento da Barragem de Fundão: Documentos relacionados ao desastre da Samarco em Mariana/MG. 2022.

INOUE, Y.; HAVARD, C. T. Sport and disaster relief: A content analysis. **Disaster Prevention and Management**, 2015.

ISHIZAWA, O. A.; MIRANDA, J. J. Weathering storms: Understanding the impact of natural disasters in Central America. **Environmental and Resource Economics**, v. 73, n. 1, p. 181–211, 2019.

ISLAM, M. R.; KHAN, N. A. Threats, vulnerability, resilience and displacement among the climate change and natural disaster-affected people in South-East Asia: an overview. **Journal of the Asia Pacific Economy**, v. 23, n. 2, p. 297–323, 2018.

KHANDKER, S. R.; KOOLWAL, G. B.; SAMAD, H. A. **Handbook on Impact Evaluation: Quantitative Methods and Practices**. [s.l.] World Bank Publications, 2009.

LABONNE, B. Mining dam failure: Business as usual? **The Extractive Industries and Society**, v. 3, n. 3, p. 651–652, 1 jul. 2016.

LACAZ, F. A. DE C.; PORTO, M. F. DE S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista brasileira de saúde ocupacional**, v. 42, 2017.

MARKHVIDA, M. et al. Quantification of disaster impacts through household well-being losses. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 7, p. 538–547, jul. 2020.

MARULANDA, M. C.; CARDONA, O. D.; BARBAT, A. H. Revealing the socioeconomic impact of small disasters in Colombia using the DesInventar database. **Disasters**, v. 34, n. 2, p. 552–570, 2010.

MERCER, J. et al. Culture and disaster risk reduction: Lessons and opportunities. **Environmental Hazards**, v. 11, n. 2, p. 74–95, 1 jun. 2012.

PERERA, E. N. C. et al. Direct impacts of landslides on socio-economic systems: a case study from Aranayake, Sri Lanka. **Geoenvironmental Disasters**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2018.

PINTO-COELHO, R. M. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG**, v. 24, n. 1–2, 2015.

REZENDE, E. DE A.; PORTELLA, S.; OLIVEIRA, S. S. O rejeito e suas diversas marcas: saúde dos trabalhadores da Defesa Civil no rompimento da barragem de Fundão. **Saúde em Debate**, v. 44, p. 272–283, 2021.

ROJAS, C. M. O.; PEREIRA, D. B. As veias continuam abertas: o rompimento da barragem de Fundão/MG e o modus operandi da Samarco (Vale/BHP Billiton). **Lutas Sociais**, v. 22, n. 41, p. 223–236, 2018.

ROLAND, M. C. et al. Negociação em contextos de violações de Direitos Humanos por empresas: uma breve análise dos mecanismos de solução negociada à luz do caso do rompimento da barragem de Fundão. **Versos**, v. 2, n. 1, p. 325, 2018.

ROSENBAUM, P. R.; RUBIN, D. B. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. **Biometrika**, v. 70, n. 1, p. 41–55, 1983.

RUSH, J. V. The impact of natural disasters on education in Indonesia. **Economics of disasters and climate change**, v. 2, n. 2, p. 137–158, 2018.

WICKER, P.; FILO, K.; CUSKELLY, G. Organizational Resilience of Community Sport Clubs Impacted by Natural Disasters. **Journal of Sport Management**, v. 27, n. 6, p. 510–525, 1 nov. 2013.