

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

DANILO DE SOUZA NEVES

**USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DOCE: RELAÇÕES COM O CLIMA E COM O
DESASTRE DA SAMARCO/BHP BILLITON/VALE**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

DANILO DE SOUZA NEVES

**USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DOCE: RELAÇÕES COM O CLIMA E COM O
DESASTRE DA SAMARCO/BHP BILLITON/VALE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Carlos Frankl Sperber

Coorientadores: Divino Vicente Silvério
Gustavo Soares Iorio

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Neves, Danilo de Souza, 1992-

N518u
2022

Uso do solo na bacia do rio Doce: relações com o clima e com o desastre da SAMARCO/BHP Billiton/VALE / Danilo de Souza Neves. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (70 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Orientador: Carlos Frankl Sperber.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Geral, 2022.

Referências bibliográficas: f. 59-65.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.346>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solo - Uso - Doce, Rio, Bacia (MG e ES). 2. Ecologia das paisagens. 3. Desastres ambientais - Mariana (MG).

4. Degradação ambiental - Doce, Rio, Bacia (MG e ES).

I. Sperber, Carlos Frankl, 1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 631.4

DANILO DE SOUZA NEVES

**USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DOCE:RELAÇÕES COM O CLIMA E COM O
DESASTRE DA SAMARCO/BHP BILLITON/VALE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de abril de 2022

Assentimento:



Daniilo de Souza Neves
Autor



Carlos Frankl Sperber
Orientador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria do Carmo Almeida Neves e Ademar Pereira Neves (in memoriam) meus agradecimentos vão para além dessa conquista acadêmica, obrigado por tudo.

Agradeço ao Carlos Frankl Sperber por ter se disponibilizado em ser meu orientador mesmo com pouco tempo em que havíamos sido apresentados; a confiança que sempre demonstrou no meu trabalho e a atenção dedicada durante todo esse período. Ao Frederico Fernandes Ferreira, que foi um grande incentivador para que eu ingressasse no mestrado, e disponibilizou do seu tempo para que isso fosse possível. Ao professor Gustavo Soares Iorio, que desde o período da graduação foi peça fundamental para minha caminhada, um exemplo de profissional da qual me inspirou e tive a alegria de tê-lo presente durante toda minha vida acadêmica, meus agradecimentos.

Ao Divino Vicente Silvério, que foi um marco nesse processo de pesquisa, com sua experiência acrescentou enormemente para que a conclusão desse trabalho fosse possível, obrigado pela parceria e paciência. Aos meus familiares, e aqui cito Irone Almeida Neves, que foi de suma importância, sempre me incentivando, sendo presente, se preocupando e essa conquista eu dedico a você. Ao Weberth Pereira Lopes, que foi uma pessoa da qual serei grato eternamente pela compreensão e amizade. E aos amigos, que estiveram presentes durante esses dois anos, e mesmo em meio a uma pandemia, estavam ali com uma palavra amiga e um incentivo, meu muito obrigado. Aos membros da banca avaliadora, Prof. Thadeu Sobral – Souza e Prof^a. Renata Bernardes Faria Campos, por terem aceitado o convite e pelas valiosas contribuições.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Ecologia pela oportunidade de aperfeiçoar minha formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

NEVES, Danilo de Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2022. **Uso do solo na bacia do rio Doce: relações com o clima e com o desastre da SAMARCO/BHP Billiton/VALE.** Orientador: Carlos Frankl Sperber. Coorientadores: Divino Vicente Silvério e Gustavo Soares Iorio.

As mudanças na paisagem associadas a dinâmica de uso do solo, são resultado de forças motrizes atuantes neste mesmo espaço, desde o clima, a disponibilidade de recursos, até os interesses econômicos. Na bacia hidrográfica do rio Doce, que abrange os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, além do jogo de forças que delinearão o processo de ocupação e consequente degradação ambiental a partir do século XVI, a lógica capitalista, e mais especificamente o setor de mineração, foram responsáveis pelo maior desastre ambiental da história do Brasil, caracterizado pelo rompimento da barragem do Fundão em Mariana, no dia 5 de novembro de 2015. Buscamos caracterizar a dinâmica de uso do solo na bacia do rio Doce entre 2012 e 2019 e identificar possíveis relações com o desastre da SAMARCO e as características climáticas da região. Utilizamos dados de uso do solo obtidos na plataforma MapBiomas (coleção 5.0) para os 226 municípios que compõem a bacia do rio Doce, comparando antes (2012-2015) e após (2016-2019) o desastre. Avaliamos forças motrizes antrópicas (extensão de rodovias e área urbana dentro de cada município) e naturais (declividade média, temperatura e precipitação média anual para cada município), como variáveis explicativas das transições de uso do solo, de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (abandono de atividade agropastoril) e vice-versa (expansão agropastoril). Antes do desastre (2012 – 2015) os municípios às margens do rio Doce (adjacentes) apresentaram precipitação e temperatura média anual como vetores motrizes positivos (maior abandono agropastoril), e efeito inverso no caso de precipitação, ou não significativo no caso de temperatura nos municípios “não adjacentes” ao rio Doce. No período após o desastre (2016 – 2019), desapareceram as diferenças entre municípios “adjacentes” e “não adjacentes” à calha do rio Doce: tanto precipitação como temperatura média anual tiveram efeito negativo (redução) nas transições de abandono agropastoril. Não houve diferença nos vetores motrizes das transições de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (expansão agropastoril), entre municípios “adjacentes” e “não adjacentes” à calha do rio Doce. Mas detectamos uma mudança quase completa entre os vetores motrizes da transição “expansão agropastoril” entre antes (2012 – 2015) e após (2016 – 2019) o desastre da SAMARCO. Antes do desastre havia um efeito negativo da precipitação e temperatura (menor expansão agropastoril), após o desastre

desapareceram estes dois vetores e surgiram um efeito positivo da declividade (expansão de atividades agropastoris para áreas mais íngremes) e negativo de área urbana nos municípios (diminuição da expansão agropastoril nos municípios com maior área urbana). Nos dois períodos detectamos efeito positivo da extensão de rodovias no município sobre a expansão das atividades agropastoris. Nossos resultados mostraram como a combinação de forças motrizes naturais e antrópicas, foram responsáveis pela manutenção da cobertura vegetal ou pelo abandono de atividades agropastoris na bacia do rio Doce. Acreditamos que a interdisciplinaridade, entre ciências como a ecologia e a geografia, com ênfase na interação entre seres humanos e a natureza são capazes de juntas propor soluções para problemas ecológicos e sociais, dando subsídios para tomada de decisões sobre o uso do solo, e principalmente na criação de políticas públicas para as regiões e grupos familiares mais vulneráveis.

Palavras-chave: Uso do solo. Rompimento. Ecologia de paisagens. Forças motrizes. Paisagem.

ABSTRACT

NEVES, Danilo de Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa. April, 2022. **Land use in the Doce river basin: relationship with climate and the SAMARCO/BHP Billiton/VALE disaster.** Advisor: Carlos Frankl Sperber. Co-Advisors: Divino Vicente Silvério and Gustavo Soares Iorio.

The changes in the landscape associated with the dynamics of land use result from driving forces acting in this same space, related to climate, resource availability, and economic interests. In the Doce river watershed, which covers areas in the states of Minas Gerais and Espírito Santo, in addition to the role of forces that outlined the anthropic occupation process and consequent environmental degradation from the 16th century, the capitalist logic, and more specifically the mining sector, were responsible for the biggest environmental disaster in the history of Brazil, characterized by the rupture of the Fundão dam in Mariana on November 5, 2015. We seek to characterize the dynamics of land use in the Doce river basin between 2012 and 2019 and identify possible relationships with the SAMARCO disaster and climatic drivers. We used land use data obtained from the MapBiomas platform (collection 5.0) for the 226 municipalities that make up the Doce river basin, comparing before (2012-2015) and after (2016-2019) the disaster. We evaluated anthropic (extension of highways and urban area within each municipality) and natural (average slope, temperature, and average annual precipitation for each municipality) driving forces as explanatory variables for land use transitions from “Agropastoral Use” to “Vegetation Cover” (abandonment of agropastoral activity) and vice versa (agropastoral expansion). Before the disaster (2012 – 2015) the municipalities at the banks of the Doce river (adjacent) revealed precipitation and average annual temperature as positive driving forces (higher agropastoral abandonment), and inverse effect of precipitation, or not significant for the effects of temperature in the municipalities “not adjacent” to the Doce river. In the period after the disaster (2016 – 2019), the differences between municipalities “adjacent” and “not adjacent” to the Doce river channel disappeared: both precipitation and annual average temperature had a negative effect (reduction) on agropastoral abandonment transitions. There was no difference in the drivers for the transitions from “Vegetation Cover” to “Agropastoral Use” (agropastoral expansion), between municipalities “adjacent” and “non-adjacent” to the Doce river channel. However we detected an almost complete shift between the driving vectors for the “agropastoral expansion” transition between before (2012 – 2015) and after (2016 – 2019) the SAMARCO disaster. Before the disaster there was a negative effect of precipitation and temperature (lower agropastoral expansion), after the disaster these two vectors

disappeared and a positive effect of slope (expansion of agropastoral activities to steeper areas) and negative effect of urban area in the municipalities (decrease of agropastoral expansion in municipalities with greater urban area) emerged. In both periods we detected a positive effect of the extension of highways in the municipality (expansion of farming activities). Our results showed how the combination of natural and anthropic driving forces were responsible for the maintenance of vegetation cover or for the abandonment of agropastoral activities in the Doce river basin. We believe that interdisciplinarity, between sciences such as ecology and geography, with emphasis on the interaction between human beings and nature, are capable of together proposing solutions to ecological and social problems, giving subsidies for decision making about land use, and especially in the creation of public policies for the most vulnerable regions and family groups.

Keywords: Land use. Fracking. Landscape ecology. Driving forces. Landscape.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
Capítulo 1. Da preservação no séc. XVI à degradação ambiental pré-desastre	12
Capítulo 2. Estratégia operacional da SAMARCO S. A. e seus desdobramentos	21
Capítulo 3. Efeitos do desastre da SAMARCO S. A. na dinâmica de uso do solo na bacia do rio Doce	31
INTRODUÇÃO	31
OBJETIVOS	33
Objetivo geral.....	33
Objetivos específicos.....	33
MATERIAIS E MÉTODOS	34
Área de estudo	34
Fonte dos dados.....	35
Processamento dos dados	37
Avaliação das Forças motrizes (variáveis explicativas).....	39
RESULTADOS	41
Dinâmica de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Doce.....	41
Mudanças de uso do solo e suas forças motrizes	44
DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÕES	56
CONCLUSÕES GERAIS	57
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICES	66
ANEXOS.....	70

INTRODUÇÃO GERAL

As atividades humanas têm determinado, cada vez mais, as mudanças ambientais globais, alterando as paisagens e conseqüentemente provocando mudanças em sua estrutura (relação espacial entre os elementos da paisagem) e nas suas funções (interação entre os elementos) ao longo do tempo (HOBBS, 1997). Identificar e compreender esses padrões de mudanças nas paisagens tem sido importante no planejamento e gestão de territórios, permitindo ações que promovam a conservação da biodiversidade e usos do solo menos predatórios.

Apesar do conceito de paisagem apresentar diferentes variações conforme o campo científico que o aborda (MARTINS et al., 2004; NAVEH; LIEBERMAN, 1994), nesta pesquisa utilizamos o conceito de paisagem como o produto das interações entre elementos físicos, biológicos (de origem natural) e antrópicos (origem humana), ou seja, que não é apenas um fato natural, espontâneo, mas inclui a intervenção humana. Esses elementos, agindo uns sobre os outros dialeticamente, resultam em feições e condições dinâmicas, em constante mudança (BERTRAND, 2004; MAXIMIANO, 2004). Intervenção humana, considerada como ações antrópicas, e identificadas pelo uso do solo, quando feitas sem planejamento levam à degradação ambiental (ROSS, 1985).

A ecologia da paisagem tem importante papel no estudo dos padrões da paisagem, das interações e das formas como ocorrem as mudanças na paisagem ao longo do tempo. Ao ter como objetos de estudo a dimensão social (influência humana sobre a paisagem) e ecológica (os processos ecológicos no contexto espacial), permitindo a compreensão da relação entre esses dois campos e a partir disso obter melhores soluções para os problemas socioambientais (METZGER, 2001). O avanço de ferramentas computacionais, associado à ecologia da paisagem, permitiu ao longo dos últimos anos maior facilidade na obtenção de dados e métricas das paisagens, modificando o estado da arte sobre o tema (HAINES-YOUNG; GREEN; COUSINS, 1993; WU; HOBBS, 2002; YU et al., 2019).

O acompanhamento temporal e espacial, a partir de imagens de satélites e da classificação dos tipos de uso e cobertura do solo, contribuíram com um melhor entendimento da dinâmica de uso do solo nos territórios. Além do aumento no número de estudos, houve também uma mudança metodológica, que antes da utilização de ferramentas computacionais eram de caráter majoritariamente descritivos, e passaram a surgir trabalhos quantitativos e de modelagem sobre os padrões e mudanças na paisagem (HOBBS, 1997).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm se destacado pela sua aplicabilidade, no desenvolvimento de diversos trabalhos como modelagem de cenários futuros (DE ALMEIDA et al., 2005), identificação de impactos socioeconômicos em determinadas regiões (HASSE; LATHROP, 2003), detecção de alterações no clima urbano (DENG et al., 2018; KALNAY; CAI, 2003; MANTYKA-PRINGLE et al., 2014), analisar o impacto do uso do solo em habitats aquáticos (ALLAN, 2004; ROTH; DAVID ALLAN; ERICKSON, 1996) além de processos de degradação ou regeneração de matas ciliares (BOJSEN; BARRIGA, 2002; PETERJOHN W.T.; CORRELL D.L., 1984).

Os trabalhos citados anteriormente, além do uso de geotecnologias como ferramenta de análise, têm em comum a sua dimensão territorial de estudo, a bacia hidrográfica. Englobando aspectos sociais, econômicos e ambientais, as bacias hidrográficas têm sido consideradas como importantes unidades para o planejamento e gestão dos recursos, “pois possibilitam uma visão integrada do comportamento das condições naturais, como também, das mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza” (COELHO, 2007, pg. 118).

Aqui focamos na bacia hidrográfica do rio Doce, para avaliar eventuais impactos do desastre da SAMARCO, onde uma barragem de contenção de rejeitos minerários, localizada na cidade de Mariana – MG, rompeu e liberou mais de 50 milhões de metros cúbicos de rejeitos no leito dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce. A pluma de rejeitos atingiu diretamente atividades agrícolas e industriais, fauna e flora ao longo dos cursos d’água, além de comunidades ribeirinhas e o abastecimento de água em várias cidades (IBAMA, 2015).

Em nossa pesquisa, a escolha do termo “desastre” para se referir ao rompimento da barragem de Fundão é baseado no entendimento de que o ocorrido não foi um evento não previsível, um fato casual, fortuito ou fruto do acaso, ou seja, não foi um acidente¹, o risco era conhecido (GUIMARÃES, 2019; MORGENSTERN; et al., 2016). Por isso, entendemos que o rompimento e seus desdobramentos, foi resultado de omissões por parte de órgãos de fiscalização e da SAMARCO. Utilizamos o termo “desastre” para designar um acontecimento, neste caso, provocado pela ação humana, que alterou drasticamente a rotina de grupos sociais (MATTEDI; BUTZKE, 2001), tendo como consequência perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais (BRASIL, 2010).

¹ Acontecimento infausto que envolve dano, estrago, sofrimento ou morte; desastre, desgraça (ACIDENTE, 2022)

Organizamos nossa pesquisa da seguinte forma: inicialmente, contextualizamos a formação socioterritorial da bacia do rio Doce, sob uma perspectiva histórica. Consideramos as relações socioeconômicas, políticas e culturais que levaram ao desmatamento, genocídio de grupos indígenas e à degradação ambiental da bacia (Capítulo 1). Em seguida, abordamos aspectos relacionados ao perfil de mineração desenvolvido na região do alto rio Doce, e as consequências mais imediatas na paisagem após o desastre da SAMARCO (Capítulo 2). Finalmente, avaliamos quais foram as forças motrizes das mudanças de uso do solo e como o desastre alterou a dinâmica de uso do solo na bacia do rio Doce (Capítulo 3).

Capítulo 1.

DA PRESERVAÇÃO NO SÉC. XVI À DEGRADAÇÃO AMBIENTAL PRÉ-DESASTRE

A paisagem atual é resultado de interações antrópicas e naturais passadas, em que as características físicas e o momento histórico são determinantes. As relações culturais, econômicas, políticas e sociais não apenas se dão no território, como este último também é parte do processo, uma condicionante (SANTOS, 2004). Na bacia hidrográfica do rio Doce, as suas características geomorfológicas, a fauna, a flora e a presença de povos indígenas do século XVIII, são elementos importantes para o entendimento da forma e os processos que influenciaram na ocupação deste território. Desde o início da colonização, o litoral brasileiro teve grande atenção por parte da Coroa portuguesa, seja pela necessidade de proteção contra invasões de estrangeiros, seja pela economia açucareira que ali se desenvolvia (FAUSTO, 2007).

Isso muda após os primeiros relatos do achado de ouro na região central mineira, o que caracteriza uma mudança nos planos da Coroa e influi diretamente nas ações adotadas tanto para a região central como para o leste de Minas. Para garantir a exploração e transferência de excedentes a Coroa determina a manutenção da região leste mineira intocada, impedindo a abertura de estradas e deslocamento de grupos, para evitar o acesso direto de Minas Gerais ao litoral. Esses impedimentos se estendiam à Zona da Mata, Vale do Mucuri, Jequitinhonha e ao Vale do Rio Doce, com o objetivo de evitar o extravio do ouro, como apontado por Espindola (2005):

A bacia do rio Doce, como categoria territorial, deve ser entendida como parte do processo de organização espacial da capitania de Minas Gerais. Durante o século 18, para evitar os extravios do ouro e diamantes, as autoridades isolaram as áreas de florestas e proibiram a navegação do rio Doce. Esse isolamento objetivava combater o contrabando do ouro e impedir uma possível invasão estrangeira. As autoridades souberam utilizar os elementos naturais em apoio à sua estratégia”. (ESPÍNDOLA, 2005, p.28)

A descrição das características físicas ajuda a entender a dificuldade imposta aos colonos e àqueles que tentavam transpor a divisa do estado mineiro e capixaba. Saltava aos olhos pela grandiosidade da Mata Atlântica até então preservada, o que foi um obstáculo considerando um período em que as técnicas para derrubada da floresta ainda eram bem rudimentares. Verdadeiros paredões verdes em faixas contínuas, pouca incidência de luz e alta umidade, altas taxas de precipitação, inúmeras e desconhecidas doenças tropicais e a presença

de animais selvagens, condições inóspitas tanto para quem vinha do litoral em direção a região central mineira como no sentido contrário (COELHO, 2011; SANTOS, 2014).

Definido como “mar de morros” por Ab’Sáber (2007) a região, de relevo acidentado, vertentes íngremes e cortado por diversas serras com altitudes que ultrapassam os 1000 metros, repleto de escarpas e paredes, abrigavam ainda condições favoráveis a doenças como a malária, denominada na época pelos colonos e indígenas como “febre”. Com rios bastante sinuosos e pontos com fortes corredeiras a difícil navegabilidade era outro impedimento para o deslocamento na bacia, o que naquele momento era convergente com os interesses da Coroa portuguesa.

Outro fator relevante que afastava e impedia o avanço de frentes de devastação ou mesmo a fuga de escravos da área de mineração era a presença de tribos indígenas. O fato da floresta no interior bacia do rio Doce ter sido mantida preservada, servia como refúgio para esses povos, que para manter sua liberdade, foram acudados dentro desses enclaves florestais. Histórias fantasiosas, principalmente sobre os “Botocudos”², foram disseminadas visando afastar prováveis ameaças das terras auríferas (SANTOS, 2014).

Até certo momento da história, as tribos indígenas foram utilizadas como guardas da Coroa, presentes nas regiões de mata fechada e repelindo possíveis invasores: “os índios ali refugiados serviam para amedrontar os contrabandistas de ouro que fugiam das rotas comerciais” (MARCATO, 1979, *apud* COELHO, 2011, p.28). Porém, no início da decadência do ouro, os interesses dos colonos sobre as terras indígenas ganharam maior expressão e o discurso passou a ser de um “extermínio necessário” para a derrubada da floresta, implantação da agropecuária e exportação de madeira.

No Mapa Etno-histórico do Brasil e regiões adjacentes (IBGE, 1980) é possível verificar a presença de grupos indígenas principalmente na região leste de Minas Gerais, que era o local de refúgio desses povos frente às ameaças dos luso-brasileiros (Anexo 1). Na bacia do rio Doce predominava a presença de dois grupos indígenas, os “Botocudos” e os Puri, estes últimos em sua maioria na margem direita do rio e pontualmente em alguns lugares na margem esquerda.

² Este termo foi utilizado pelos portugueses para designar diversas etnias existentes no Brasil, durante o período colonial. A utilização de uma grande rodela de madeira (parecida com bодоques, rolhas utilizadas para tampar tonéis) utilizada exclusivamente pelos homens, nos lábios e orelhas seria o motivo da utilização do termo “Botocudos” (COELHO, 2011). O grupo dos “Botocudos” era composto pelas etnias dos “gracnuns, os nacenunques, os pojichas e os quejaurins [...], mas também abrangiam os indígenas aranáas, catolés, crenaques, giporoques, honarés ou noretas, potes, puruntuns ou perutins.” (JOSÉ, 1965, p.16)

Os “Botocudos” ocupavam extensas faixas da Mata Atlântica na divisa de Minas Gerais e Espírito Santo, e alguns grupos foram identificados no Vale do Mucuri e no Jequitinhonha.

Os “Botocudos” não se curvaram facilmente às vontades dos colonos, que já em 1550 travaram duras batalhas na tentativa de escravizá-los. Muitos foram aprisionados e mortos por doenças contraídas do homem branco, e caso não fossem incorporados à sociedade colonial como mão de obra eram eliminados. Paralelo à morte de grupos indígenas houve uma destruição cultural desses povos, que passaram a viver como fugitivos e tendo que renunciar a hábitos e costumes tradicionais.

Devido a sua resistência, os “Botocudos” foram considerados uma ameaça aos interesses da época; o seu porte físico e adereços utilizados (uma roda de madeira nas orelhas e nos lábios) foram argumentos usados para os associarem a antropofagia. Isso foi utilizado por diversos colonos ao endereçarem suas vontades a Coroa portuguesa. Os “Botocudos” eram acusados de “impedir a ocupação dos sertões do rio Doce, a navegação fluvial, a expansão do comércio e da agricultura, a retirada de recursos florestais e a exploração das ricas jazidas de ouro” (COELHO, 2011, p.30).

Diante de tais argumentos os “Botocudos” foram o único grupo indígena em que houve uma guerra declarada e respaldada pela Coroa. No entanto, a história de antropofagia foi desnudada por diversos historiadores que visitaram o Brasil no século XVIII e XIX, deixando claro que eram ilações com fins de destruição dos entraves que esses grupos causavam no avanço da colonização, Coelho (2011) deixa claro no trecho a seguir:

A verdade sobre esses índios foi apresentada por diversos naturalistas que visitaram o Brasil no século XIX. Entre eles o zoólogo alemão Maximiliano, príncipe de Wied-Neuwied, que esteve no Brasil de 1815 a 1817. Em seu livro Viagem ao Brasil, ele dedicou inúmeras páginas ao relato de seu contato com os “Botocudos” nos vales dos rios Roce e Jequitinhonha (Belmonte), deixando minuciosas informações sobre seus costumes e sua vida, e não encampou as acusações sobre a antropofagia desses índios. (COELHO, 2011, p.29)

No fim do século XVIII, a dinâmica de uso do solo na bacia do rio Doce passa por mudanças resultantes do esgotamento do ouro, desencadeando uma alteração no perfil econômico da região. Antes voltado exclusivamente para atender as demandas da região aurífera os conflitos pela aquisição de terras passaram a se intensificar, visando desenvolver atividades agrícolas e colonizar novas áreas. A remoção dos índios passou a ser uma “necessidade” para a expansão da agricultura, pecuária e exploração da madeira; a diversificação econômica em Minas Gerais ocorreu através do controle da floresta, extermínio de populações nativas e liberação de terras para colonos estrangeiros.

Já no século XIX, com a vinda da Coroa para o Brasil, a necessidade de terras “livres” se tornou ainda maior. Com a Coroa, instalada no Rio de Janeiro, as ordens foram de avançar sobre a região de mata fechada do rio Doce. Para isso várias medidas foram tomadas, entre elas a concessão de terras (sesmarias) para colonos e, em 13 de maio de 1808, uma carta régia, é assinada pela Coroa, declarando guerra aos “Botocudos”, vistos como “empecilho ao avanço econômico da região”.

Com o incentivo do governo, a situação indígena só se agravou. Dois objetivos eram claros: a expropriação de suas terras e a apropriação da sua força de trabalho. Em 18 de setembro de 1850, a Lei n.º 601 foi mais um passo na distribuição de terras na bacia: conhecida como a Lei de Terras, ela tornava devolutas áreas que não tinham comprovação de compra, posse ou doação, ficando sob tutela da Coroa, que poderia distribuir sua posse da forma que desejasse (SANTOS, 2014).

Várias vilas, povoados e quartéis militares começaram a surgir. A ofensiva contra os índios era planejada a partir desses quartéis, as tropas adentravam na mata com o intuito de dominá-los e apropriarem-se das suas terras. Esse movimento foi ganhando espaço até a criação das Divisões Militares do Rio Doce. Sete Divisões, distribuídas ao longo de toda a bacia, tinham o intuito de garantir a navegação fluvial, a presença de colonos e o desenvolvimento das atividades econômicas. Diferente das primeiras investidas na região, essas Divisões tinham características distintas como aponta Coelho (2011):

Essas divisões, pela sua organização e a natureza das atividades, não podiam ser classificadas como unidade militares. Eram forças especiais, em virtude de várias características, entre as quais a forma diferenciada de sua remuneração, como tropas irregulares de ataque, encarregadas das frentes de devassamento do sertão e para atrair as populações nativas. (COELHO, 2011, p. 37)

Nesse cenário de conflitos, diversos grupos indígenas foram sendo dominados e aqueles que resistiam, além de perder território, viam aumentar a fome e doenças entre os seus. Várias tribos buscando sua sobrevivência se viram obrigadas a se curvar aos colonos em troca de alimentos, e muitos desses foram obrigados a entrar em conflito com outros grupos indígenas que figuravam como empecilho à aquisição de terras pelos fazendeiros. Se delineava um novo modelo de territorialização por parte da Coroa, com incentivo a abertura de estradas, instalação de povoados, e o desenvolvimento de atividades agropastoris para atender a demanda emergente.

A tríade São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro passou a ter relações mercantis mais robustas, o contingente populacional foi se intensificando e exigindo uma quantidade crescente

de alimentos, utensílios, animais, tecidos e ferramentas. Um jogo de interesses econômicos internos e externos passaram a dar ritmo e uma nova dinâmica às terras da bacia do rio Doce, a efetiva ocupação de terras, remoção da floresta e intensificação do uso da terra, tinham como objetivo abastecer o mercado interno e gerar excedentes para o mercado internacional (SANTOS, 2014).

No cenário internacional o sistema capitalista ganhava força na Inglaterra, a necessidade de bens como açúcar, algodão, fumo, couro e café para exportação era acompanhada do surgimento de pequenas indústrias. No fim do século XIX, Minas Gerais já contava com a maior população do país, representava 20,5% da população nacional, que se manteve ao longo de um século (SANTOS, 2014). Isso exigiu uma diversificação e espraiamento econômico por todo o território mineiro, mas “as freguesias com os maiores incrementos demográficos foram as do Vale do rio Doce e rio Pomba, ou seja, as localizadas em áreas de fronteira” (CARNEIRO, 2008, pg. 157).

O capital estrangeiro começou a ganhar cada vez mais espaço na economia mineira, visando a apropriação dos recursos disponíveis, como a madeira proveniente da derrubada da Mata Atlântica, o mercado agropecuário, que já respondia por grande parte da produção mineira, e as ricas jazidas de ferro no Quadrilátero Ferrífero e no Vale do rio Doce (ESPINDOLA, 2015).

Jazidas de minério de ferro que, ao longo do século XIX, já abasteciam centenas de fornos de siderúrgicas familiares espalhadas pela bacia do rio Doce. A abundância desse minério despertou o interesse de empresas inglesas, alemãs, estadunidenses e francesas. Diversos relatórios davam conta da extensão das jazidas de ferro e da qualidade do minério extraído, como é apresentado por Coelho (2011) ao descrever um trecho do relatório apresentado pelo governador Francisco Diogo Pereira de Vasconcelos, em 12 de dezembro de 1853:

Na província de Minas, além de inúmeras camadas mais ou menos extensas, existem cinco principais cordilheiras de minério de ferro, e pode-se afirmar que uma só delas encerra mais ferro do que todas as da Europa reunidas, atendendo não somente à extensão e possança como à riqueza do minério, o mais rico que se conhece, pois, analisado quimicamente, contém 76% de seu peso em ferro. (COELHO, 2011, p.67)

A necessidade de exploração e beneficiamento do minério de ferro deu início ao surgimento das primeiras ferrovias ligando a região mineira ao litoral. Em 1902 foi iniciada a construção da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), projetada para fazer a ligação da

capital capixaba até Diamantina – MG, mas a descoberta de jazidas de ferro na cidade de Itabira – MG fez com que o projeto fosse alterado. A construção da ferrovia trouxe três resultados imediatos para a região da bacia do rio Doce, modificando novamente a sua dinâmica de ocupação.

O primeiro resultado decorrente da construção da ferrovia, foi a criminosa derrubada de floresta para utilização e exportação da madeira, agora em maior escala, suportada pela facilidade de transporte até o litoral. Iniciado na porção do baixo rio Doce, nas proximidades das cidades de Linhares e Colatina, o processo de supressão da vegetação avançou sobre as cidades de Ipatinga e Governador Valadares (STRAUCH, 1955). Em um curto período enclaves de mata nativa, inclusive ciliar, foram dando lugar a uma paisagem fragmentada composta por siderúrgicas, metalúrgicas, serrarias e atividades agropecuárias (COELHO, 2009).

O segundo resultado decorrente da construção da ferrovia, foi a expansão de aglomerados urbanos que foram se formando ao longo da ferrovia, e o processo de migração de outras partes do país para a região, intensificado pela geração de empregos. A dinâmica territorial ganhou novos traçados, e um terceiro resultado foi o “desenvolvimento econômico” ocorrido na região: a presença de mão de obra, investimentos de capital estrangeiro, aparelhamento de estradas e a própria ferrovia, possibilitaram a intensificação da exportação de bens como aço, carvão, calcário, granito, ferro-gusa, produtos agrícolas, madeira e celulose.

Empresas como a Belgo Mineira (posteriormente comprada pela ArcelorMittal), Usiminas, Cosipa e Cenibra tiveram grande relevância no cenário industrial do Vale do Rio Doce. Diferente do que ocorria em grande parte do mundo, no Brasil, como o combustível utilizado nas siderúrgicas era o carvão vegetal, isso colocava em xeque a sustentabilidade da produção de ferro, devido ao esgotamento das reservas florestais.

Aberta ao capital estrangeiro, a atividade industrial no Vale do rio Doce foi motivo de diversos embates políticos envolvendo a exploração das jazidas de minério de ferro, impasses sobre a alíquota de exportação, compra de terras, continuidade do uso de carvão vegetal e a utilização das ferrovias. Após assumir o governo, Getúlio Vargas deu início a uma ampla reforma no país visando fortalecer a presença do Estado no campo econômico, com foco na industrialização a partir da siderurgia e exploração do minério de ferro.

No cenário internacional era iminente o início da Segunda Guerra Mundial, representando uma oportunidade de o Brasil impulsionar o fornecimento de minério de ferro

para a indústria bélica. Com um discurso nacionalista e desenvolvimentista, Getúlio Vargas adotou medidas que mudaram o cenário industrial siderúrgico no Brasil, com o objetivo de ir além da exportação de minério de ferro, mas também de garantir o desenvolvimento da indústria siderúrgica na região mineira.

A Constituição de 1934 e o Novo Código de Minas (decreto n.º 24.642 de 10 de julho de 1934) estabeleciam que apenas empresas nacionais poderiam atuar na exploração mineral. Concessões de lavra e/ou autorizações de pesquisas seriam dadas exclusivamente a entidades nacionais e importante modificação se deu quanto a distinção do uso do solo e do subsolo. Até então, para explorar o minério de ferro era necessário apenas a compra da terra da qual se encontrava a jazida, a partir desse momento, solo e subsolo (terra – jazida) passaram a ser coisas distintas, segundo a lei, de modo que, o dono da terra não necessariamente era detentor das jazidas, pois essas pertenciam à União (VALE, 2012).

Em 1942, fruto de concordâncias entre o governo brasileiro e estadunidense, foram assinados os “Acordos de Washington”, que em resumo tratavam da expansão industrial brasileira financiada pelos Estados Unidos. No pacote constavam investimentos para modernização da ferrovia “Vitória a Minas” e em contrapartida o fornecimento de minério de ferro aos norte-americanos, por um período inicial de três anos. É então que surge no cenário nacional, por decreto assinado por Vargas naquele mesmo ano, a Companhia Vale do Rio Doce, com a missão de exportar 1,5 milhões de toneladas de minério de ferro para Inglaterra e os Estados Unidos no período da Segunda Guerra Mundial (MOURA, 2010).

Ao final da Segunda Guerra, o cenário internacional ganhou novos contornos: em um primeiro momento, a reconstrução de diversos países arrasados pela guerra, manteve aquecida a venda de minério de ferro. No entanto, isso durou pouco tempo, pois fatores como a baixa dos preços e a redução nas exportações começaram a afetar a venda de minério de ferro. Voltada majoritariamente para o mercado externo, a Vale viu chegar ao fim o contrato de exclusividade para a venda de minério de ferro para os Estados Unidos e Inglaterra e teve início uma fase de redução em investimentos e contenção de despesas.

A partir da década de 1980, o mercado mundial da siderurgia passou a ser pautado pela competição de preços e qualidade do minério. Teve início um amplo processo de privatização de empresas do setor mineral, um marco no processo de reestruturação do setor. No Brasil, as dívidas e a redução nas exportações de aço “impossibilitavam investimentos na modernização das siderurgias, distanciando-as dos padrões internacionais de qualidade, produtividade e

competitividade” (COELHO, 2011, p.101), o que reforçava o discurso de privatização da principal empresa nacional do setor minerário.

Em 6 de maio de 1997, a Companhia Vale do Rio Doce foi privatizada, com a participação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), garantindo o financiamento ao conjunto de investidores nacionais e estrangeiros que compunham o Consórcio Brasil, vencedor da disputa (VALE, 2012). Mesmo sob fortes críticas, principalmente pelo baixo valor pela qual foi vendida (cerca de um quarto do capital total da empresa), o BNDES (1997) justificou a privatização com as seguintes alegações:

Sob gestão estatal, a Vale enfrenta uma série de restrições, desde entraves burocráticos para adquirir equipamentos e contratar pessoal, até a perda de autonomia para decidir sobre investimentos estratégicos. Isto sem considerar o fato de que o acionista controlador atual, a União, está praticamente impedido de fazer novos aportes de capital, o que, às vezes, é requerido em qualquer empresa que pretenda aproveitar oportunidades lucrativas de investimento e melhorar sua posição relativa nos mercados em que atua. (BNDES, 1997, p.5)

À época o Brasil estava engajado em uma agenda neoliberal, levando à privatização de várias outras estatais. A partir dos anos 2000, a Companhia Vale do Rio Doce manteve seu perfil exportador e suas ações dependentes do preço do minério de ferro no exterior, o que fez a companhia passar por reestruturações de governança, diversificação da sua estrutura de extração, aquisições e fusões com outras empresas. Em momentos de oscilações negativas do preço do minério a ordem passou a ser contenção de gastos e redução das operações.

Mostramos até aqui como a bacia hidrográfica do rio Doce teve a sua territorialização marcada por forças internas e externas à região, ao longo de mais de três séculos, num jogo de forças entre os luso-brasileiros e os nativos, e posteriormente entre o Estado e o capital estrangeiro. Ao longo das últimas décadas a dependência econômica do país foi se consolidando progressivamente no setor minero-exportador, reforçando conflitos e intensificando processos predatórios do uso do solo.

A extração de ouro, o avanço da pecuária e da agricultura e posteriormente intensificação da mineração (com foco no minério de ferro) ocasionou impactos na bacia do rio Doce de ordem ambiental (fragmentação da cobertura vegetal, derrubada de matas ciliares, redução de habitats silvestres, redução da fauna, exploração de madeira, uso e manejo inadequados do solo, assoreamento dos rios, contaminação de águas superficiais e lençóis freáticos, entre outros) e de ordem social (miséria e baixa remuneração do trabalho), reproduzindo a pobreza e o acirramento da desigualdade social na bacia (BOXER, 1969; EPE, 2007).

Esse modelo de exploração adotado ao longo dos anos e intensificado na última década, visando garantir maiores dividendos às empresas e a seus acionistas, submetem a bacia hidrográfica do rio Doce ao maior desastre ambiental do país, resultado do rompimento da barragem de Fundão em novembro de 2015, na cidade de Mariana – MG.

Capítulo 2.

ESTRATÉGIA OPERACIONAL DA SAMARCO S. A. E SEUS DESDOBRAMENTOS

Apresentamos como, ao longo dos anos, a dinâmica econômica e de poder sobre o território, ditou o ritmo do uso do solo na bacia do rio Doce e, conseqüentemente, a fragmentação e alteração da sua paisagem. A região, rica em minério, teve o aprofundamento, por interesses nacionais e estrangeiros, de seu caráter minero-exportador, servindo principalmente aos “interesses do capital” – a rigor, ao interesse dos capitalistas, daqueles que lucram, seja individualmente, seja em termos de governos. Nesta seção, iremos evidenciar como a relação de fatores políticos, institucionais e econômicos levaram ao maior desastre ambiental do país, resultado da busca por retornos financeiros cada vez maiores aos seus acionistas, contenção de gastos e redução de custos por parte da Samarco Mineração S.A.

A Samarco Mineração S.A., teve sua origem em 1973, como empresa *joint venture*³ de controle societário dividido entre a brasileira S.A. Mineração da Trindade (Samitri), com 51%, e a estadunidense Marcona Corporation. A Samarco se destacou pelo caráter das suas operações de extração do minério de ferro, transporte, pelotização e exportação, um conjunto de atividades que até então era realizado de maneira fragmentada pelo setor (SAMARCO, 2011). Em 2000, a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) comprou a Samitri e passou a dividir, após acordo com a BHP Billiton Ltda⁴, o capital social da empresa.

As ações foram divididas de forma igualitária, mas a CVRD (intitulada Vale S.A. em 2009) ficou com a responsabilidade operacional da Samarco e a BHP como investidora. Uma característica do mercado de mineração é a volatilidade dos preços, apresentando ciclos que se refletem diretamente na operacionalização das empresas e no seu gerenciamento. Em períodos de ciclos positivos, mais precisamente de 2003 a 2013, os valores de importação global de minério saltaram de US\$ 38 bilhões para US\$ 277 bilhões. Nesse período a Samarco efetuou uma política de expansão da sua estrutura, chegando a exportar, no ano de 2011, 99% da sua produção (MILANEZ; SANTOS; MANSUR, 2016; SAMARCO, 2011).

O que ocorreu com a mineração em Minas Gerais e o resultado disso em novembro de 2015, com o rompimento da barragem de rejeitos, coloca luz no descaso do poder público nas

³ Modelo estratégico de parceria comercial, que se configura na aliança entre duas empresas com objetivo de uma simples colaboração ou até mesmo uso de uma determinada tecnologia, sem a perda da identidade própria das empresas em questão.

⁴ Grupo anglo-australiano que adquiriu a Marcona Internacional em 1984.

esferas estaduais e federal, dos órgãos de fiscalização e das próprias empresas, quanto à segurança das barragens, das comunidades próximas desses empreendimentos e na mitigação de riscos. Segundo Davis e Martin (2009), o aumento das ocorrências de rompimento de barragens de rejeito de mineração é associado aos períodos recessivos dos ciclos dos preços de minério, e os autores apontam três causas para esse comportamento (*apud* MILANEZ; LOSEKANN, 2016, p. 40):

Pressa para obter as licenças necessárias para operar e auferir ganhos no período de preços elevados, levando ao uso de tecnologias inapropriadas e à escolha de locais não adequados para a instalação dos projetos [...] Movimento setorial de expansão, também durante o período de alta, causando um aquecimento do setor de engenharia e a contratação de serviços a preços mais elevados (aumentando o endividamento das firmas) [...] Intensificação da produção em volume e pressão por redução nos custos a partir do momento em que os preços baixam e voltam aos patamares usuais. (DAVIS; MARTIN, 2009 *apud* MILANEZ; LOSEKANN, 2016, p. 40)

Ao longo da década de 2000, o mercado asiático, e principalmente a China, se tornaram um dos principais destinos da exportação de minério de ferro do Brasil, nesse período ocorre o que é chamado no mundo econômico de *boom* das *commodities*, entre elas o minério de ferro. Isso se refletiu no aumento do preço, o que estimulou projetos de expansão visando atender a um mercado aquecido. Em 2008, a Samarco concluiu o programa de expansão da sua capacidade produtiva, intitulado de Projeto Terceira Pelotização (P3P) (SAMARCO, 2006).

O Projeto, celebrado pela empresa em seu Relatório Anual de Sustentabilidade, previa um faturamento de 1,5 bilhão por ano. Para isso foi construída uma segunda usina de concentração na Mina de Germano (pertencente ao Complexo de Alegria, em Mariana – MG), um mineroduto paralelo ao existente e uma terceira usina de pelotização, em Ubu – ES. A capacidade produtiva foi ampliada em 54% e sua participação no mercado ficou superior a 20,5%, se tornando a segunda maior exportadora de pelotas de minério de ferro no mercado transoceânico (SAMARCO, 2006).

Ainda na esteira do processo de expansão coincidente à alta nos preços do minério, em 2005, a empresa entrou com o pedido de licenciamento ambiental referente à barragem de Fundão. Essa solicitação ocorreu mediante a apresentação dos Estudos de Impacto Ambiental e do Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA), documentos produzidos por consultoria técnica contratada pela própria Samarco, o que segue a legislação, e mostra como tais estudos e relatórios precisam ser vistos com desconfiança e cautela, uma vez que o pagador é o maior interessado em que os riscos de impactos sejam escondidos, e os custos para segurança e sustentabilidade sejam reduzidos (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

As licenças de instalação e operação da barragem de Fundão foram concedidas ao final de 2008, após análise realizada por diversas autarquias de Minas Gerais e do Espírito Santo. A própria empresa ressaltou que “cada licença vem acompanhada de condicionantes ambientais, que devem ser atendidas no tempo determinado pelos órgãos ambientais. Até 2008 a Samarco deverá cumprir as 81 condicionantes – 63 recomendadas pelo Consema⁵, oito pelo COPAM⁶ e dez pelo Ibama” (SAMARCO, 2006, p.88).

Segundo o WORLD BANK (2021) o preço do minério de ferro partiu de um valor aproximado de US\$ 30, em 2003, ao pico de quase US\$ 200 (2008), seguido por uma trajetória de queda em 2011, chegando a pouco mais de US\$ 50 em 2015. A Figura 1, mostra como tanto o Projeto Terceira Pelotização quanto o licenciamento para a barragem de Fundão foram iniciados no período de expressivo aumento do preço do minério de ferro no mercado mundial.

Após o pico máximo em 2008, o preço do minério de ferro sofreu forte queda em 2009, apresentando recuperação no ano seguinte, mas voltando a cair em 2011. No Projeto Terceira Pelotização a Samarco investiu cerca de 3 bilhões de reais (SAMARCO, 2006), e viu no ano seguinte o preço do minério de ferro despencar, resultado de alta oferta no mercado e uma baixa demanda pelo produto. Nesse período houve uma desaceleração da economia chinesa, principal importador asiático.

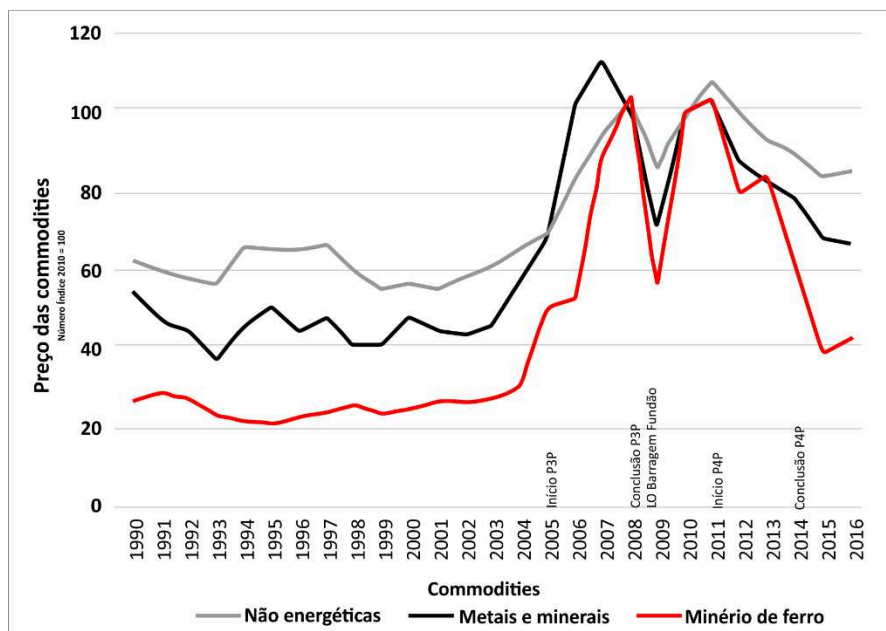


Figura 1. Variação no índice de preços das *commodities* entre o período de 1990 a 2016. P3P = Projeto Terceira Pelotização; P4P = Projeto Quarta Pelotização; LO = Licença de Operação. **Fonte:** Milanez (2016). Adaptado pelo Autor.

⁵ Conselho Estadual de Meio Ambiente (Consema), é um órgão, ao nível de direção superior, integrante da estrutura organizacional da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do estado do Espírito Santo (Seama). É um órgão de caráter consultivo, deliberativo, normativo e recursal.

⁶ Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) é um órgão colegiado, normativo, consultivo e deliberativo, subordinado administrativamente à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – MG (Semad).

O saldo foi um cenário desfavorável a longo prazo, endividamento, desvalorização nas bolsas de valores e baixo retorno financeiro. Nesse período de *pós boom* das *commodities*, a aposta da SAMARCO foi investir novamente na ampliação da sua capacidade produtiva, de forma a compensar a redução do lucro por aumento nas entradas brutas. Assim, em 2011 foram iniciadas as obras do Projeto Quarta Pelotização (P4P). Em seu Relatório de Sustentabilidade 2012, a empresa destaca o projeto como necessário para “manter uma posição relevante no mercado mundial [...] atendendo a critérios de qualidade e produção que satisfaçam seus clientes e acionistas” (SAMARCO, 2012, p.41), e destaca os números pretendidos com a obra:

Ampliar a capacidade produtiva da Empresa em 37%, alcançando 30,5 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro ao ano, o Projeto prevê investimentos da ordem de R\$ 5,4 bilhões e exige da Samarco uma série de medidas para assegurar a correta gestão dos impactos socioeconômicos e ambientais antes, durante e depois das obras. O P4P prevê três grandes instalações que afetam toda a cadeia de produção atual: na fase de beneficiamento do minério de ferro, em Germano (MG), está sendo construído um terceiro concentrador. Uma terceira linha do mineroduto, paralela às já existentes, também está em obras e atravessará 25 municípios nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Na operação de Ubu, em Anchieta (ES), vamos inaugurar a 4ª Usina de pelotização e estamos adaptando o Terminal Portuário para ampliar a capacidade de embarque. (SAMARCO, 2012, p.41)

Mesmo em um cenário mais competitivo e de preços menores no mercado mundial, com a entrada em operação do Projeto Quarta Pelotização, as vendas em 2014 foram de 100% da produção, totalizando um incremento de 15,6% em relação ao ano anterior. Apesar disso, o endividamento da empresa cresceu, levando os empréstimos para as obras de ampliação para os dois Projetos, saltarem de R\$ 2,6 milhões em 2009, para pouco mais de R\$ 11,5 milhões em 2014 (SAMARCO, 2014). Tudo isso vai de encontro à hipótese levantada por Davis e Martin (2009), de que nesses períodos de ampliação da sua planta produtiva a empresa optou pelo aumento da produção, distribuição crescente de dividendos aos acionistas, redução de custos e aumento do seu endividamento.

A ampliação do número de trabalhadores terceirizados e a redução de investimentos em áreas responsáveis pelo acompanhamento técnico das barragens de rejeito foram estratégias para redução de custos. No tocante ao rompimento da barragem de Fundão, em 2012, na esteira do Projeto Quarta Pelotização, a Samarco entrou com um novo pedido nos órgãos de fiscalização solicitando modificações na barragem, e em 2013, novo pedido, dessa vez solicitando autorização para o alteamento e junção das barragens de Germano – desativada desde 2009 – e de Fundão.

Isso representa reaproveitamento de estruturas, o que seria mais barato e rápido, pontos sensíveis ao setor frente a uma crise de preços e alto endividamento. Os pedidos foram feitos

mediante a entrega de três diferentes EIA – RIMA, o que tornou sua análise fragmentada e implicou na não avaliação de possíveis riscos cumulativos em caso de rompimentos. Assim como no licenciamento ambiental do Projeto Terceira Pelotização, neste caso a licença de operação foi liberada mediante algumas condicionantes ambientais.

Os relatórios apresentados atenderam a um processo puramente burocrático, sem sequer fazer menção a possíveis perdas culturais, econômicas e materiais das populações do entorno das barragens em um possível rompimento. Milanez e Losekann (2016) argumentam que:

A própria avaliação de risco da barragem do Fundão contida no EIA é bastante simplista, fundamentada apenas em análises qualitativas e vagas, não contendo modelagens matemáticas para projeção de um possível acidente que demonstrasse o alcance espacial máximo dos danos, o contingente populacional atingido e também o tempo de recuperação dos ecossistemas afetados em caso de rompimento. No estudo de risco, não há qualquer referência aos grupos sociais, às áreas e aos ecossistemas ameaçados pelo empreendimento. (MILANEZ; LOSEKANN, 2016, p.75)

Em inquérito divulgado pela Polícia Civil de Minas Gerais três meses após o rompimento, são apresentadas sete causas para o ocorrido. A apuração deixou clara a opção por parte da empresa de redução de custos no tocante à segurança da barragem. Processos que visassem a manutenção, prevenção e mitigação de riscos em caso de rompimento não foram e não vinham sendo adotados, e pior, em julho de 2015, em auditoria realizada pela VogBR⁷ documentos entregues à FEAM e ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) “asseguravam” a segurança da barragem de Fundão, Germano e Santarém.

Conforme apresentamos na Tabela 1, em junho é justamente a data em que a Samarco obtém a licença prévia para o processo de junção da barragem de Fundão e Germano, um dos objetivos do Projeto Quarta Pelotização. No inquérito policial são apontadas as seguintes causas para o rompimento da barragem de:

- 1) Elevada saturação dos rejeitos arenosos depositados na Barragem de Fundão [...]
- 2) Falhas no monitoramento contínuo do nível de água e das poropressões junto aos rejeitos arenosos depositados no interior da barragem e junto aos rejeitos constituintes dos diques de alteamento realizados.
- 3) Diversos equipamentos de monitoramento encontravam-se com defeito, não sendo realizadas, inclusive pelo pessoal da VOGBR, as respectivas leituras, quando da emissão do laudo de segurança da barragem.
- 4) Monitoramento deficiente em virtude do número reduzido de equipamentos instalados na barragem [...]
- 5) Elevada taxa de alteamento anual da barragem, em função do grande volume de lama que era depositado em seu interior [...] Nos dois últimos anos, os alteamentos foram realizados a uma taxa anual muito superior à recomendada na literatura técnica, que é de no máximo 10m de altura.
- 6) Assoreamento do dique 02, o que permitiu infiltração de água de forma generalizada para a área abrangida pelos rejeitos arenosos, no lado direito da bacia de deposição de rejeitos.
- 7) Deficiência

⁷ Empresa particular de consultoria contratada para realizar a auditoria geotécnica na barragem de Fundão em julho de 2015, auditoria cujo relatório entregue pelos técnicos aos órgãos fiscalizadores asseguravam a segurança da barragem.

junto ao sistema de drenagem interno da barragem cujos volumes de água drenados, de acordo com os resultados de monitoramento apresentados pela Samarco para os meses de setembro e outubro de 2015 eram semelhantes e até mesmo inferiores a resultados obtidos em 2014. (POLÍCIA CIVIL DE MINAS GERAIS, 2016)

Tabela 1: Cronologia dos Processos de Licenciamento da Barragem de Fundão.

Ano	Evento
2005	Apresentação do EIA-RIMA para construção da barragem do Fundão – Consultoria Brandt Meio Ambiente
2007	Licença Prévia (LP) da Barragem do Fundão Licença de Instalação (LI) da Barragem do Fundão
2008	Licença de Operação (LO) da Barragem do Fundão
2011	Abertura de procedimento para renovação de Licença de Operação (LO)
2011	Obtenção da prorrogação da Licença até 2013
2012	Apresentação de EIA-Rima da otimização da barragem do Fundão – Consultora SETE – para Licença Prévia / Instalação (LP /LI)
2013	Apresentação de EIA-Rima para unificação e alteamento das barragens de Fundão e Germano – Consultora SETE – para Licença Prévia /Instalação (LP /LI)
2013	Pedido de renovação da Licença da Operação da Barragem do Fundão – em análise
2014	Licença Prévia / Instalação (LP /LI) concedida para otimização da Barragem
Jun. 2015	Licença Prévia / Instalação (LP /LI) concedida para unificação do Fundão e Germano
Nov. 2015	Rompimento da Barragem do Fundão

Fonte: Milanez; Losekann (2016); FEAM (2015)

Diante do exposto, fica evidente a corresponsabilidade dos órgãos de fiscalização no desastre da SAMARCO. Esse não foi o primeiro rompimento de barragem de mineração a acontecer no estado de Minas Gerais⁸ e certamente não será o último. Além da própria dinâmica do setor mineral – de intensificação da produção e desprezo para com as causas ambientais e sociais – fica evidente a ineficiência dos órgãos responsáveis pelas licenças ambientais, fiscalização e tomadas de decisões no território.

Cabe destacar dois pontos, o primeiro é a dependência a que os municípios onde ocorre a abertura de cavas para mineração ficam dependentes desse setor, o que cria no imaginário local a ideia de que “apesar dos impactos negativos causados pela atividade, a mineração é uma atividade econômica que contribui para parcela importante da renda” (MILANEZ; LOSEKANN, 2016, p.43)

⁸ O rompimento de barragens de mineração em Minas Gerais é algo recorrente. Em 1986, ocorreu rompimento na cidade de Itabirito causando a morte de sete pessoas; em 2001, no município de Nova Lima com cinco vítimas fatais; no município de Miraf, o rompimento de barragens deixou mais de 4 mil pessoas desalojadas nos anos de 2006 e 2007. Em 2008, foram registrados rompimento de barragens em Congonhas e Itabira, mais uma vez, provocando o desalojamento de grupos familiares; e em 2014, em Itabirito o rompimento resultou na morte de três pessoas.

Segundo ponto é o poder que as mineradoras têm em espaços políticos. Nas eleições de 2014, o setor bancou 78,4% do total de candidatos ao cargo de deputados pelo estado mineiro, um total de 102 deputados estaduais e federais ocupando cargos públicos, que obtiveram investimentos para campanhas da ordem de R\$ 4,2 milhões pelo setor de mineração (MATEUS, 2019). Esses números ajudam a explicar a facilidade com que essas empresas conseguem alterações em legislações, celeridade em aprovações de licenças ou a caducidade de processos que por ventura possam atrapalhar seus projetos.

Diferentemente do que previam os relatórios do EIA-RIMA entregues pela Samarco, o rompimento da barragem de Fundão teve uma dimensão muito maior do que apenas o carreamento de sedimentos para os cursos d'água. Houve, danos a sua própria instalação e ao distrito de Bento Rodrigues. A priorização pelo destaque no mercado mundial, repasse de dividendos aos acionistas e redução de custos, resultou no maior desastre ambiental do país, com o rompimento da barragem de Fundão em 5 novembro de 2015.

O rompimento e seus impactos imediatos

Na tarde do dia 5 de novembro de 2015, foi amplamente noticiado o rompimento da barragem de Fundão e de parte da barragem de Santarém no município de Mariana - MG. Em menos de 30 minutos, a enxurrada de lama de rejeito de minério de ferro cobriu a comunidade de Bento Rodrigues, situada 6 km a jusante da barragem. O rejeito avançou sobre outras comunidades como Paracatu de Baixo, Gesteira e Barra Longa, essas a 76 km de distância da barragem. A Figura 2 mostra a localização das barragens de Fundão, Santarém e Germano no complexo minerário de Mariana – MG.

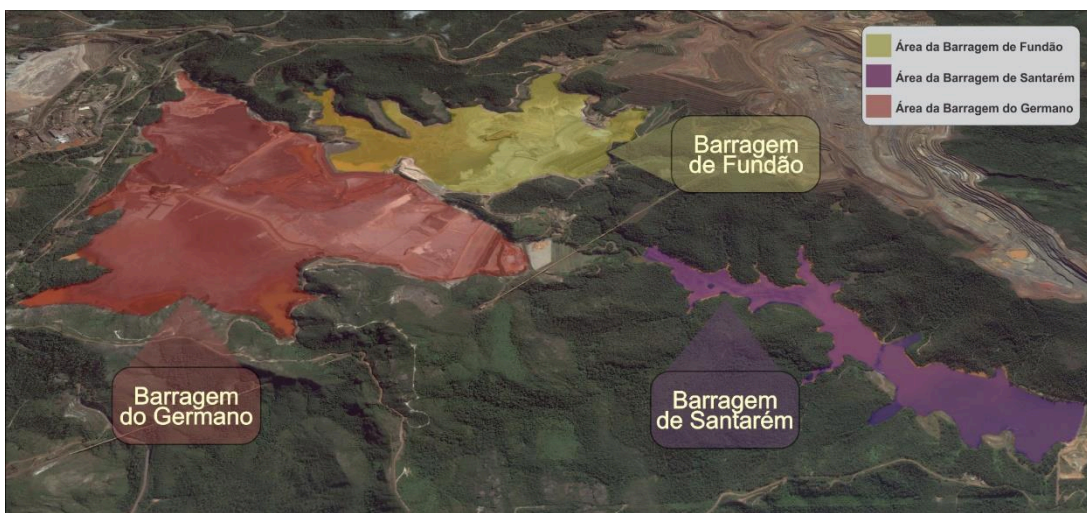


Figura 2: Localização das barragens de Fundão, Germano e Santarém no complexo minerário de Mariana - MG. **Fonte:** Google Earth Pro. Elaborado pelo próprio Autor.

Os rios Gualaxo do Norte, rio do Carmo e rio Doce foram diretamente impactados. De acordo com laudo técnico do IBAMA (2015), 34 milhões de m³ de rejeito ficaram retidos nas margens dos rios e nas comunidades por onde avançou, e mais 16 milhões de m³ foram carregados até a foz do rio Doce no Oceano Atlântico, totalizando 663,2 km de corpos hídricos diretamente afetados. Ao longo do trajeto, 38 municípios foram afetados, e os distritos Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo sumiram em meio à lama (Figura 3).

A área que compreende da cidade de Mariana até o município de Rio Doce foi a mais afetada. A força com que a lama de rejeitos atuou nessa região levou toda a vegetação, galpões, estradas e moradias. A onda de lama só foi contida ao chegar na Usina Hidrelétrica de Candonga (UHE Risoleta Neves, no município de Rio Doce). Dezesesseis dias depois do rompimento, o rejeito chegou até a comunidade de Regência em Linhares – ES, ponto de encontro do rio Doce com o Oceano Atlântico, parte do material foi depositado no estuário e parte formou uma pluma de rejeito no oceano (Figura 3).

Com o auxílio de imagens de satélite e sobrevoos sob a área afetada no litoral capixaba, o ICMBio (2017) estimou que 47.000 km² foram cobertos pela pluma de rejeitos em um período de 15 meses. Além de comprometer a fauna e flora do sistema terrestre e aquático do interior da bacia e as atividades agropecuárias desenvolvidas ao longo dos principais cursos d'água, o rejeito também comprometeu as atividades pesqueiras realizadas em todo o rio Doce, mas com maiores prejuízos econômicos e sociais no baixo rio Doce, região em que a atividade pesqueira é a principal fonte de renda de muitas famílias.



Figura 3. Situação dos locais onde houve a passagem da lama de rejeitos. (A) Distrito de Bento Rodrigues, em Mariana (MG); (B) extravasamento do rejeito cobrindo áreas do leito maior dos rios e soterrando a vegetação existente; (C) UHE Candonga responsável por conter grande parte do rejeito; (D) espreadimento da lama após sua chegada no Oceano Atlântico, no litoral do Estado do Espírito Santo. **Fonte:** Rogerio Alves (A); Frei Gilvander (B); Márcio Fernandez (C); Ricardo Moraes (D).

O desastre da SAMARCO provocou a morte de 19 pessoas, entre trabalhadores da Samarco e moradores dos distritos atingidos. Além das perdas econômicas, principalmente no caso da população que residia em Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, existe a perda imaterial, referente a sua cultura, mobilidade das e entre as comunidades, dos seus modos de vida e ainda os desdobramentos psicológicos pós-rompimento (MILANEZ; LOSEKANN, 2016). Em sua grande maioria, as populações expostas ao desastre e ao risco de novos desastres são grupos de quilombolas, populações ribeirinhas, pescadores, indígenas, negros e pequenos grupos à margem da sociedade. No caso do desastre da SAMARCO isso não foi diferente, Milanez e Losekann (2016) apontam que:

Dos moradores em Bento Rodrigues, povoado completamente destruído pelo rompimento, 84,3% declaravam-se negros ou pardos. Em Paracatu de Baixo, Gesteira e na área rural de Barra Longa o percentual de moradores era igualmente representativo para esse grupo étnico (80%, 70,4% e 70,6%), enquanto nos centros urbanos de Mariana e de Barra Longa a presença da população negra era inferior a 70%. ((MILANEZ; LOSEKANN, 2016, p.76)

O rompimento da barragem de Fundão reforça o conceito de racismo ambiental, considerando o caráter desigual com que pessoas foram atingidas e o perfil das comunidades expostas a riscos decorrentes da construção e ampliação das barragens de rejeito (MILANEZ et al., 2019). As consequências deste rompimento não só foram imediatas, como ainda, seis anos depois, são presentes na paisagem e na vida de muitas famílias. Em síntese, as consequências identificadas ao longo do trajeto da lama foram mortes, populações desalojadas, interrupção no abastecimento de água, interrupção da geração de energia elétrica, perda e

fragmentação de habitats, destruição de estruturas de uso público e privado, mortandade de fauna aquática e terrestre, quebra de vínculos sociais, assoreamento de cursos d'água, destruição de matas ciliares, destruição de áreas agrícolas, interrupção da pesca, interrupção do turismo e traumas psicológicos que dificilmente serão superados (IBAMA, 2015; TAREFA, 2016).

Ao longo dos últimos anos, vários trabalhos vêm mostrando a dimensão do impacto em diversas áreas. Gabriel et al. (2020) mostraram a contaminação de peixes estuarinos por metais e a implicação disso à saúde humana; Weber et al. (2020) apontaram estresse oxidativo nos peixes nos locais afetados; Dos Santos Vergilio et al. (2021) e Ferreira et al. (2020) mostraram aumento na concentração de metais por bioacumulação nos músculos de peixes do rio Doce. Os impactos ecológicos, socioeconômicos e sobre a cobertura vegetal foram apresentados por Fernandes et al. (2016) e Da Silva Junior et al. (2018). Aires et al. (2018), através do uso de sensoriamento remoto e análise multicritério, quantificaram a área afetada pelo rejeito e identificaram potenciais locais para disposição dos rejeitos que se acumularam ao longo dos cursos d'água.

O caso da Samarco, como de vários outros rompimentos de barragens, corrobora a ideia de que estes eventos não são acidentes, e sim o resultado de projetos capitalistas de exploração dos recursos naturais. Na bacia hidrográfica do rio Doce, o que observamos é que as relações seres humanos-natureza sempre foram mediadas pelo viés econômico, e sem considerar a vida humana e o ambiente, desde o desmatamento e genocídio dos indígenas, no século XX, até a mineração, hoje, em pleno século XXI. Hoje a dinâmica territorial da bacia é marcada pela inércia estatal frente a questões sociais e ambientais, pelo jogo de interesses por parte de empresas multinacionais *versus* poder público e o resultado é um ambiente altamente degradado que ao longo dos últimos anos serviu apenas como fonte de recursos aos interesses da economia global.

Capítulo 3.

EFEITOS DO DESASTRE DA SAMARCO NA DINÂMICA DE USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DOCE

INTRODUÇÃO

Estudar a dinâmica de uso do solo ao longo do tempo é um dos passos principais para entender os processos de degradação da paisagem, a recuperação dos ambientes naturais e a intensificação ou não de atividades antrópicas na paisagem. O uso do solo pode ocorrer de diversas formas (cultivo agrícola, recreação, assentamento, pecuária entre outros), essas formas de uso podem ser modificadas para um novo propósito e estas decisões estão associadas às questões econômicas, mas também ambientais, como mudanças no clima que inviabilizam a continuidade de uma atividade produtiva, por exemplo (MEYER; TURNER, 1994).

Estudar as mudanças no uso do solo ao longo do tempo e, identificar os seus principais preditores, são abordagens que permitem entender tanto a economia local quanto às características ambientais locais que influenciam a decisão dos proprietários de terra em continuar numa mesma atividade produtiva ou mudar para outra. Esses preditores podem ser fatores de origem natural, socioeconômica, política e cultural que funcionam como forças motrizes de mudanças na paisagem e ajudam a explicar a dinâmica de uso do solo (LANG; BLASCHKE, 2009).

As forças motrizes (*driving forces*) “são as forças que causam as mudanças observadas na paisagem, ou seja, são processos influentes na trajetória evolutiva da paisagem” (BÜRGI; HERSPERGER; SCHNEEBERGER, 2005, pág. 858, tradução nossa). Este conceito é utilizado para entender os processos e/ou as causas por trás das mudanças nos tipos de uso do solo, e conseqüentemente na paisagem, mudanças ocasionadas pela combinação de várias forças motrizes (FARINA, 2000). As forças motrizes podem ser naturais como o microclima, topografia e solo; forças políticas e socioeconômicas, que estão fortemente relacionadas pela forma como se expressam através de leis, políticas públicas e investimentos; por fim, forças motrizes culturais que alteram a paisagem como resultado do processo social (BÜRGI; HERSPERGER; SCHNEEBERGER, 2005; PLIENINGER et al., 2016).

Devido à grande quantidade de forças motrizes possíveis, a seleção de quais forças avaliar tem sido algo específico do contexto e da disponibilidade de dados para a escala e o período a ser analisado (PARCERISAS et al., 2012), porém, algumas forças são mais

exploradas como, por exemplo, características do relevo, demografia, presença ou extensão de rodovias, proximidades com áreas urbanas, fatores econômicos e dados climáticos (BONILLA-MOHENO; AIDE; CLARK, 2012; GAO et al., 2016; KLEEMANN et al., 2017; LONG et al., 2007; SERNEELS; LAMBIN, 2001).

No Brasil, diversos trabalhos trazem resultados das alterações no uso do solo em bacias hidrográficas. Oliveira et al. (2017) identificou uma redução de 26% de pastagens naturais em contraste com o crescimento de florestas cultivadas e lavouras temporárias no bioma Pampa. Na bacia do rio Doce, cenários futuros gerados a partir da mudança do uso do solo no Parque Estadual do Rio Doce (1985 – 2015) indicaram diminuição de ambientes naturais e perda de biodiversidade devido à fragmentação florestal (DE OLIVEIRA et al., 2020).

Temos ainda as alterações ocasionadas por fenômenos naturais (terremotos, chuvas intensas, etc.) e aquelas resultantes de desastres. Em 2015, a bacia hidrográfica do rio Doce, foi alvo do maior desastre ambiental na história do Brasil (VIANA, 2016), com o rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG, pertencente à empresa Samarco S/A, cujos acionistas majoritários são a Companhia Vale do Rio Doce e a anglo-australiana BHP Billinton. Diante disso, buscamos entender quais foram as forças motrizes das transições de uso do solo na bacia do rio Doce antes (2012 – 2015) e depois (2016 – 2019) do desastre da SAMARCO, e se houve alterações na dinâmica do uso do solo na bacia, após o desastre.

Para isso testamos as seguintes hipóteses: i) houve redução de áreas agropastoris nos municípios “adjacentes”⁹ ao rio Doce, quando comparados aos municípios “não adjacentes”¹⁰; ii) maior abandono de atividades agropastoris – agricultura e pecuária – em condições climáticas mais secas e quentes; iii) as taxas de mudança dos usos do solo foram menores em altas declividades; iv) quanto maior a área urbana no município, maiores as taxas de transição dos usos do solo.

⁹ O termo “adjacentes” foi utilizado para fazer referência a todos os 36 municípios (32 de Minas Gerais e 4 do Espírito Santo) que estão as margens ou são cortados pelo rio Doce desde a sua formação na confluência entre os rios Piranga e Carmo até a foz no Oceano Atlântico. Soma-se a esses municípios, Barra Longa e Mariana, cortados pelos rios Gualaxo do Norte e Carmo, que foram diretamente afetados pela lama de rejeitos proveniente do rompimento da barragem de Fundão (ver Figura 4).

¹⁰ Como “não adjacentes”, estamos nos referindo a todos os demais municípios da bacia que não são cortados pelo rio Doce ou estejam nas suas margens; exclui-se também Mariana e Barra Longa, sendo um total de 188 municípios “não adjacentes” (ver Figura 4).

OBJETIVOS

Objetivo geral

Identificar as forças motrizes responsáveis por mudanças de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Doce, antes e depois do desastre da SAMARCO, e avaliar como o rompimento da barragem de Fundão alterou a dinâmica de uso do solo na bacia.

Objetivos específicos

- i) Descrever a dinâmica de uso e cobertura do solo para os municípios da bacia hidrográfica do rio Doce para períodos antes (2012 – 2015) e depois (2016 – 2019) do desastre da SAMARCO;
- ii) Comparar as transições de uso do solo entre os municípios “adjacentes” ao rio Doce e aqueles “não adjacentes” ao rio Doce (os demais municípios da bacia);
- iii) Identificar quais forças motrizes direcionaram as transições entre “Uso Agropastoril” e “Cobertura Vegetal” antes e depois do desastre da SAMARCO.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Doce (Fig. 4) está inserida na porção Sudeste do Brasil, entre os paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste. Essa região apresenta regime pluviométrico tropical com dois períodos bem definidos: i) um chuvoso que vai de outubro à março e ii) o período seco que se estende de abril a setembro; no tocante a temperatura as mínimas são registradas em junho e julho, o período mais quente compreende aos meses de janeiro a fevereiro (ECOPLAN-LUME, 2010). Pela sua extensão, a bacia do rio Doce é influenciada pela massa de ar Tropical Atlântica (mTA), Polar Atlântica (mPA) e Equatorial Continental (mEC); a combinação do relevo e a movimentação dessas massas de ar em determinados períodos provocam estiagens que são associadas às secas sazonais (com duração de quatro a seis meses) e períodos de veranicos¹¹, caracterizados por déficit hídrico em meio a estação chuvosa (CUPOLILLO; ABREU; VIANELLO, 2008).

A bacia do rio Doce possui área de drenagem de cerca de 84.000 km². Seu curso d'água principal, que dá nome à bacia, percorre mais de 850 km a partir da confluência dos rios Piranga e do Carmo, entre as cidades de Ponte Nova, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, em Minas Gerais até a sua foz no Oceano Atlântico, na cidade de Regência, litoral do estado do Espírito Santo. Cerca de 86% da bacia tem seu território no estado de Minas Gerais e o restante no Espírito Santo, sendo 200 municípios mineiros e 25 capixabas (ANA, 2016).

Os principais afluentes do rio Doce em Minas Gerais pela margem direita são os rios Casca, Matipó, Caratinga/Cuieté e Manhuaçu; na margem esquerda temos o rio do Carmo, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente Grande e Suaçuí Grande. No estado capixaba pela margem direita são os rios Guandu, Santa Joana e Santa Maria do Rio Doce; na margem esquerda São José e Pancas.

Pela extensão e sua variabilidade geomorfológica a bacia é dividida em três regiões, são elas: i) Alto rio Doce, compreende da nascente do rio Doce até sua confluência com o rio Piracicaba; ii) Médio rio Doce, da confluência do rio Piracicaba até próximo a sua junção com o rio Guandu, praticamente na divisa de Minas Gerais com o Espírito Santo; iii) Baixo rio Doce,

¹¹ Período de curta estiagem durante a estação chuvosa, variando entre dez a vinte dias, seus efeitos surgem geralmente cinco dias após a última chuva, e são considerados efeitos negativos por coincidir com a floração ou emergência de algumas espécies vegetais. No caso das regiões tropicais, o conceito de veranico tem algumas divergências, em razão dos padrões climáticos e geográficos de cada região (CUPOLILLO; ABREU; VIANELLO, 2008).

é considerado da divisa de Minas Gerais e Espírito Santo até a foz no Oceano Atlântico, na cidade de Regência – ES (CBH, 2005; STRAUCH, 1955).

Basicamente o relevo da bacia é resultado dos processos de dissecação fluvial ocorridos no Terciário – Quaternário, sob condições climáticas úmidas os planaltos foram dissecados a partir do entalhamento da rede de drenagem. Na região do Alto rio Doce predominam vales bem encaixados com vertentes íngremes; o Médio rio Doce é caracterizado por vales mais abertos e colinas mais suaves, próximo à divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo é marcado pela presença de afloramentos rochosos; no Baixo rio Doce se destaca as planícies fluviomarinhas e os tabuleiros litorâneos, este último sob sedimentos do Grupo Barreiras (ECOPLAN-LUME, 2010; SAADI; CAMPOS, 2015).

A diversidade biótica da bacia impressiona, apesar do intenso processo de devastação dos ambientes naturais a região abriga uma rica e diversa comunidade de aves, mamíferos, anfíbios, répteis e peixes (ECOPLAN-LUME, 2010). Originalmente coberta por floresta do bioma Mata Atlântica, atualmente apresenta alto índice de degradação resultante da expansão de áreas urbanas, intensa atividade industrial e abertura de estradas.

As principais rodovias de acesso são a BR381, BR116, BR262 e BR101, umas das principais rodovias do país, além da Estrada Ferroviária Vitória a Minas (EFVM) que liga Belo Horizonte (MG) a Vitória (ES), responsável pelo escoamento de minério até o Complexo Portuário de Tubarão no Espírito Santo (IBIO, 2016). Por fim, temos a importância hídrica da bacia, tanto na geração de energia como no abastecimento da população superior a 3,6 milhões de habitantes.

Fonte dos dados

Os dados de uso do solo foram obtidos na plataforma do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias). Todos os dados e mapas produzidos pelo projeto são disponibilizados gratuitamente (disponível em www.mapbiomas.org). A iniciativa surgiu, em 2015, visando produzir mapas de uso e cobertura da terra em séries anuais para todo o território brasileiro. O projeto conta com a participação de diversos setores como empresas de tecnologia, ONGs, universidades e o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – (MAPBIOMAS, 2020).

Bacia do rio Doce, seus principais tributários e o local de rompimento da barragem de Fundão em 2015

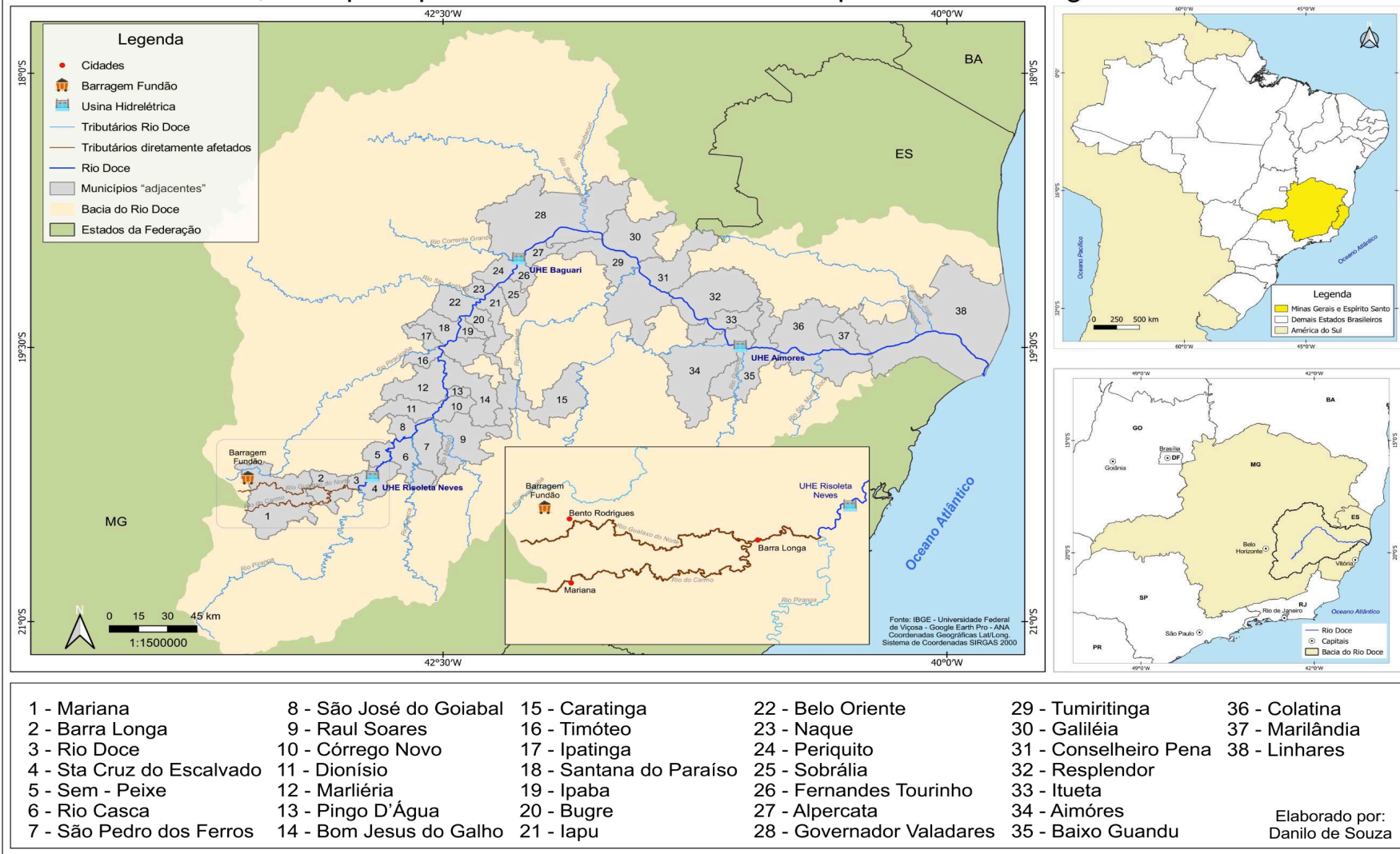


Figura 4. Localização da bacia do rio Doce. Enfoque no trecho correspondente aos tributários afetados pelo rejeito de minério de ferro (rio do Carmo e rio Gualaxo do Norte). Em destaque 36 municípios as margens ou cortados pelo rio Doce; soma-se a esses municípios, Barra Longa e Mariana, cortados pelos rios Gualaxo do Norte e Carmo. **Fonte:** IBGE; Agência Nacional das Águas

O projeto está na sexta coleção de mapas anuais de 1985 a 2020, os dados estão disponíveis em formato GeoTIFF (*Geographic Tagged Image File Format*) e planilhas eletrônicas, estes ainda podem ser filtrados por várias categorias como: biomas, estados, municípios, regiões hidrográficas, unidades de conservação e terras indígenas. Neste trabalho, para as imagens GeoTIFF aplicamos os filtros de “recorte territorial = bacia hidrográfica” e posteriormente “território = Doce”, para os anos de 2012, 2015, 2016 e 2019.

A partir da série histórica de imagens do satélite Landsat, mosaicos com resolução espacial de 30 metros são classificados por algoritmos na plataforma do *Google Earth Engine*, após aplicação de filtros espaciais e temporais os mapas são integrados. Mais detalhes sobre os procedimentos metodológicos estão disponíveis no ATDB (Documento Base da Teoria do Algoritmo) no site do projeto (MAPBIOMAS, 2020).

Processamento dos dados

Utilizamos dados da coleção 5.0 do MapBiomas com mapeamentos anuais de 1985 a 2019. A partir da plataforma do projeto fomos direcionados ao ambiente *Google Earth Engine*, onde fizemos a exportação das quatro cenas com a classificação de uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Doce. Para descrever a dinâmica de uso do solo para os municípios da bacia do rio Doce para períodos antes (2012 – 2015) e depois (2016 – 2019) do desastre da SAMARCO (objetivo específico i), comparamos as transições entre 2012 e 2015, para estimar a dinâmica anterior ao desastre, com as transições entre 2016 e 2019, para estimar a dinâmica posterior ao desastre.

A opção de um intervalo de três anos antes (2012 – 2015) e após (2016-2019) o desastre, visou evitar o período da pandemia do Coronavírus. Em decreto aprovado e publicado pelo Congresso Nacional, no dia 20 de março de 2020 (BRASIL, 2020), foi reconhecido o estado de calamidade pública, e em razão da pandemia várias restrições de circulação foram impostas por governadores e prefeitos (G1, 2020; MARTINS; PERON, 2020). Entendemos que esse período pandêmico alterou significativamente as formas de uso do solo não apenas na bacia do rio Doce, mas em todo o mundo. Por isso, consideramos não incluir os dados de uso do solo referente aos anos de 2020 e 2021 em nossas análises.

A classificação do Mapbiomas consiste em seis classes principais (Floresta, Formação Natural não Florestal, Agropecuária, Área não Vegetada, Corpos D’água e Não Observado). Neste trabalho, simplificamos a classificação de uso do solo, para duas classes: “Cobertura Vegetal” e “Uso Agropastoril” (Tabela 2). Estas duas categorias juntas representaram, no

período de 2012 a 2019, mais de 92% da área da bacia. Por isso optamos por analisar apenas essas duas categorias, em um raster reclassificado conforme a Tabela 2. Importante ressaltar, que houve categorias de uso e cobertura de solo (infraestrutura urbana, mineração, cursos d'água, entre outros) que foram excluídas das nossas análises, por compreenderem a menos de 10% da área.

Tabela 2. Reclassificação dos dados disponibilizados pelo Mapbiomas coleção 5.0, utilizada neste trabalho.

Classes Mapbiomas e valor do pixel	Raster reclassificado (valor do pixel entre parênteses)
1. Floresta Formação Florestal (3) Formação Savânica (4) Mangue (5)	Cobertura Vegetal (1)
2. Formação Natural não Florestal Formação Campestre (12)	
3. Agropecuária Pastagem (15) Soja (39) Cana (20) Outras Lavouras Temporárias (41) Lavoura Perene (36) Mosaico de Agricultura e Pastagem (21)	Uso Agropastoril (2)

Fonte: Disponibilizado pelo Mapbiomas e adaptado pelo autor.

Para avaliar as transições anuais de uso e cobertura do solo, utilizamos duas séries temporais de dois mapas cada: 2012 e 2015 (anterior ao desastre) e 2016 a 2019 (posterior ao desastre). Para o processamento e extração dos dados as cenas foram sobrepostas, gerando um *RasterStack* com as quatro camadas de mesma extensão e resolução espacial. Utilizamos a abordagem de análise de intensidade (*Intensity Analysis – IA*) para identificar as transições das classes de uso do solo durante o intervalo de tempo.

Essa análise faz parte do pacote *OpenLand*, desenvolvido por Aldwaik e Pontius (2012, 2013). Estas análises geram matrizes de transição, comparando alterações na classe de uso de cada pixel (900 m²) entre anos, as matrizes derivadas informam, para cada pixel, se sua classificação se manteve ou se alterou, e, nesse caso, se a alteração foi da classe 1 (Cobertura Vegetal) para a classe 2 (Uso Agropastoril) ou da 2 para 1. Assim, ao utilizarmos esta ferramenta, conseguimos detectar o total de alteração nos períodos antes e depois do desastre.

Descrições mais detalhadas sobre a análise de intensidade podem ser obtidas em Aldwaik e Pontius (2012, 2013).

Para identificar as forças motrizes responsáveis por mudanças de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Doce, antes e depois do desastre de Mariana, e para avaliar como o rompimento da barragem de Fundão alterou a dinâmica de uso do solo na bacia (Objetivo Geral), ajustamos a percentagem de alteração de uso dentro de cada município (n=226), sendo 38 “adjacentes” às margens do rio Doce e 188 “não adjacentes” ao rio Doce.

Avaliação das Forças motrizes (variáveis explicativas)

Para identificar as forças motrizes responsáveis pelas mudanças de uso do solo, consideramos duas categorias de variáveis: “naturais” (precipitação e temperatura média anual e declividade média no município); e “antrópicas” (extensão de rodovias e de área urbana no município). Consideramos todos os 226 municípios da bacia do rio Doce, que classificamos em dois grupos, “adjacentes” ao rio Doce (38 municípios) e “não adjacentes” (188 municípios). Utilizamos o termo “adjacentes” para fazer referência a todos os 36 municípios (32 mineiros e 4 capixabas) que estão às margens ou são atravessados pelo rio Doce, considerando sua extensão desde a sua formação na confluência, entre os rios Piranga e Carmo, até sua foz, no Oceano Atlântico. Somam-se a esses os municípios de Barra Longa e Mariana, cortados pelos rios Gualaxo do Norte e Carmo, que foram diretamente afetados pela lama de rejeitos proveniente do rompimento da barragem de Fundão (ver Figura 4). Como “não adjacentes”, consideramos todos os demais municípios da bacia que não são cortados pelo rio Doce ou não estejam às suas margens; excluindo Mariana e Barra Longa, compreendendo um total de 188 municípios “não adjacentes” (ver Figura 4).

Além disso, incluímos a área do município e a área de cada tipo de uso do solo, no município, no primeiro ano avaliado, como covariáveis (Tabela 3). As duas covariáveis foram incluídas para controlar eventuais efeitos de amostragem, de forma a detectarmos se determinadas transições foram afetadas pelas áreas totais do município ou do tipo de uso do solo. Para cada tipo de transição (de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” e de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”), em cada período avaliado (antes do desastre, entre 2012 e 2015, e depois do desastre, entre 2016 e 2019) ajustamos modelos separados, com a taxa de transição, em porcentagem, como variável resposta, em modelos lineares generalizados com distribuição normal. Avaliamos a significância dos termos explicativos por deleção de termos não-significativos.

Para selecionar os melhores modelos para explicar as transições, utilizamos uma abordagem estritamente frequentista (GOTELLI; ELLISON, 2011), e ficamos com o modelo mínimo adequado para explicar cada uma das variáveis resposta (transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” ou vice-versa no período anterior e no período posterior ao desastre). Mesmo assim, de forma a prover informações mais completas, incluímos uma tabela de seleção de modelos para cada uma das respostas (Apêndice 2).

Tabela 3. Relação dos dados utilizados como variáveis explicativas (forças motrizes)

Força Motriz (variável explicativa)	Unidade	Descrição
Precipitação	Milímetros	Média anual de cada município entre 2010 e 2018.
Temperatura	Graus Célsius	Média anual de cada município entre 2010 e 2018.
Declividade	Porcentagem	Média de cada município.
Rodovias	Km ²	Vias federais e estaduais em cada município.
Área Urbana	Km ²	Média da área urbana de cada município para os períodos de 2012-2015 e 2016-2019.
Área Município	Km ²	Área da unidade territorial de cada município.
Área uso do solo	Porcentagem	Área do tipo de uso antes da transição.
Município	Catagórico	Classificado como “adjacente” ou “não adjacente” ao rio Doce.

Fonte: Precipitação e Temperatura: WordClim. Declividade: Topodata. Rodovias: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Infraestrutura Urbana, Área do Município e Área Uso do Solo: Mapbiomas.

RESULTADOS

Dinâmica de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Doce

As modificações de uso de solo na bacia do rio Doce, em geral, foram pequenas no período estudado: as mudanças totais para cada categoria de uso do solo (“Cobertura Vegetal” e “Uso Agropastoril”, ver Tabela 2 para categorias) foram inferiores a 2% considerando toda a área da bacia (Apêndice 2). Nos três anos que precederam o desastre (entre 2012 e 2015), o “Uso Agropastoril” diminuiu de 60,72% (área total = 52.848,66 km²) para 60,33% (52.514,28 km²) (Apêndice 2), uma redução de 0,39% (334,38 km²) da área ocupada por esse tipo de uso no período inicial. Neste período, a área classificada como “Uso Agropastoril” ou “Cobertura Vegetal”, na bacia do rio Doce, juntas corresponderam a 94,40% (82.163,83 km²) em 2012, e 94,21% (82.002,28 km²) em 2015. Ao considerarmos a dinâmica de uso do solo para cada município, no entanto, houve municípios com reduções na cobertura de “Cobertura Vegetal” de até 9,13% (São João do Manhuaçu – MG) ou aumentos de até 6% (Virgolândia – MG), neste mesmo período. Assim, houve considerável variação na dinâmica de uso do solo em nível de município para o período estudado no período entre 2012 e 2015, mas com tendência de redução nas áreas de “Uso Agropastoril” ao considerarmos toda a bacia do Rio Doce.

Ao longo dos três anos posteriores ao desastre (2016-2019), a bacia do rio Doce manteve a tendência de reduções nas áreas com “Uso Agropastoril” e aumentos nas áreas de “Cobertura Vegetal”. Em 2016, “Uso Agropastoril” ocupava 60,04% (52.260,13 km²) e “Cobertura Vegetal” 33,90% (29.507,91 km²); em 2019, áreas de “Uso Agropastoril” tiveram uma redução de 0,55% (484,35 km²), área maior que o observado no período anterior, passando a ocupar 59,49% (51.775,78 km²) de área; e áreas ocupadas por “Cobertura Vegetal” apresentaram um aumento de 0,35% (302,77 km²), passando a ocupar 34,25% (29.810,68 km²) do território (Apêndice 2). Neste período, a área classificada como “Uso Agropastoril” ou “Cobertura Vegetal”, na bacia do rio Doce, juntas corresponderam a 93,94% (81.768,04 km²) em 2016, e 93,73% (81.586,46 km²) em 2019. Assim, em termos de tendência, verificamos uma continuidade na redução do “Uso Agropastoril” e aumento da “Cobertura Vegetal” antes e depois do desastre ambiental de Mariana – MG.

Quando olhamos por regiões da bacia, em todas as regiões, “Uso Agropastoril” foi a classe de uso predominante, com destaque para o Baixo rio Doce que foi a única região a apresentar ganhos de área nessa categoria de uso tanto antes quanto depois do desastre (Apêndice 2). Em 2012, a área ocupada por “Uso Agropastoril” no baixo rio Doce era de

66,48% (10347,20 km²) do território, em 2019 já chegava a 68,88% (10.721,21 km²) de área destinada a usos agropastoris. Por outro lado, o Médio rio Doce foi a única região que apresentou aumento de áreas de “Cobertura Vegetal” nos dois períodos (Apêndice 2); em 2012 eram 28,96% (10.552,71 km²) do território de “Cobertura Vegetal”, e em 2019, esse valor passou a ser de 31,72% (11.557,98 km²).

Classificação de uso do solo da bacia do rio Doce e suas sub-regiões, entre os anos de 2012 a 2019

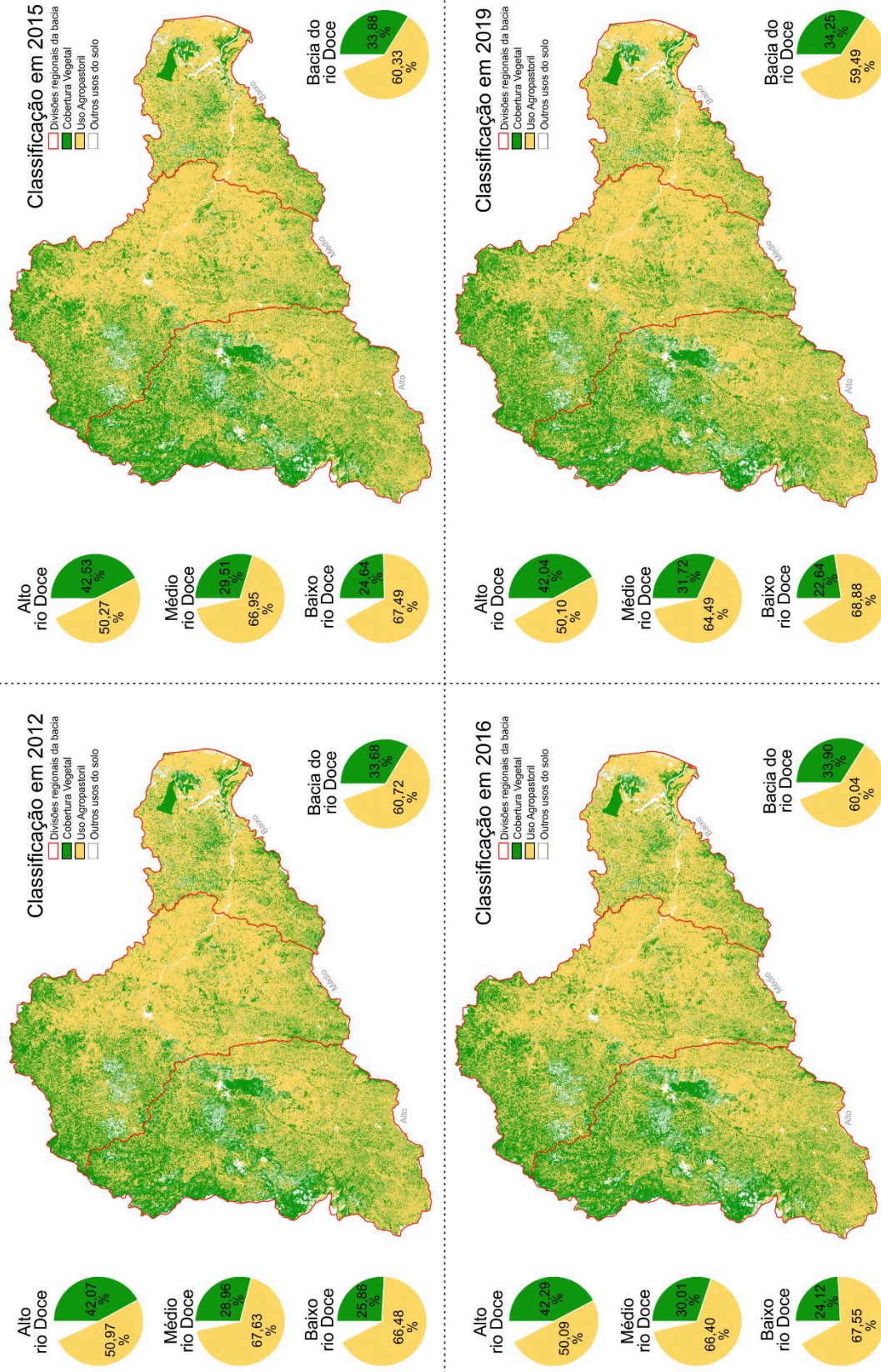


Figura 5. Mapa de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Doce, dividido por regiões (Alto, Médio e Baixo rio Doce), classificado em áreas de Uso Agropastoril ou com Cobertura Vegetal nos períodos anteriores (2012 – 2015) e posteriores (2016 – 2019) ao desastre de Mariana. As porcentagens representam a área ocupada por cada categoria de uso. Áreas em branco são tipos de uso que não se classificam nem em Uso Agropastoril nem em Cobertura Vegetal (por exemplo, área urbana, corpos d'água e dunas de areia). Elaboração: Próprio Autor.

Mudanças de uso do solo e suas forças motrizes

Nossos resultados mostraram que quase todas as forças motrizes avaliadas contribuíram para explicar parte das transições, em pelo menos um dos modelos ajustados (Tabela 4). Na Tabela 4, sintetizamos as significâncias dos termos nos modelos mínimos adequados. Ali vemos que as mudanças de uso do solo foram o resultado da combinação de forças motrizes naturais (precipitação, temperatura e declividade) e antropogênicas (rodovias, área urbana), além das covariáveis de efeito amostral, para a transição “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (área do município e área de cobertura vegetal no início do período).

Como apresentado anteriormente, as transições de “Uso Agropastoril” para áreas de “Cobertura Vegetal” (que interpretamos como uma forma de abandono de áreas produtivas de agricultura ou pastagem) ocorreram em maior proporção do que as transições em sentido oposto (que interpretamos como “expansão agropastoril”¹²), na bacia como um todo (Apêndice 2). As forças motrizes responsáveis pela conversão de áreas de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (que chamaremos de “abandono agropastoril”¹³) foram a precipitação e a temperatura média anual nos dois períodos analisados (Figura 6). Antes do desastre da SAMARCO (2012 – 2015) os municípios às margens do rio Doce (“adjacentes”), apresentaram precipitação e temperatura média anual como vetores motrizes positivos para a transição “abandono agropastoril”, diferente dos demais municípios (“não adjacentes”) sob o efeito da precipitação e da temperatura, contrastando com a ausência de efeito destas mesmas variáveis ambientais sobre esta transição no período após o desastre (2016-2019). No período após o rompimento (2016 - 2019), desapareceram as diferenças entre municípios “adjacentes” e “não adjacentes” à calha do rio Doce, nos vetores motrizes da transição “abandono agropastoril” (Figuras 6c, d): tanto precipitação como temperatura média anual reduziram a frequência de transições de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (abandono agropastoril) (ver Apêndice 3 para os valores dos parâmetros estimados).

Não verificamos nenhum padrão inequívoco comparando localidades no Alto, Médio e Baixo rio Doce (representadas, respectivamente, pelas cores azul, preto e vermelho, nas figuras 6 e 7), porém nos mostra como os vetores motrizes perpassam várias regiões: por exemplo, o efeito positivo da precipitação nos municípios “adjacentes”, antes do desastre (Figura 6a)

¹² Avanço de atividades agrícolas ou de pecuária sobre áreas de “Cobertura Vegetal”, neste caso admite-se que a expansão se deu obrigatoriamente sobre áreas de cobertura vegetal.

¹³ Processo pelo qual o controle humano sobre a terra (por exemplo, para agricultura, silvicultura) é abandonado [...] após alguns anos, dependendo das zonas ecológicas e clima, a terra pode ser considerada completamente “abandonada” (FAO, 2006, p.2 – tradução nossa).

atravessa municípios no Alto (triângulos azuis), Médio (triângulos pretos) e Baixo (triângulos vermelhos) rio Doce. Se pegamos um outro exemplo, a topografia (mensurada pela declividade média, Figura 7d), vemos que há localidades com menores declividades médias no Baixo rio Doce, resultante de regiões litorâneas, mas também regiões na divisa entre o estado de Minas Gerais e Espírito Santo, como os municípios de Resplendor, Itueta e Aimorés, com altas declividades médias. Assim, as figuras 6 e 7 mostram como os vetores motrizes detectados não são efeito de região geográfica, pois se estendem por localidades de diferentes regiões.

Antes do rompimento da barragem de rejeitos de minério da SAMARCO (2012 – 2015), nos municípios afastados da margem do rio Doce (“não adjacentes”), quanto maior a precipitação, menor foi a proporção de áreas “abandonadas”, ou seja, convertidas de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (Figura 6a – ver Apêndice 3 para os valores dos parâmetros estimados). Já nos municípios às margens do rio Doce (“adjacentes”), no mesmo período, quanto maior a precipitação, maior foi a proporção de área “abandonada” (transições de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”, ver Figura 6a).

A temperatura média anual também teve efeitos contrastantes nos municípios “adjacentes” comparados aos “não adjacentes”, no período anterior ao desastre (Figuras 6b, d): nos municípios “adjacentes”, localidades mais quentes tiveram maior frequência de “abandono agropastoril” do que localidades mais frias (ver Figura 6b), enquanto nos municípios “não adjacentes” não houve correlação entre temperatura e proporção de “abandono agropastoril” (Figura 6b). Após o desastre ambiental (2016 – 2019), tanto a temperatura quanto a precipitação média anual reduziram a proporção de transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (“abandono agropastoril”), sem diferença entre municípios “adjacentes” e “não adjacentes” à calha do rio Doce (Figura 6c, 6d – ver Apêndice 3 para os valores dos parâmetros estimados).

Não houve diferença nos vetores motrizes das transições de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (que interpretamos como “expansão agropastoril”), entre municípios “adjacentes” e “não adjacentes” à calha do rio Doce (Figura 7, ver Apêndice 3 para os valores dos parâmetros estimados). Por outro lado, detectamos uma mudança quase completa entre os vetores motrizes da transição de “expansão agropastoril” entre o período anterior ao rompimento (2012 – 2015) comparado ao período posterior (2016-2019): enquanto antes do desastre houve um efeito negativo da precipitação (Figura 7a) e temperatura (Figura 7b), após o desastre desapareceram estes dois vetores e surgiram um efeito positivo da declividade

(Figura 7d) e negativo de área urbana nos municípios (Figura 7e). Nos dois períodos detectamos efeito positivo da extensão de rodovias no município (Figura 7c, f).

As covariáveis “área do município” e “área de vegetação no ano inicial”, que incluímos nos modelos com o objetivo de identificar possível viés amostral (quando a taxa de conversão observada estiver relacionada a área inicial disponível para ser ou não convertida), tiveram efeitos significativos na transição “expansão agropastoril” (de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”), tanto antes como após o desastre da SAMARCO (o Apêndice 3 mostra os modelos mínimo adequados). A área de cobertura vegetal no início de cada período teve efeito positivo na proporção de transições de “expansão agropastoril” nos dois períodos (Apêndice 4a, c), e a “área do município” teve efeito negativo nos dois períodos (Apêndice 4b, d).

Tabela 4. Resultados das análises de covariância para explicar a transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” e vice-versa para o período anterior (2012-2015) e posterior (2016-2019) ao desastre da SAMARCO, em Marina – MG. Foram ajustados modelos separados para cada variável resposta (taxa de transição, em porcentagem, em cada período avaliado).

Forças motrizes	Cobertura Vegetal para Uso Agropastoril		Uso Agropastoril para Cobertura Vegetal	
	2012 – 2015	2016 – 2019	2012 – 2015	2016 – 2019
Precipitação	***	ns	ns	***
Temperatura	***	ns	ns	***
Declividade	ns	**	ns	ns
Rodovias	***	***	ns	ns
Área Urbana	ns	**	ns	ns
Área Município	***	***	ns	ns
Área Veg(i)	***	***	ns	ns
Área Uso(i)	ns	ns	ns	ns
Prec:Mun(a)	ns	ns	*	ns
Temp:Mun(a)	ns	ns	*	ns
R quadrado ajustado	40,81%	20,57%	4,51%	25,07%
Valor de P	0.001	0.001	0.01	0.001
Níveis de significância: ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘•’ 0.1 ‘ns’ >0,1				

Prec:Mun(a) = interação da variável precipitação com os municípios “adjacentes” ao rio Doce; Temp:Mun(a) = interação da variável temperatura com os municípios “adjacentes” ao rio Doce; Veg(i) = Área Cobertura Vegetal no ano inicial; Uso(i) = Área Uso Agropastoril no ano inicial.

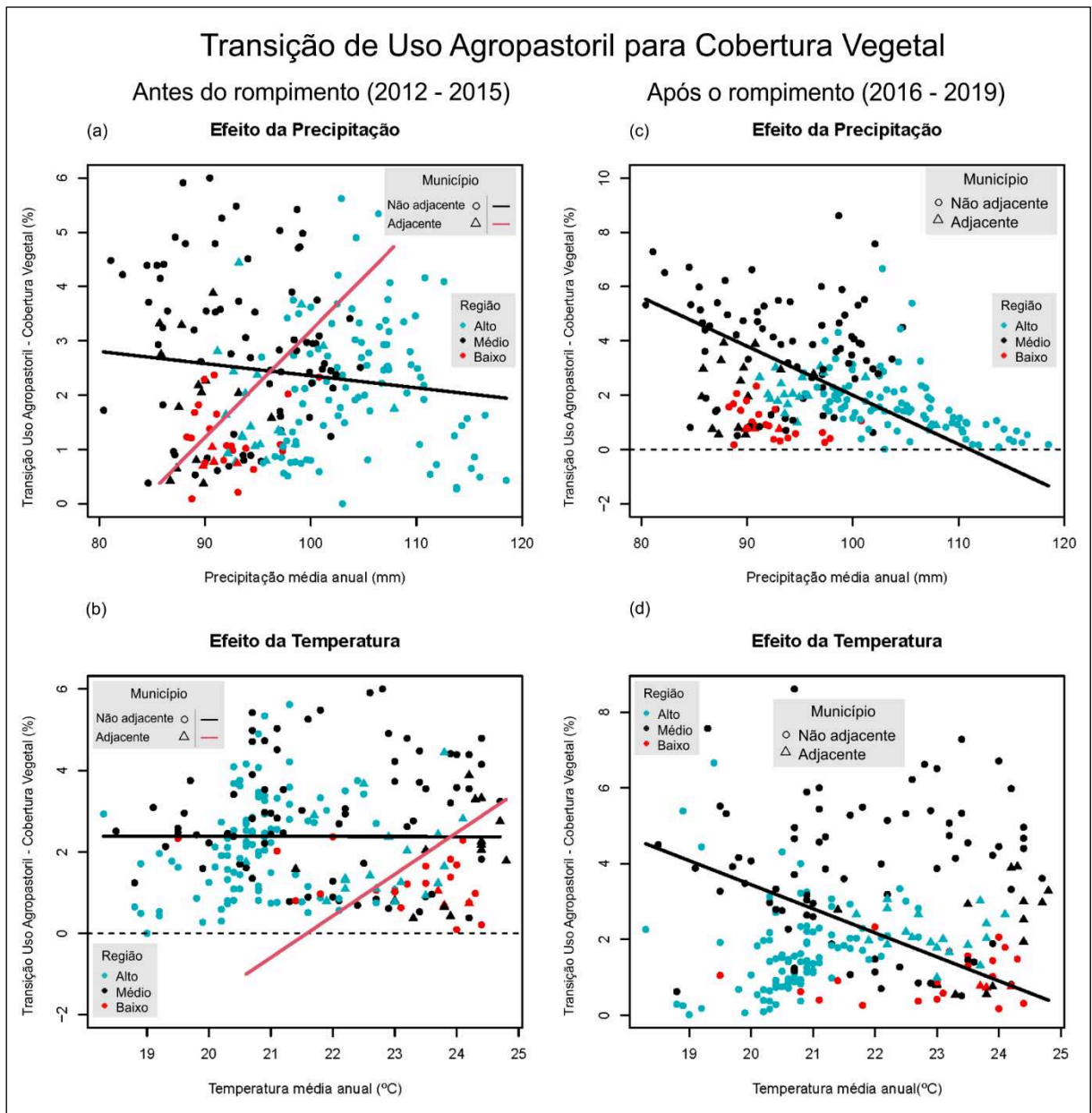


Figura 6. Forças motrizes da transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”, antes (2012 – 2015) e após (2016 – 2019) o desastre. Antes do desastre, precipitação média anual (a) teve efeito positivo para os municípios “adjacentes” e efeito negativo para os municípios “não adjacentes” ao rio Doce; a temperatura média anual (b) teve efeito positivo para os municípios “adjacentes” e efeito negativo para os municípios “não adjacentes” ao rio Doce ($p < 0,001$). Após o desastre, precipitação e temperatura média anual tiveram efeito negativo (c, d) na conversão de “Uso Agropastoril” para todos os municípios da bacia do rio Doce ($p < 0,001$).

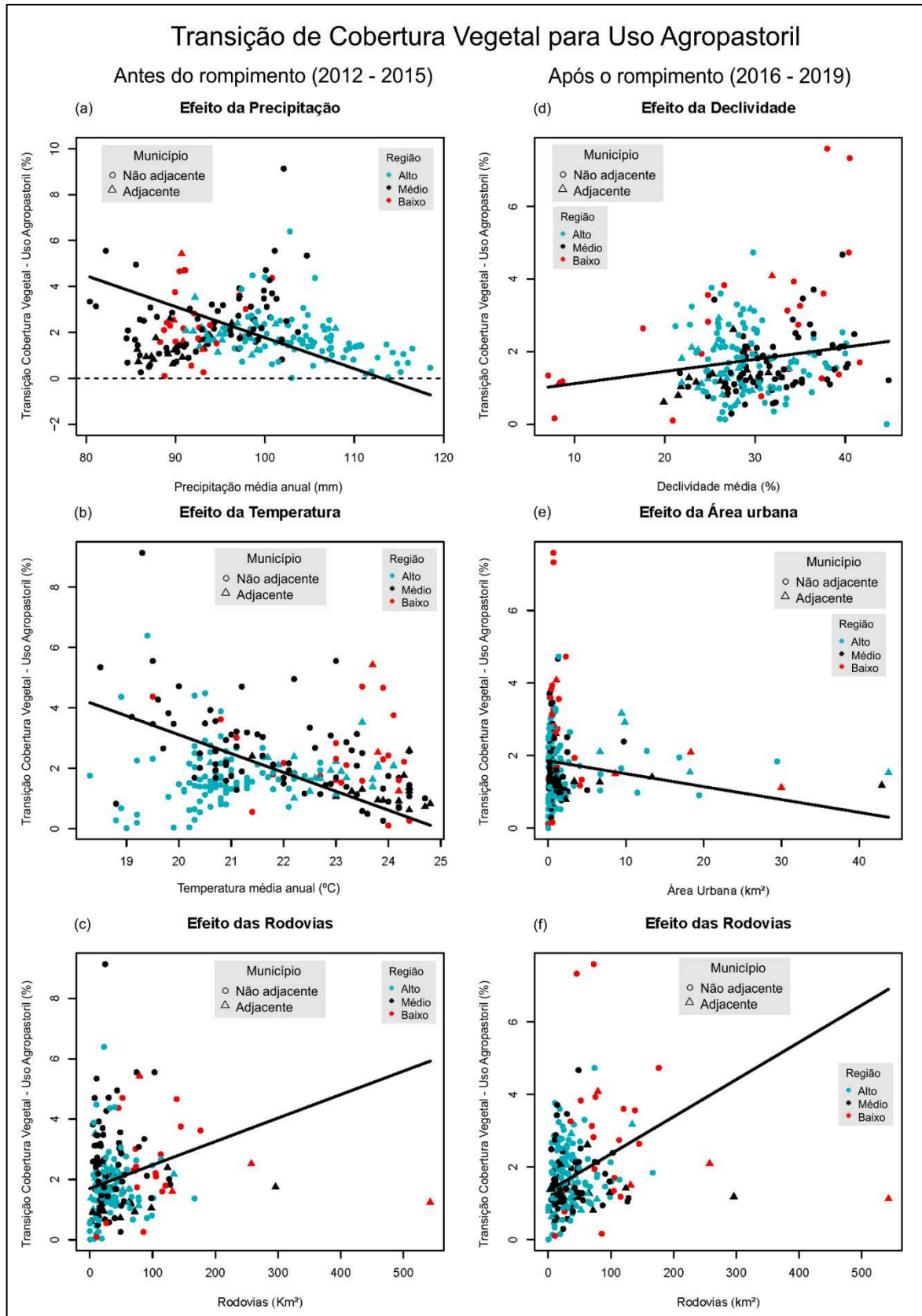


Figura 7. Forças motrizes que tiveram efeito na transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”, antes (2012 – 2015) e após (2016 – 2019) o desastre. Antes do desastre, precipitação e temperatura média anual (a, b) tiveram efeito negativo para todos os municípios da bacia ($p < 0,001$). Após o desastre, declividade (d) teve efeito positivo e área urbana (e) efeito negativo. Tanto antes como após o desastre ambiental (2012 a 2019) rodovias (c) tiveram efeito positivo para todos municípios da bacia do rio Doce ($p < 0,001$).

DISCUSSÃO

As baixas taxas de transição, tanto de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (que interpretamos como “expansão agropastoril”) quanto o inverso (que interpretamos como “abandono agropastoril”), com totais inferiores a 2% considerando a bacia do rio Doce como um todo (ver Apêndice 2), sugerem um padrão estacionário, de persistência nas formas de uso do solo ao longo dos anos (PONTIUS et al., 2013; ZHOU et al., 2014). Provavelmente isto se deve ao fato de que as fases de auge nas transições de uso e cobertura do solo ocorreram no passado, principalmente nos séculos XVII a XIX, quando houve o predomínio de degradação ambiental, principalmente devido ao desmatamento e a expansão urbana subsequente (ver capítulo 1 desta dissertação).

Apesar da redução de áreas destinadas ao “Uso Agropastoril” no período estudado (2012 a 2019), em nível da bacia hidrográfica como um todo, áreas destinadas a “Uso Agropastoril” permaneceram acima de 55% em todo este período (ver Apêndice 2). Isso mostra o predomínio de áreas antropizadas na bacia do rio Doce, em grande parte devido à importância econômica das atividades agropastoris realizadas na bacia. Apesar de um tímido aumento de áreas de “Cobertura Vegetal” no período estudado (ver Figura 5), interpretamos que a transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” se deveu mais fortemente a abandono de áreas agropastoris do que a ações explícitas de restauração ecológica ou de regenerações espontâneas. O fato de as maiores taxas de abandono terem ocorrido em municípios com baixos níveis de precipitação, como observado no segundo período analisado (2016-2019; Figura 6c), reforçam esta ideia.

A Figura 5, que mostra a distribuição das transições em todo a bacia, nos sugere que algumas regiões possuem maior adequação para o desenvolvimento de atividades agropastoris e conseqüentemente intensificação do uso do solo. Identificamos que as regiões do Baixo e Médio rio Doce são predominantemente utilizadas para cultivos agrícolas e atividades pecuárias, o que resulta tanto da história de ocupação quanto a adequabilidade destas ocupações, na medida em que o uso se manteve. Tanto o Alto quanto o Médio rio Doce foram inicialmente colonizados justamente com o propósito de abastecer com produtos agrícolas os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. No caso do Baixo rio Doce, região litorânea que serviu como “porta de entrada” das primeiras populações vindas do exterior, isso resultou na remoção da cobertura vegetal, posterior expansão de atividades agropecuárias e mais recentemente forte

especulação imobiliária, intensificando a degradação ambiental na região (FERREIRA; SILVA, 2011).

Nenhuma de nossas hipóteses de trabalho foi aceita integralmente. Só detectamos distinção entre municípios “adjacente” *versus* “não adjacentes” ao rio Doce (nossa primeira hipótese) na transição “abandono agropastoril” (“Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”) antes do desastre da SAMARCO (2012-2015, ver Figura 6a, b). Aceitamos parte de nossa segunda hipótese, de que abandono de atividades agropastoris seria maior em climas mais secos (ver retas pretas na Figura 6a, c), porém antes do desastre este efeito só foi detectado, fracamente, nos municípios “não adjacentes” ao rio Doce. O efeito positivo que esperávamos da temperatura no abandono agropastoril (transição “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”) só ocorreu para os municípios “adjacentes” ao rio Doce, antes do desastre (ver Figura 6b), mas encontramos o padrão inverso, para toda a bacia, após o desastre (ver Figura 6d). Rejeitamos a nossa terceira hipótese, de que as taxas de mudança dos usos do solo seriam menores em altas declividades. Muito pelo contrário, detectamos um efeito inverso: a expansão das atividades agropastoris sobre áreas de cobertura vegetal aumentou com a declividade após o desastre da SAMARCO (ver Figura 7d). Finalmente, rejeitamos nossa quarta hipótese, de que quanto maior a área urbana no município, maiores as taxas de transição dos usos do solo. Identificamos um efeito contrário: após o desastre da SAMARCO, quanto maior a proporção de área urbana no município, menor foi a transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (expansão agropastoril, ver Figura 7e).

Quase todas as forças motrizes avaliadas (exceção de “Uso Agropastoril” no ano inicial), contribuíram com as transições mensuradas durante o período analisado, embora, os efeitos de cada força motriz tenham variado de acordo o tipo de transição e o período de análise. As mudanças identificadas, foram, portanto, resultado da combinação de forças motrizes naturais e antrópicas. No caso das transições de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (abandono agropastoril), foram predominantemente determinadas por fatores climáticos em ambos os períodos (ver Figura 6). Certamente, outras forças motrizes (de caráter político, histórico e cultural, por exemplo) também têm seu papel no direcionamento das mudanças estudadas, uma vez que, afetam o território em vários níveis temporais e de escala. Cabe destacar que qualquer território tem sua dimensão histórica, em que além da paisagem as forças motrizes e os atores envolvidos também são sujeitos a mudanças (BÜRGI; HERSPERGER; SCHNEEBERGER, 2005).

As forças motrizes climáticas (precipitação média anual e temperatura média anual) tiveram grande importância na dinâmica de uso da bacia, provavelmente porque influenciaram na tomada de decisões por parte dos proprietários de terras. Os vetores motrizes da transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal” (abandono agropastoril) diferiram antes e após o desastre ambiental (ver Figura 6). Antes do desastre houve um contraste entre os efeitos de variáveis climáticas (temperatura e precipitação) nos municípios “adjacentes” à calha do rio Doce, quando comparados aos municípios “não adjacentes” (ver Figura 6a, b). Enquanto nos municípios “adjacentes” tanto precipitação quanto temperatura média anual aumentaram o “abandono agropastoril”, nos municípios “não adjacentes” ao rio Doce, os efeitos foram inversos (no caso da precipitação, ver Figura 6a) ou inexistentes (no caso da temperatura, ver Figura 6b).

Este contraste desapareceu após o desastre, sugerindo que houve alguma alteração na dinâmica de uso do solo, de alguma forma relacionada ao desastre. Assim, nossos resultados mostram que o rompimento da barragem da SAMARCO/BHP Billiton/Vale modificou a dinâmica de uso do solo, de uma forma que não esperávamos. Não detectamos um efeito direto do desastre, mas encontramos evidências de alteração na dinâmica de uso do solo nos municípios “adjacentes” ao rio Doce. Acreditamos que após o desastre da SAMARCO, as áreas “adjacentes” ao rio Doce ficaram mais sujeitas às limitações impostas pelo clima (temperatura e precipitação), como já o eram as áreas “não adjacentes”. Assim, após o desastre, houve uma homogeneização dos efeitos das forças motrizes climáticas sobre o abandono de áreas agropastoris em toda a bacia.

Aceitamos parcialmente a nossa segunda hipótese (de que o abandono de atividades agropastoris foi maior em condições climáticas mais secas e quentes): o abandono de áreas agropastoris (transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”) diminuiu com a pluviosidade (ver Figura 6a, c), como prevíamos, mas também com a temperatura, inversamente ao que previmos, em toda a bacia do rio Doce, no período posterior ao desastre (2016-2019, ver Figura 6d), mas apenas nos municípios “não adjacentes” ao rio Doce no período anterior ao desastre (2012 – 2015, ver Figura 6b). Relacionamos a distinção entre as áreas “adjacentes” ao rio Doce das demais como provavelmente relacionadas ao uso antrópico da água do rio Doce, antes do desastre.

Interpretamos os efeitos de temperatura e precipitação sobre o abandono de áreas agropastoris como relacionados à adequabilidade do clima a estas atividades: quanto menor a

temperatura e a precipitação, maiores as dificuldades de manutenção das atividades produtivas, e conseqüentemente, maiores as chances de abandono destas áreas. Isso mostra que, em condições climáticas menos favoráveis, áreas de cultivo são abandonadas, o que pode significar o avanço da agricultura para outras áreas com melhores condições climáticas, inclusive sobre áreas de cobertura vegetal ainda preservadas. Não encontramos evidências desta ampliação de “Uso Agropastoril” para áreas “melhores” antes do desastre (2012 a 2015), uma vez que a transição “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”, que corresponde a um eventual avanço do uso agropastoril, diminuíram com temperatura e precipitação, em toda a bacia, antes do desastre (ver Figuras 7a, b).

A importância do clima no direcionamento do uso do solo converge com os resultados de Rattis et al. (2021), que mostraram como as mudanças climáticas na região do MATOPIBA resultariam na redução do espaço climático ideal superior a 51% para o cultivo de sequeiro (plantação em solo firme, como milho, feijão, trigo, entre outros) até 2030. Os autores mostraram como em períodos mais secos e quentes houveram reduções no rendimento de culturas como soja e milho, desde a década de 1980. Resultados similares foram obtidos na região da Amazônia Legal, a partir de avaliações dos impactos do aumento de temperatura e redução de índices pluviométricos nas mudanças de uso do solo. Foram identificadas reduções na produção de cultivos agrícolas e na produtividade de pastagens em até 10% para o ano de 2050 (LAPOLA et al., 2011).

Os cenários futuros (2039 a 2099) de elevação das temperaturas em Minas Gerais, de 0,96 °C a 3,58 °C no verão e de 1,53 °C a 4,26 °C no inverno (DA CUNHA; DOS REIS, 2015), requerem atenção principalmente em regiões mais vulneráveis, que são os locais com menores valores de precipitação e maiores temperaturas. Nossos resultados referentes às forças motrizes de abandono de atividades agropastoris (transição de “Uso Agropastoril” para “Cobertura Vegetal”), indicaram que locais com maiores temperaturas e maior pluviosidade, têm menor abandono após o desastre (ver Figura 6c, d). Aumentos de temperatura para além dos máximos históricos, no entanto, podem alterar radicalmente a resposta de “abandono” à temperatura, elevando o abandono de áreas muito quentes. Além disso, se a elevação da temperatura, no cenário futuro, vier acompanhada de redução na pluviosidade, isto irá alterar os espaços climáticos da bacia do rio Doce, provavelmente intensificando o abandono de atividades agropastoris. A redução na pluviosidade ocorre, por exemplo, como efeito do fenômeno climático La Niña, mas também é acentuada pelo avanço do desmatamento na Amazônia, que pode reduzir os rios voadores, que são as massas de ar úmido que se deslocam da região

amazônica para a região sudeste brasileira (LEITE-FILHO; COSTA; FU, 2020). Além de afetar a capacidade produtiva de algumas regiões da bacia, essas alterações devem ter um impacto social devastador, principalmente para os pequenos agricultores, aumentando a sua vulnerabilidade econômica. Estas perspectivas exigem ações por parte dos gestores públicos para além da dimensão do estado de Minas Gerais, mas também ações locais e de acordo com a realidade de cada território.

As transições de “Cobertura Vegetal” para áreas de “Uso Agropastoril”, que estamos chamando de “expansão agropastoril”, mas que ao mesmo tempo corresponde a expansão de áreas agropastoris, foram direcionadas por diferentes forças motrizes antes e depois do desastre (ver Figura 7). Antes do desastre (2012 - 2015) tivemos como vetores motrizes, precipitação média anual, temperatura média anual e extensão de rodovias (ver Figura 7a, b, c); enquanto depois do desastre (2016 - 2019), só se manteve como vetor motriz a extensão de rodovias, desapareceram os efeitos de temperatura e precipitação, e surgiu o efeito positivo da declividade e o efeito negativo de área urbana (ver Figura 7d, e, f). Assim, enquanto antes do desastre, áreas com menos chuvas e menores temperaturas foram onde ocorreu expansão de áreas agropastoris, após o desastre, as áreas onde ocorreu expansão agropastoril (ou degradação) foram nas maiores declividades e menor proporção de área urbana.

Diferentemente do que esperávamos em nossa terceira hipótese (de que as taxas de mudança dos usos do solo seriam menores em altas declividades), após o desastre da SAMARCO, lugares com declives mais acentuados apresentaram maior conversão de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”. Isso mostra que áreas de encostas no período pós-rompimento, mesmo mais declivosas, não foram limitantes para o avanço de atividades antrópicas (ver Figura 7d). Além de indicar a retirada de cobertura vegetal de encostas e topos de morro, nossos resultados reforçam a ideia do avanço de áreas agropastoris em áreas anteriormente cobertas por cobertura vegetal. Ou seja, nossos resultados sugerem um acirramento da “expansão agropastoril” (degradação da cobertura vegetal) após o desastre da SAMARCO.

Rejeitamos nossa quarta hipótese, de que quanto maior a área urbana no município, maiores seriam as taxas de transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”. A área urbana só foi motriz desta transição após o desastre, e no sentido inverso ao esperado (ver Figura 7e). Verificamos que a expansão agropastoril (transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”) diminuiu com a área urbana, após o desastre, ou seja, esta expansão

ocorreu nos municípios com pequena área urbana. Provavelmente, isso seja um reflexo da expansão de atividades antrópicas, em combinação com a abertura de estradas (que aumentou esta transição tanto antes quanto depois do desastre, ver Figura 7c, f), novas habitações e instalações de pequenas áreas de cultivo, processos que na falta de planejamento contribuem com a intensificação da degradação ambiental (HE et al., 2017; MILLER, 2012).

Tanto antes quanto depois do desastre da SAMARCO, a extensão de rodovias aumentou a conversão de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (ver Figura 7c, f), corroborando a importância da facilitação do acesso como motriz de usos antrópicos (BÜRGI; HERSPERGER; SCHNEEBERGER, 2005). No conceito de forças motrizes, rodovias são consideradas “atratores de mudanças”, alterando e degradando a paisagem natural. Isso provavelmente ocorre justamente pela facilitação e intensificação do acesso promovidos pelas rodovias. Geralmente, além de facilitar a locomoção de pessoas e mercadorias, as rodovias também propiciam a instalação de indústrias, assentamentos e até mesmo a abertura de novas estradas. Esses resultados convergem com Geoghegan et al. (2001) e Kleemann et al. (2017), que demonstraram que áreas mais próximas de estradas são mais propensas ao desmatamento.

Por fim, verificamos efeitos amostrais, revelados pelas covariáveis “área do município” e “área de vegetação no ano inicial” (ver Apêndice 4), para a transição “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (“expansão agropastoril”, degradação), mas não para a transição inversa (abandono agropastoril). Isto reforça a importância de incluir covariáveis relacionadas a eventuais efeitos amostrais nos modelos, de forma a evitar resultados espúrios.

O efeito positivo da área inicial na transição de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril” (ver Apêndice 4a, b) decorre, provavelmente, de efeito amostral: quanto maior a área inicial de cobertura vegetal, maior a probabilidade de retirada desta cobertura. No caso do efeito negativo da área dos municípios sobre a transição de “expansão agropastoril” (ver Apêndice 4b, d), acreditamos que isto se deva a um efeito de compensação correlacionado à área: quanto maior a área do município, maior a probabilidade de que parte do município sofra uma transição e outra parte sofra a transição reversa. Quanto menor a área do município, maiores os extremos de transição: ou toda a área é modificada para um outro uso do solo.

Nossos resultados evidenciam que o desmatamento foi maior em municípios menores, indicando um possível avanço de atividades agropecuárias nos pequenos municípios. A análise dos nossos resultados, para além da questão de mudança da paisagem e nos usos do solo, podem permitir que ações sejam orquestradas com base em planejamento e dessa forma reduzir

problemas ambientais e sociais, possibilitando conduzir as taxas de conversão na bacia hidrográfica do rio Doce para direções menos degradantes.

CONCLUSÕES

O rompimento da barragem da SAMARCO/BHP Billiton/Vale modificou a dinâmica de uso do solo na bacia do rio Doce de maneira inversa ao esperado. Acreditávamos que após o desastre, os municípios “adjacentes” à calha do rio Doce (alguns diretamente afetados pelo extravasamento da lama de rejeitos para além da calha do rio) teriam sua dinâmica de uso do solo alterada, quando comparada aos demais municípios da bacia (“não adjacentes” ao rio Doce). No entanto, o que observamos é que o padrão esperado para depois, ocorria antes do desastre. Atribuímos isso ao fato de que o rompimento da barragem da SAMARCO tornou os municípios “adjacentes” ao rio Doce mais sujeitos às limitações impostas pelo clima, e em condições menos favoráveis ao desenvolvimento de atividades agropastoris, o que levou a um aumento no abandono dessas atividades. Nosso trabalho mostra como o clima é importante no direcionamento do uso agropastoril no território, e como isso se tornou ainda mais importante após o desastre da SAMARCO, levando a uma homogeneização do efeito das forças motrizes climáticas (precipitação e temperatura média anual) em todos os municípios da bacia, resultando no avanço de atividades agropastoris para locais que, antes, eram evitados (a relação positiva com a declividade, que só aparece depois do rompimento).

CONCLUSÕES GERAIS

Entender o contexto histórico de um determinado território, oferece subsídios para o entendimento da paisagem no momento presente. A partir da dimensão histórica, cultural, socioeconômica e natural obter *insights* que permitam a tomada de ações no processo de ordenamento e recuperação das condições ambientais de um dado território. Na bacia hidrográfica do rio Doce, o perfil de ocupação e uso do solo desenvolvido desde o século XVI nos ajuda a entender o cenário atual de degradação ambiental, uso intensivo do solo e o papel das empresas de mineração sob o território.

Para além da mudança inerente da paisagem, é importante considerar a atuação das forças motrizes na compreensão das mudanças do uso do solo e no arranjo espacial. Neste trabalho apresentamos como forças externas (processo de colonização da bacia do rio Doce e o caráter social, político e econômico decorrente desse processo) e internas (expansão de cidades, instalação de complexos siderúrgicos e industriais, clima, relevo, entre outros) à bacia determinaram sua ocupação e o desenvolvimento de atividades antrópicas por mais de três séculos, resultando no avanço da exploração de recursos naturais e retirada da vegetação para fins comerciais. O processo de “desenvolvimento” pautado na obtenção de lucros, expropriação de terras e de direitos, levaram ao maior desastre ambiental do país.

Nossos resultados mostraram que o rompimento da barragem da SAMARCO/BHP Billiton/Vale modificou a dinâmica de uso do solo, de uma forma que não esperávamos. Encontramos evidências de que a dinâmica de uso do solo diferiu entre municípios “adjacentes” ao rio Doce e municípios “não adjacentes”, antes do desastre, e não depois. Porém não detectamos um efeito direto do desastre. Interpretamos que o rompimento da barragem da SAMARCO tornou os municípios “adjacentes” ao rio Doce mais sujeitos às limitações impostas pelo clima, e em condições menos favoráveis ao desenvolvimento de atividades agropastoris, o que levou a um aumento no abandono dessas atividades.

Os efeitos de temperatura e precipitação média anual sobre o abandono de áreas agropastoris teve relação com a adequabilidade do clima a estas atividades. Isso mostra que temperatura e precipitação reduzidas representam condições climáticas menos favoráveis às atividades agropastoris, levando a abandono destas áreas. Isto pode significar o avanço da agricultura para outras áreas, quando temperatura e precipitação são baixas, gerando a

descontinuidade agropastoril nas áreas climaticamente desfavoráveis. Considerando a importância econômica que o setor agropecuário tem na bacia hidrográfica do rio Doce e na vida de vários grupos familiares que dependem dessas atividades, a junção da incerteza sobre a qualidade da água do rio Doce, após o rompimento da barragem de Fundão, e a dependência de espaços climáticos favoráveis para a continuidade de atividades agropastoris, exigem ações urgentes. É preciso tomar medidas que sejam efetivas na redução do desmatamento e mais, investimento em revegetação e restauração ecológica, algo que pode impactar positivamente nas condições climáticas, com isso mitigando efeitos das mudanças climáticas nos setores sociais e econômicos da bacia do rio Doce.

Para além do efeito do rompimento da barragem da SAMARCO/BHP Billiton/Vale, identificamos que as forças motrizes naturais e antrópicas, nos períodos analisados, foram importantes nas dinâmicas de uso do solo, seja pelo abandono de atividades agropastoris ou na degradação de áreas de cobertura vegetal. Diante disso, consideramos o estudo das mudanças nas formas de uso do solo e das forças motrizes por trás desses processos, como meios para se discutir, planejar, desenvolver, gerir, proteger e conservar territórios ambientalmente degradados. No entanto, é necessário a interdisciplinaridade, e a partir da combinação da abordagem dos geógrafos e de ecólogos, com ênfase na interação entre seres humanos e a natureza propor ações assertivas nos processos de restauração ecológica e dar subsídios importantes para tomadas de decisões sobre o uso do solo, contribuindo principalmente na criação de políticas públicas para as regiões e grupos familiares mais vulneráveis.

REFERÊNCIAS

- AB’SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Ateliê Editorial, 2007.
- AIRES, U. R. V. et al. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Land Use Policy*, v. 70, n. April 2017, p. 63–70, 2018.
- ALDWAIK, S. Z.; PONTIUS, R. G. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, v. 106, n. 1, p. 103–114, 2012.
- ALDWAIK, S. Z.; PONTIUS, R. G. Map errors that could account for deviations from a uniform intensity of land change. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 27, n. 9, p. 1717–1739, 2013.
- ALLAN, J. D. Influence of land use and landscape setting on the ecological status of rivers. *Limnetica*, v. 23, n. 3–4, p. 187–198, 2004.
- ANA, A. N. DE Á. Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce. Rompimento da barragem em Mariana-MG. p. 50, 2016. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf. Acesso em: 21 set. 2021.
- BANK, W. Commodity prices and price projections in current dollars. 2003, p. 196–197. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets#3>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- BARRAGENS, M. DOS ATINGIDOS POR. Crime em Mariana: 5 anos se reproduzindo. 2020. Disponível em: <https://mab.org.br/2020/11/04/artigo-crime-em-mariana-5-anos-se-reproduzindo/>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. *O Espaço Geográfico em Análise*, v. 8, n. 8, p. 141–152, 2004.
- BNDES. Privatização da Vale do Rio Doce: o Estado no lugar certo. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, [1997?]. 27 p.
- BOJSEN, B. H.; BARRIGA, R. Effects of deforestation on fish community structure. *Freshwater Biology*, v. 47, n. 11, p. 2246–2260, 2002.
- BONILLA-MOHENO, M.; AIDE, T. M.; CLARK, M. L. The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, v. 12, n. 3, p. 543–557, 2012.
- BOXER, C. R. A idade de ouro do Brasil:(dores de crescimento de uma sociedade colonial). *Brasílica*, p. 1–377, 1969.
- BRASIL. Decreto Federal nº 7.257, de 4 de agosto de 2010. Dispõe sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2010/decreto-7257-4-agosto-2010-607732-norma-Atualizada-pe.html>. Acesso em: 12 nov 2021.
- BRASIL. Decreto Legislativo nº 6, de 20 de março de 2020. Dispõe sobre o reconhecimento de

ocorrência do estado de calamidade pública. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/portaria/dlg6-2020.htm. Acesso em: 12 out. 2021.

BRASIL, C. Justiça determina indenizações a novo grupo atingido por rompimento em Mariana. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/justica-determina-indenizacoes-a-novo-grupo-atingido-por-rompimento-em-mariana/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

BÜRGI, M.; HERSPERGER, A. M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change - Current and new directions. *Landscape Ecology*, v. 19, n. 8, p. 857–868, 2005.

CARNEIRO, P. A. S. CONQUISTA E POVOAMENTO DE UMA FRONTEIRA: a Formação Regional da Zona da Mata no Leste da Capitania de Minas Gerais (1694-1835). [s.l: s.n.].

COELHO, A. L. N. MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO DOCE (MG/ES) COM BASE EM IMAGENS SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). *Caminhos de Geografia*, v. 8, n. 22, p. 116–131, 2007.

COELHO, L. A. N. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (MG / ES): UMA ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL INTEGRADA. *Geografares*, p. 131–146, 2009.

COELHO, M. A. T. Rio Doce: a espantosa evolução de um vale. Autêntica Editora, Edição 1, p. 208, 2011.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. DE; VIANELLO, R. L. Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local. *Geografias*, v. 4, n. 1, p. 45–60, 2008.

DA CUNHA, D. A.; DOS REIS, D. I. Efeitos Das Mudanças Climáticas No Setor Agrícola Do Estado De Minas Gerais. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 10, n. 3, p. 309–334, 2015.

DA SILVA JUNIOR, C. A. et al. Analysis of the impact on vegetation caused by abrupt deforestation via orbital sensor in the environmental disaster of Mariana, Brazil. *Land Use Policy*, v. 76, n. April, p. 10–20, 2018.

DE ALMEIDA, C. M. et al. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, 2005.

DE OLIVEIRA, B. R. et al. Land use dynamics and future scenarios of the Rio Doce State Park buffer zone, Minas Gerais, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 192, n. 1, 2020.

DENG, Y. et al. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1–12, 2018.

DOCE, C. DA B. H. DO R. Diagnóstico Consolidado da bacia. 2005. Disponível em: <https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2015/02/diagnostico.pdf>. Acesso em 07 de out. 2021.

DOS SANTOS VERGILIO, C. et al. Immediate and long-term impacts of one of the worst mining tailing dam failure worldwide (Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 756, p. 143697, 2021.

ECOPLAN-LUME, C. Bacia Hidrográfica Do Rio Doce E Planos Hídricos No Âmbito Da Bacia Do Rio Doce. v. I-Relatório, p. 472, 2010. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf. Acesso em: 21 set. 2021.

ENERGÉTICA, E. DE P. Avaliação Ambiental Integrada (AAI) dos aproveitamentos

hidrelétricos da bacia do rio Doce. p. 206, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/avaliacao-ambiental-integrada-aa1>. Acesso em 05 jan. 2022.

ESPINDOLA, H. S. Sertão do Rio Doce. Editora Univale, 2005.

ESPINDOLA, H. S. Vale do Rio Doce: Fronteira, industrialização e colapso socioambiental. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 4, n. 1, p. 160, 2015.

FAO. The Role of Agriculture and Rural Development in Revitalizing Abandoned/Depopulated Areas. EUROPEAN COMMISSION ON AGRICULTURE, Thirty-fourth Session, n. June, p. 28, 2006.

FARINA, A. The cultural landscape as a model for the integration of ecology and economics. *BioScience*, v. 50, n. 4, p. 313–320, 2000.

FAUSTO, B. História do Brasil. Resgate: Revista Interdisciplinar de Cultura. Editora da Universidade de São Paulo, , 2007. Disponível em: <https://mizanzuk.files.wordpress.com/2018/02/boris-fausto-historia-do-brasil.pdf>.

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

FERREIRA, F. F. et al. Impacts of the Samarco Tailing Dam Collapse on Metals and Arsenic Concentration in Freshwater Fish Muscle from Doce River, Southeastern Brazil. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 16, n. 5, p. 622–630, 2020.

FERREIRA, P.; SILVA, A. A história da degradação da cobertura vegetal da região costeira do estado do Espírito Santo, sudeste do Brasil. *Natureza on line*, v. 9, p. 10–18, 2011.

G1. Governo do RN renova decreto de isolamento social e impõe restrições à circulação de pessoas. Rio Grande do Norte, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2020/06/04/governo-do-rn-renova-decreto-de-isolamento-social-e-impoe-restricoes-a-circulacao-de-pessoas.ghtml>. Acesso em: 13 out. 2021.

GABRIEL, F. et al. Contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. *PeerJ*, v. 8, p. 1–25, 2020.

GAO, C. et al. Spatial driving forces of dominant land use/land cover transformations in the Dongjiang River watershed, Southern China. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 188, n. 2, 2016.

GEOGHEGAN, J. et al. Modeling tropical deforestation in the southern Yucatán peninsular region: Comparing survey and satellite data. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 85, n. 1–3, p. 25–46, 2001.

GERAIS, P. C. DE M. Polícia civil conclui primeiro inquérito do rompimento de barragem. 2016. Disponível em: <https://www.policiacivil.mg.gov.br/noticia/exibir?id=186954>. Acesso em: 05 jan. 2022.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. Princípios de Estatística em Ecologia. ARTMED editora, p. 532, 2011.

GUIMARÃES, J. Problemas na barragem da Samarco existiam desde sua construção, aponta relatório. *Brasil de Fato*, 2019.

HAINES-YOUNG, R.; GREEN, D. R. .; COUSINS, S. H. Landscape ecology and geographical

information systems. [s.l.: s.n.].

HASSE, J. E.; LATHROP, R. G. Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography*, v. 23, n. 2–3, p. 159–175, 2003.

HE, C. et al. Environmental degradation in the urban areas of China: Evidence from multi-source remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, v. 193, n. 2017, p. 65–75, 2017.

HOBBS, R. Future landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, v. 37, n. 1–2, p. 1–9, 1997.

IBGE. Mapa etno-histórico do Brasil e regiões adjacentes, adaptado do mapa de Curt Nimuendaju. Fundação Nacional Pró-Memória, 1980.

IBIO, I. B. Relatório anual de mapeamento de fontes de recursos disponíveis. n. 33, p. 78, 2016. Disponível em: <http://ceivap.org.br/downloads/relatorio-anual-de-mapeamento-de-fontes-de-recursos-disponiveis-2015.pdf>. Acesso em 21 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. *Sinapse Múltipla*, v. 34, n. 1, p. 1–9, 2015.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, ICMB. Monitoramento da Pluma de Sedimentos Proveniente da Barragem de Fundão. n. 1893974, p. 44, 2017.

JOSÉ, O. Indígenas de Minas Gerais : aspectos sociais, políticos e etnológicos. [s.l.] Edições Movimento-Perspectiva, 1965.

KALNAY, E.; CAI, M. Impact of urbanization and land-use. *Nature*, v. 425, n. May, p. 528–531, 2003.

KLEEMANN, J. et al. Assessing driving forces of land use and land cover change by a mixed-method approach in north-eastern Ghana, West Africa. *Journal of Environmental Management*, v. 196, p. 411–442, 2017.

LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da Paisagem com SIG*. Oficina de Textos, p. 424, 2009.

LAPOLA, D. M. et al. Impacts of climate change and the end of deforestation on land use in the Brazilian Legal Amazon. *Earth Interactions*, v. 15, n. 16, p. 1–29, 2011.

LEITE-FILHO, A. T.; COSTA, M. H.; FU, R. The southern Amazon rainy season: The role of deforestation and its interactions with large-scale mechanisms. *International Journal of Climatology*, v. 40, n. 4, p. 2328–2341, 2020.

LONG, H. et al. Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. *Journal of Environmental Management*, v. 83, n. 3, p. 351–364, 2007.

MANTYKA-PRINGLE, C. S. et al. Understanding and predicting the combined effects of climate change and land-use change on freshwater macroinvertebrates and fish. *Journal of Applied Ecology*, v. 51, n. 3, p. 572–581, 2014.

MAPBIOMAS. MapBiomass general “handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Mapbiomas, v. 1, p. 48, 2020.

MARTINS, É. D. S. et al. *Ecologia de Paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil*.

Documentos Embrapa Cerrados, p. 35, 2004.

MARTINS, L.; PERON, I. STF autoriza prefeitos e governadores a decretarem isolamento. Brasília, 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/politica/noticia/2020/04/15/aras-defende-que-governadores-e-prefeitos-adotem-medidas-de-isolamento.ghtml>. Acesso em: 13 out. 2021.

MATEUS, B. Mineradoras bancaram 102 deputados eleitos por Minas Gerais em 2014. 2019. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/politica/mineradoras-bancaram-102-deputados-eleitos-por-minas-gerais-em-2014-1.2129410>. Acesso em: 05 jan. 2022.

MATTEDI, M. A.; BUTZKE, I. C. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. *Ambiente & Sociedade*, n. 9, p. 93–114, 2001.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. *O Espaço Geográfico em Análise*, v. 8, p. 83–91, 2004.

METRÓPOLES. 75% dos rejeitos da Samarco já atingiram a Bacia do Rio Doce. 2016. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/meio-ambiente-brasil/75-dos-rejeitos-da-samarco-ja-atingiram-a-bacia-do-rio-doce?amp>. Acesso em: 13 nov. 2021.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001.

MEYER, W. B.; TURNER, B. L. Changes in land use and land cover: a global perspective. *Changes in land use and land cover: a global perspective*, 1994.

MICHAELIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, 2022. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/>. Acesso em 08 jan. 2022.

MILANEZ, B. et al. Minas não há mais: avaliação dos aspectos econômicos e institucionais do desastre da Vale na bacia do rio Paraopeba. *Versos-Textos para Discussão PoEMAS*, v. 3, n. 1, 2019.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. [s.l.: s.n.].

MILANEZ, B.; SANTOS, R. DOS; MANSUR, M. S. A FIRMA E SUAS ESTRATÉGIAS CORPORATIVAS NO PÓS-BOOM DAS COMMODITIES. v. 2, p. 51–86, 2016.

MILLER, M. D. The impacts of Atlanta's urban sprawl on forest cover and fragmentation. *Applied Geography*, v. 34, p. 171–179, 2012.

MORGENSTERN, N. R. et al. Relatório sobre as causas imediatas da ruptura da barragem de Fundão. p. 2016, 2016.

MOURA, G. Acordos de Washington. *Dicionário Histórico-Biográfico Brasileiro*, p. 1941–1943, 2010.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. S. *Landscape Ecology*. [s.l.] Springer New York, 1994.

OLIVEIRA, T. E. DE et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, v. 63, p. 394–400, 2017.

PARCERISAS, L. et al. Land use changes, landscape ecology and their socioeconomic driving forces in the Spanish Mediterranean coast (El Maresme County, 1850-2005). *Environmental Science and Policy*, v. 23, p. 120–132, 2012.

- PETERJOHN W.T.; CORRELL D.L. Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of A Riparian Forest Author (s): William T . Peterjohn and David L . Correll Published by : Ecological Society of America NUTRIENT DYNAMICS IN AN AGRICULTURAL WATERSHED : OBSERVAT. Ecological Society of America, v. 65, n. 5, p. 1466–1475, 1984.
- PLIENINGER, T. et al. The driving forces of landscape change in Europe: A systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, v. 57, p. 204–214, 2016.
- PONTIUS, R. G. et al. Design and interpretation of intensity analysis illustrated by land change in Central Kalimantan, Indonesia. *Land*, v. 2, n. 3, p. 351–369, 2013.
- RATTIS, L. et al. Climatic limit for agriculture in Brazil. [s.l: s.n.]. v. 11
- ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 4, p. 25–39, 1985.
- ROTH, N. E.; DAVID ALLAN, J.; ERICKSON, D. L. Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape Ecology*, v. 11, n. 3, p. 141–156, 1996.
- SAADI, A.; CAMPOS, J. C. F. Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana–MG). *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico - UFMG*, v. 24, n. 1/2, p. 63–103, 2015.
- SAMARCO. Relatório Anual Samarco 2005. p. 139, 2011. Disponível em: www.samarcoqueagentefaz.com.br. Acesso em: 10 jan. 2022.
- SAMARCO. Relatório Anual de Sustentabilidade 2011. p. 109, 2011. Disponível em: www.samarcoqueagentefaz.com.br. Acesso em: 10 jan. 2022.
- SAMARCO. Relatório Anual de Sustentabilidade 2012. p. 96, 2012. Disponível em: www.samarcoqueagentefaz.com.br. Acesso em: 10 jan. 2022.
- SAMARCO. Relatório Anual de Sustentabilidade 2014. p. 81, 2014. Disponível em: www.samarcoqueagentefaz.com.br. Acesso em: 10 jan. 2022.
- SANTOS, M. Por uma Geografia Nova: Da Crítica da Geografia a uma Geografia Crítica. 1978.
- SANTOS, V. V. DOS. Uma Investigação Geo-Histórica Sobre a Ocupação Sertão de Leste nas Minas Gerais do Séc. XIX. p. 209, 2014.
- SERNEELS, S.; LAMBIN, E. F. Proximate causes of land-use change in Narok district, Kenya: A spatial statistical model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 85, n. 1–3, p. 65–81, 2001.
- STRAUCH, N. A bacia do rio Doce: estudo geográfico. Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1955.
- TAREFA, G. DA F. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. p. 289. 2016. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2016/DESASTRE_MARIANA/Relatorios/Relatorio_final.pdf. Acesso em: 12 nov. 2021.
- VALE. Nossa História. Rio de Janeiro, RJ: Verso Brasil, 2012.
- VEJA, R. Governo aceita negociar com mineradoras acordo para recuperar Bacia do Rio Doce. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/governo-aceita-negociar-com-mineradoras->

acordo-para-recuperar-bacia-do-rio-doce/. Acesso em: 15 set. 2021.

VIANA, J. P. Os pescadores da bacia do rio doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da SAMARCO em Mariana, Minas Gerais. p. 51, 2016.

WEBER, A. A. et al. Effects of metal contamination on liver in two fish species from a highly impacted neotropical river: A case study of the Fundão dam, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 190, n. December 2019, 2020.

WU, J.; HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, v. 17, n. 4, p. 355–365, 2002.

YU, H. et al. Landscape ecology development supported by geospatial technologies: A review. *Ecological Informatics*, v. 51, n. March, p. 185–192, 2019.

ZHOU, P. et al. Land classification and change intensity analysis in a coastal watershed of Southeast China. *Sensors (Switzerland)*, v. 14, n. 7, p. 11640–11658, 2014.

APÊNDICE 1. Classificação dos usos do solo em quilômetros quadrados (km²) e em porcentagem (%) para toda a bacia do rio Doce, e suas sub-regiões (Alto, Médio e Baixo rio Doce), em dois períodos: os três anos antes do rompimento da barragem de Fundão (2012 - 2015) e três anos imediatamente após o rompimento (2016 - 2019). As classes de uso "Outros" são os tipos de uso do solo que não se enquadraram nem como "Cobertura Vegetal" e nem como "Uso Agropastoril".

	Classificação para o ano de 2012						Classificação para o ano de 2015						
	Cobertura Vegetal		Uso Agropastoril		Outros		Cobertura Vegetal		Uso Agropastoril		Outros		Área total (km ²)
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	
Bacia do rio Doce	29315.17	33.68	52848.66	60.72	4875.80	5.60	29488.00	33.88	52514.28	60.33	5037.35	5.79	87039.63
Alto rio Doce	14737.72	42.07	17856.51	50.97	2439.94	6.96	14899.58	42.53	17612.00	50.27	2522.59	7.20	35034.17
Médio rio Doce	10552.71	28.96	24644.96	67.63	1242.66	3.41	10753.28	29.51	24397.61	66.95	1289.44	3.54	36440.33
Baixo rio Doce	4024.74	25.86	10347.20	66.48	1193.19	7.67	3835.14	24.64	10504.67	67.49	1225.32	7.87	15565.13
	Classificação para o ano de 2016						Classificação para o ano de 2019						
	Cobertura Vegetal		Uso Agropastoril		Outros		Cobertura Vegetal		Uso Agropastoril		Outros		Área total (km ²)
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	
Bacia do rio Doce	29507.91	33.90	52260.13	60.04	5271.59	6.06	29810.68	34.25	51775.78	59.49	5453.17	6.27	87039.63
Alto rio Doce	14815.94	42.29	17547.44	50.09	2670.79	7.62	14728.21	42.04	17553.08	50.10	2752.88	7.86	35034.17
Médio rio Doce	10937.54	30.01	24197.70	66.40	1305.09	3.58	11557.98	31.72	23501.49	64.49	1380.86	3.79	36440.33
Baixo rio Doce	3754.43	24.12	10514.99	67.55	1295.71	8.32	3524.50	22.64	10721.21	68.88	1319.42	8.48	15565.13

APÊNDICE 2. Parâmetros da seleção de modelos para avaliar a importância das forças motrizes (variáveis explicativas), incluídas no modelo geral, para as transições de "Cobertura Vegetal" para "Uso Agropastoril" e vice-versa no período anterior (2012 - 2015) e após (2016 - 2019) o desastre da SAMARCO, em Mariana - MG. Abaixo estão os seis primeiros modelos para cada resposta.

#	Inter	Mun	Área	Decl	Urb	Rod	Prec	Temp	Veg(i)	Uso(i)	Mun:Área	Mun:Decl	Mun:Urb	Mun:Rod	Mun:Prec	Mun:Temp	Mun:Veg(i)	Mun:Uso(i)	df	logLik	AICc	Delta
COBERTURA VEGETAL PARA USO AGROPASTORIL 2012 - 2015																						
1	28.143		-0.0010			0.008	-0.135	-0.625	0.02254										7	-304.72	624.0	0.00
2	29.307	+	-0.0009			0.010	-0.138	-0.670	0.02106		+								9	-303.16	625.1	1.19
3	28.729	+	-0.0010			0.008	-0.136	-0.646	0.02262										8	-304.38	625.4	1.46
4	27.816		-0.0009		-0.011	0.008	-0.133	-0.618	0.02279										8	-304.40	625.5	1.51
5	28.948		-0.0010	-0.006		0.008	-0.137	-0.642	0.02269										8	-304.60	625.9	1.90
6	28.978	+	-0.0009			0.010	-0.136	-0.660	0.02170					+					9	-303.63	626.1	2.13
Continua...																						
USO AGROPASTORIL PARA COBERTURA VEGETAL 2012 - 2015																						
1	4.418	+					-0.021												4	-382.16	772.5	0.00
2	0.132	+						0.105											4	-382.35	772.9	0.37
3	4.638	+					-0.022	-0.002							+		+		7	-379.36	773.2	0.73
4	4.642	+	-0.0002				-0.022												5	-381.62	773.5	1.01
5	2.379	+																	3	-383.72	773.5	1.03
6	4.405	+	0.0000		-0.033		-0.020				+		+						8	-378.49	773.6	1.13
Continua...																						
COBERTURA VEGETAL PARA USO AGROPASTORIL 2016 - 2019																						
1	2.544	+	-0.0008	0.026	-0.068	0.015		-0.100	0.01466					+					11	-295.57	614.4	0.00
2	0.216		-0.0009	0.033	-0.036	0.010			0.01722										7	-300.02	614.6	0.18
3	1.718		-0.0009	0.029	-0.036	0.010		-0.062	0.01603										8	-299.01	614.7	0.31
4	2.438	+	-0.0009	0.022	-0.044	0.012		-0.088	0.01650		+								11	-296.19	615.6	1.24
5	2.929	+	-0.0008	0.022	-0.070	0.015		-0.113	0.01528		+	+		+					13	-294.04	615.8	1.42
6	2.535	+	-0.0009	0.023	-0.068	0.015		-0.095	0.01489		+	+	+	+					12	-295.21	615.9	1.51
Continua...																						
USO AGROPASTORIL PARA COBERTURA VEGETAL 2016 - 2019																						
1	33.767	+				-0.004	-0.186	-0.596							+		+		8	-402.04	820.7	0.00
2	33.968	+			0.026	-0.005	-0.189	-0.593							+		+		9	-401.33	821.5	0.75
3	33.828	+	-0.0003				-0.187	-0.598							+		+		8	-402.57	821.8	1.07
4	33.026	+				-0.003	-0.181	-0.600	0.005						+		+		9	-401.54	821.9	1.18
5	34.234	+					-0.187	-0.620							+		+		7	-403.85	822.2	1.48
6	33.585	+			0.038	-0.006	-0.186	-0.595	0.003						+		+	+	11	-399.55	822.3	1.59
Continua...																						

= número do modelo; Inter = intercepto; Mun = Município adjacente/não adjacente as margens do rio Doce (variável categórica); Mun: = interação da variável categórica com as outras variáveis; Área = área do município; Decl = declividade média dos municípios; Urb = área urbana nos municípios; Rod = rodovias dentro dos municípios; Prec = precipitação média anual; Temp = temperatura média anual; Veg(i) = área de "Cobertura Vegetal" no ano inicial; Uso(i) = área de "Uso Agropastoril" no ano inicial; df = graus de liberdade do modelo; logLik = logaritmo da máxima verossimilhança; AICc = critério de Akaike corrigido; delta = delta AIC, diferença entre o AIC do modelo 1 e o modelo atual

APÊNDICE 3. Resumo das análises de covariância dos modelos mínimos adequados para as respostas as taxas de transições de uso do solo (variável resposta) na bacia do rio Doce. Modelos com as forças motrizes (variáveis explicativas) que ajudaram a explicar as transições de "Cobertura Vegetal" para "Uso Agropastoril" e vice-versa, antes (2012-2015) e após (2016-2019) o desastre da SAMARCO, em Mariana - MG.

MODELO = COBERTURA VEGETAL PARA USO AGROPASTORIL 2012 - 2015

Coefficientes

	Estimativa	Erro Padrão	Valor T	P valor
Inter	28.1431088	2.6298595	10.701	< 0.001 ***
Prec	-0.1348923	0.0133116	-10.133	< 0.001 ***
Temp	-0.6246134	0.068478	-9.121	< 0.001 ***
Rod	0.0077776	0.0019153	4.061	< 0.001 ***
Área	-0.0009508	0.0002343	-4.058	< 0.001 ***
Veg(i)	0.0225405	0.0038902	5.794	< 0.001 ***

Níveis de significância: **** < 0.001 *** < 0.01 ** < 0.05 * < 0.1

Error padrão residual: 0.9444 em 220 graus de liberdade

R-quadrado: 0.4212, R-quadrado ajustado: 0.4081

Estatística F: 32.02 em 5 e 220 DF, p-valor: < 2.2e-16

MODELO = USO AGROPASTORIL PARA COBERTURA VEGETAL 2012 - 2015

Coefficientes

	Estimativa	Erro Padrão	Valor T	P valor
Inter	4.637943	3.868229	1.199	> 0.1
Prec	-0.02235	0.01894	-1.180	> 0.1
Temp	-0.002117	0.104251	-0.020	> 0.1
Mun	-44.938354	19.136978	-2.348	< 0.05 *
Prec:Mun	0.218908	0.098958	2.212	< 0.05 *
Temp:Mun	1.024649	0.457369	2.240	< 0.05 *

Níveis de significância: **** < 0.001 *** < 0.01 ** < 0.05 * < 0.1

Error padrão residual: 1.314 em 220 graus de liberdade

R-quadrado: 0.0663, R-quadrado ajustado: 0.04508

Estatística F: 3.125 em 5 e 220 DF, p-valor: 0.009561

MODELO = COBERTURA VEGETAL PARA USO AGROPASTORIL 2016 - 2019

Coefficientes

	Estimativa	Erro Padrão	Valor T	P valor
Inter	0.2164301	0.3563347	0.607	0.544226
Decl	0.0334391	0.0109309	3.059	< 0.01 **
Área	-0.0008669	0.0002296	-3.775	< 0.001 ***
Urb	-0.0355239	0.0134102	-2.649	< 0.01 **
Rod	0.0102610	0.0020229	5.072	< 0.001 ***
Veg(i)	0.0172186	0.0036304	4.743	< 0.001 ***

Níveis de significância: **** < 0.001 *** < 0.01 ** < 0.05 * < 0.1

Error padrão residual: 0.925 em 220 graus de liberdade

R-quadrado: 0.2233, R-quadrado ajustado: 0.2057

Estatística F: 12.65 em 5 e 220 DF, p-valor: 8.215e-11

MODELO = USO AGROPASTORIL PARA COBERTURA VEGETAL 2016 - 2019

Coefficientes

	Estimativa	Erro Padrão	Valor T	P valor
Inter	33.83905	4.0995	8.254	< 0.001 ***
Prec	-0.18048	0.02081	-8.671	< 0.001 ***
Temp	-0.63545	0.10517	-6.042	< 0.001 ***

Níveis de significância: **** < 0.001 *** < 0.01 ** < 0.05 * < 0.1

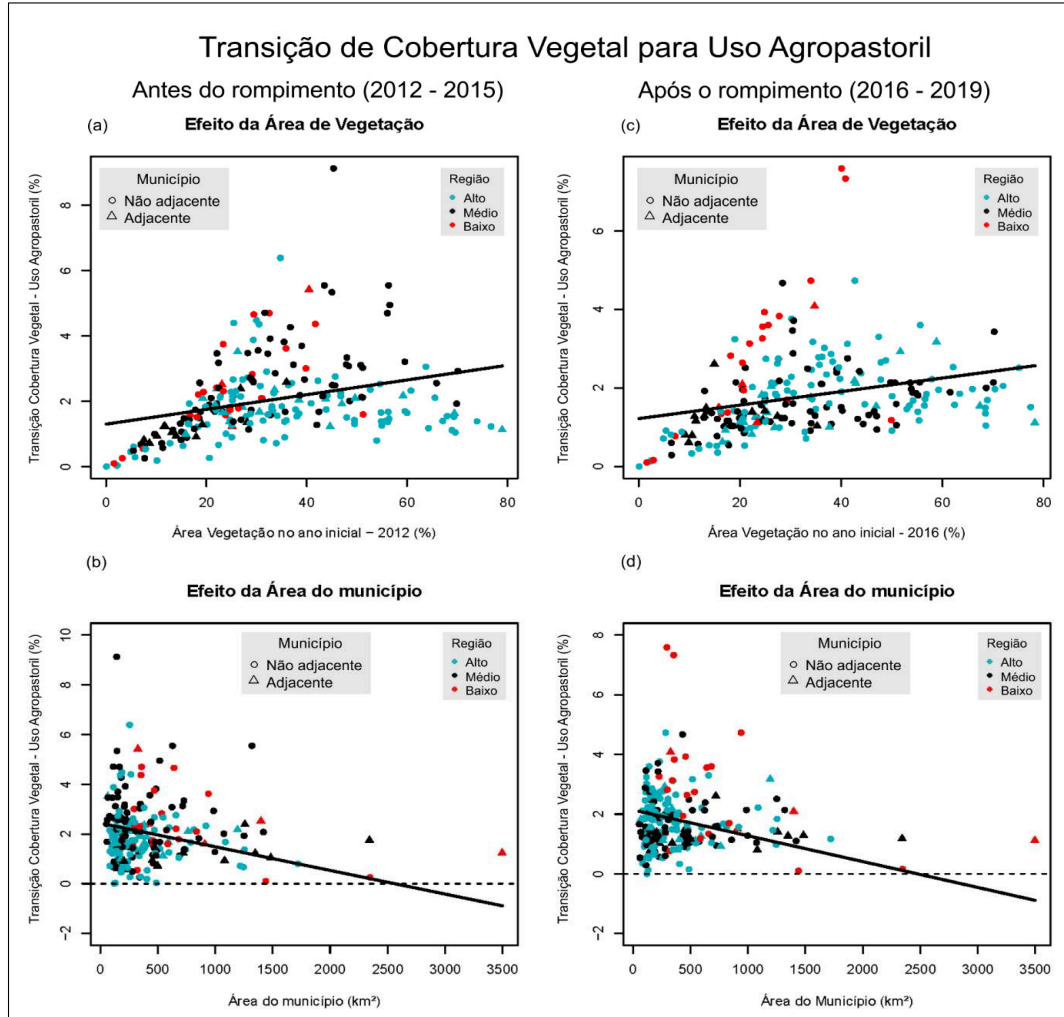
Error padrão residual: 1.484 em 223 graus de liberdade

R-quadrado: 0.2573, R-quadrado ajustado: 0.2507

Estatística F: 38.63 em 2 e 223 DF, p-valor: 3.926e-15

Inter = intercepto; Mun = Município adjacente/não adjacente as margens do rio Doce (variável categórica); Área = área do município; Decl = declividade média dos municípios; Urb = área urbana nos municípios; Rod = rodovias dentro dos municípios; Prec = precipitação média anual; Temp = temperatura média anual; Veg(i) = área de "Cobertura Vegetal" no ano inicial; DF = graus de liberdade do modelo.

APÊNDICE 4. Forças motrizes que tiveram efeito nas transições de “Cobertura Vegetal” para “Uso Agropastoril”, antes do desastre ambiental (2012 – 2015) e após o desastre (2016 – 2019). As cováriaveis “área do município” e “área de vegetação no ano inicial” tiveram efeitos na conversão de “Cobertura Vegetal” antes e após o desastre ambiental. Área de vegetação no ano inicial teve efeito positivo (a e c), quanto maior a área disponível de vegetação, maior foi a conversão, ou intensificação do processo de desmatamento ($p < 0,001$). Área do município teve efeito negativo (b e d) para todos os municípios da bacia, ou seja, quanto maior a área menor foi a conversão ($p < 0,001$).



ANEXOS

ANEXO 1. Distribuição dos principais grupos indígenas na década de 1980, na região da bacia do rio Doce, com destaque para a parte leste da bacia (divisa entre Minas Gerais e Espírito Santo). A presença de dois grupos indígenas, os Botocudos (ocupavam extensas faixas da Mata Atlântica e alguns grupos foram identificados no Vale do Mucuri e no Jequitinhonha) e os Puri (em sua maioria na margem direita do rio e pontualmente em alguns lugares na margem esquerda. Mapa etno-histórico do Brasil e regiões adjacentes, adaptado do mapa de Curt Nimuendaju, 1944. Fonte: IBGE e Fundação Nacional Pró-Memória (Brasil). Adaptado pelo Autor.

