

O rompimento da Barragem I da mina do Córrego do Feijão: alterações na paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, município de Brumadinho, Minas Gerais - Brasil

The disruption of Dam I - Córrego do Feijão mine: landscape alterations in Ferro-Carvão river watershed, municipality of Brumadinho, Minas Gerais - Brasil

Thomaz Alvisi de Oliveira

Doutor em Geografia, Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS, Brasil
thomaz.oliveira@ifsuldeminas.edu.br

Rodrigo Batista lobato

Doutor em Geografia, Universidade Veiga de Almeida - UVA, Brasil
rodrigo.lobato@uva.br

Miguel Fernandes Felipe

Doutor em Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Brasil
miguel.felippe@ich.ufjf.br

Resumo

A atividade minerária impõe transformações profundas nas paisagens, levantando indagações que orbitam esferas temáticas vinculadas ao rompimento de barragens de contenção de rejeitos. O rompimento da Barragem I da mina do Córrego do Feijão em Brumadinho-MG, no dia 25 de janeiro de 2019, trouxe à comunidade científica demandas orientadas à compreensão da catástrofe em si e do seu desdobramento junto aos mosaicos de uso e ocupação da terra e coberturas vegetacionais presentes. Esse trabalho mapeou as alterações impostas às áreas locadas à jusante da estrutura colapsada, cenário contextualizado pela bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, por meio de classificação do uso e ocupação da terra e coberturas vegetacionais em uma cena do satélite Sentinel-2, resolução espacial de 10x10 metros. Com base nas condições anteriores à tragédia, os resultados expõem os impactos do colapso, possibilitando o diálogo sobre as transformações da paisagem no sistema hidrográfico diretamente afetado.

Palavras-chave: rompimento de barragem, depósitos tecnogênicos, dinâmica da paisagem, mineração.

Abstract

The mining activity imposes profound transformations in the landscapes, raising questions about tailings dams' consequences of breaking. The disruption of Dam I of the Córrego do Feijão mine in Brumadinho-MG (on January 25, 2019) demands the scientific community to understand the catastrophe itself and the aftereffects in land-use mosaics and the vegetation coverages. This work mapped the landscape changes imposed downstream the collapsed structure (Ferro-Carvão river watershed), through the classification of land use and occupation and vegetation cover in a scene from the Sentinel-2 satellite (spatial resolution 10x10 meters). Based on the initial conditions, the results expose the dam break's impacts, contributing to the dialogue about the landscape transformations on the affected hydrographic system.

Keywords: dam break, technogenic deposits, landscape dynamics, mining.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico do último século levou a modificações ambientais inéditas na história (CRUTZEN, 2002; PELOGGIA e ORTEGA, 2016), comprimindo a escala temporal dos fenômenos geomorfológicos e criando paisagens modeladas pela sociedade (KÖHLER, 2002; PEREZ-FILHO e QUARESMA, 2012). A transformação do relevo para a expansão urbana nas metrópoles europeias, a criação de ilhas artificiais nos mares Oriente Médio, a formação de platôs irrigados para rizicultura na China e a abertura de cavas de exploração mineral em diversas partes do mundo são exemplos de terrenos tecnogênicos que consubstanciam essa nova conjuntura.

A mineração, por excelência, é uma atividade econômica que tem como corriqueiro passivo a produção de paisagens modificadas por alterações na morfologia da superfície, como já demonstraram diversos trabalhos (ANDRADE, 2012; PASCHOAL *et al.*, 2013; PAULA e CASTRO, 2015; FELIPPE *et al.*, 2016; PELOGGIA e ORTEGA, 2016).

Para além das morfologias conformadas intencionalmente no fazer minerário, subsidiando a exploração das jazidas e a alocação de rejeitos e estéreis, os casos recentes de rompimento de barragens em Minas Gerais trazem à discussão fenômenos repentinos e catastróficos capazes de produzir grandes transformações na paisagem de longas extensões territoriais. Sob essa ótica, indagações que orbitam a esfera temática vinculada ao rompimento de barragens de contenção no contexto das alterações na dinâmica das paisagens, emergem no espectro da análise geocológica (RODRIGUEZ *et al.*, 2007).

Qual a “profundidade” dessas alterações e que impactos tais processos podem produzir na paisagem afetada em ordens escalares diversas? De que maneira a dinâmica de superfície é alterada em função da introjeção ou da assimilação de volume considerável de material sedimentar despejado de uma só vez em áreas de tamanho reduzido? De que forma o uso da terra e a cobertura vegetal, inseridos como elementos promotores e partícipes dessa dinâmica, podem ser afetados em intervalos de tempo distintos?

À luz desses questionamentos, o rompimento da Barragem I da mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho-MG, no dia 25 de janeiro de 2019, trouxe à comunidade científica demandas entretidas na compreensão não só da catástrofe em si, mas também do seu significado enquanto agente responsável por transformações profundas na paisagem, notadamente no que se refere aos impactos sobre o uso e ocupação da terra e coberturas vegetacionais pré-existentes e do seu enlace dinâmico, envolvido na redistribuição de energia e matéria sobre a superfície afetada.

No contexto geral do ocorrido, terrenos tecnogênicos foram conformados pela destruição da cobertura vegetal, supressão das camadas superiores do solo, reconfiguração das feições fluviais e desestruturação dos modos de vida da população local. Toda uma configuração da paisagem existente

foi subvertida pelo recobrimento da superfície por aproximadamente 10 milhões de m³ de sedimentos, que se deslocaram da barragem sob a forma de “corrida de lama” produzindo uma nova totalidade paisagística (FELIPPE *et al.*, 2020).

Nessa conjuntura, este trabalho objetivou avaliar as transformações da paisagem nas áreas locadas à jusante da Barragem I da mina Córrego do Feijão, contexto da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, via técnicas de geoprocessamento e fotointerpretação, utilizando imagens de satélite do software Google Earth Pro e do satélite Sentinel-2 (MSI). A partir do levantamento das características do uso e ocupação da terra e da cobertura vegetal da área afetada, destacando as condições anteriores àquelas verificadas após o rompimento da barragem, discutiu-se os desdobramentos posteriores ao evento, com foco na reorganização da paisagem da unidade sistêmica representada pela bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão.

Em função dos múltiplos significados que possui, é importante destacar que, nesse escopo, a paisagem considerada representa uma “totalidade dinâmica, evolutiva, atravessada por fluxos de natureza, intensidade e direção bastante variáveis” (BESSE, 2014a, pág. 43) e detentora de uma temporalidade própria. Mas funciona também como entidade sistêmica, organizada pelo direcionamento de fluxos de matéria e energia engendrados pelos elementos que a personificam, culminando em mosaicos antrópicos e naturais que coexistem em uma mesma entidade espacial. (CRISTOFOLETTI, 1979;1999; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007)

Foram levantadas ainda, reflexões sobre a importância da paisagem como patrimônio ou monumento memorial às populações que a ela encontram-se (ou encontravam-se) vinculadas por meio do trato com a terra ao longo da própria história de vida. Sob essa ótica, a paisagem em foco é resultante da ação cultural ao longo de determinado tempo sobre o arcabouço natural culminando no que Rodriguez *et. al.* (2007) e Besse (2014a;2014b) consideram como paisagem cultural e representação cultural e social, respectivamente.

Os resultados deram destaque à intransigência e intensidade da atividade mineradora enquanto força atuante na transformação das paisagens.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Um estudo fotointerpretativo prévio foi realizado com auxílio de duas imagens com recobrimento total da área extraídas do *software* Google Earth Pro. As imagens foram digitalizadas para fornecer as informações primárias sobre a situação do uso e ocupação da terra e cobertura vegetal anteriores e posteriores ao colapso para que, em etapa seguinte, pudessem ser caracterizados. Densidade, arranjo, textura, tonalidade e cor foram os elementos que denunciaram as diferenças entre os alvos.

A caracterização foi embasada pela consulta a bibliografias técnicas (GRAEFF, 2015; IBGE, 2020), nos dados disponibilizados pelo sítio do IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2019) e por campanha de campo realizadas em janeiro, junho e setembro de 2019, resultando na definição de oito classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal, a saber: Lâmina d'água (lagoas de decantação); Cultivos temporários; Solo exposto; Pastagem; Floresta estacional semi-decidual montana; Campos sobre lateritos maduros; Mineração ativa; Ocupação urbana/periurbana e industrial, onde sobressaem moradias e estabelecimentos organizados em arruamentos com lotes parcelados e arranjos estruturais característicos dos equipamentos industriais, respectivamente. A figura 1 (A e B) ilustra parte das classes de uso e ocupação mapeadas com auxílio de registros fotográficos realizados em campo.



Figura 1 – Imagens Google Earth Pro exemplificando as classes de uso mapeadas e fotografias de campo utilizadas para validação. A) Balizamento para avaliação das classes de uso e ocupação da terra e coberturas vegetacionais. B) Área ocupada pelo depósito tecnogênico gerado após o colapso da estrutura. C) Fotografia de campo da zona urbana afetada diretamente pelos rejeitos; D) Fotografia de campo do leito do ribeirão Ferro-Carvão.

Fotografias: Maria Otávia Rezende do dia 06/02/2019

Etapa posterior foi efetivada pela classificação supervisionada dos mosaicos de uso e cobertura supracitados em uma cena do satélite Sentinel-2(MSI), datada do dia 07 de janeiro de 2019 e fornecida gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América-USGS.

O satélite Sentinel-2, por meio do instrumento multiespectral (MSI), trabalha com 3 bandas no visível, 1 no infravermelho próximo e 2 no infravermelho de ondas curtas, 4 bandas no “*red edge*” e com 3 bandas para correção atmosférica. Foram utilizadas aqui as bandas da faixa do visível na composição 4R3G2B e a banda 8 NIR (infravermelho próximo), com resolução espacial de 10m x 10m e temporal de 5 dias. Para que a identificação dos alvos à superfície pudesse ser realçada, duas composições em falsa cor representadas pelas bandas 8R4G3B e 4R8G3B foram utilizadas. A tabela 1 caracteriza o conjunto de bandas que apoiaram o trabalho.

Tabela 1: Bandas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho e suas respectivas características e combinações em falsa cor.

Resolução (metros)	Número da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda (nm)	Combinações de bandas
10	B02	Blue (Azul)	490	Cor verdadeira
	B03	Green (Verde)	560	RGB 04/03/02
	B04	Red (Vermelho)	665	Falsa cor 1 e 2
	B08	NIR (Infravermelho próximo)	842	RGB 08/04/03 e 04/08/03

Adaptado de: Engesat, 2019.

Para a classificação supervisionada procedeu-se à coleta de amostras de treinamento para a separação das futuras classes em função da resposta espectral dos alvos à superfície (ANDRADE; FRANCISCO; ALMEIDA, 2014). A coleta de amostras de cada classe foi realizada pelo método “*training sample manager*”, que permite a individualização de polígonos com assinaturas espectrais características (AL MAMUN; MAHMOOD; RAHMAN, 2013; NASCIMENTO et. al, 2016). Finalizada a amostragem das classes o passo seguinte efetivou a classificação por meio do método supervisionado com a ferramenta “*maximum likelihood classification*” (COELHO e JESUS, 2013; COHENCA e CARVALHO, 2015; PINTO e GUEDES, 2019). Em etapa posterior procedeu-se ao armazenamento das informações em formato vetorizado por meio da organização de uma camada *shape file* do arquivo *raster* gerado na análise. Tais arquivos foram utilizados na composição do mapa de classes de usos, apresentado a partir da comunicação cartográfica dos resultados obtidos.

Importante ressaltar que a proximidade entre mosaicos de uso distintos e a extensão reduzida dos alvos em análise e, em alguns casos, a interpenetração de mosaicos de usos com diferentes características, resultou em respostas espectrais duvidosas dificultando o posicionamento das

informações em uma das classes consideradas. Tal fato determinou a criação de polígonos de ajuste pelo método manual de digitalização na imagem, fornecendo assim uma representação mais fidedigna desses mosaicos. Dessa forma, foi possível corrigir erros de classificação como por exemplo, aquelas que levaram polígonos representativos da classe “mineração ativa” serem classificados como “cultivos” em áreas de plantios em estágio inicial. O mesmo aconteceu com as áreas classificadas como de “ocupação urbana/periurbana” que possuem as características espectrais similares às aquelas classificadas como “ocupação industrial”. Nesse último caso, além da criação de polígonos para melhorar a visualização dos mosaicos, lançou-se mão da utilização de números arábicos para balizar a leitura.

Uma vez verificada a necessidade de adoção desses polígonos, seguiu-se com minucioso procedimento de subtração quantitativa das áreas encobertas por ele, a fim de que a extensão das classes obliteradas não viesse a ser computada para essas classes e também para o polígono, falseando a informação final sobre a representatividade em área de cada uso na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão.

A quantificação da extensão em área de cada classe em relação à área total da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão e da extensão em área de cada classe suprimida pelo depósito foi obtida por meio da contagem do total de pixels referentes a cada uma das classes, multiplicando-se esse valor pela área de cada pixel, ou seja, 100 m².

A organização da rede hidrográfica se deu mediante fotointerpretação e digitalização das linhas de drenagem. O mesmo procedimento foi utilizado para dar destaque à área colmatada pela lama oriunda do barramento colapsado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do ribeirão Ferro-Carvão é tributária pela margem direita do rio Paraopeba, um dos principais afluentes do sistema hidrográfico do rio São Francisco. Abriga a mina do Córrego do Feijão (Complexo Paraopeba II) administrado pela Vale S.A., no município de Brumadinho-MG. O complexo abrange a cava do Córrego do Feijão, a Barragem I, pilhas de estéril, uma barragem de água e outras estruturas anexas (Figura 2), além das estruturas adjacentes relacionadas à mina da Jangada.

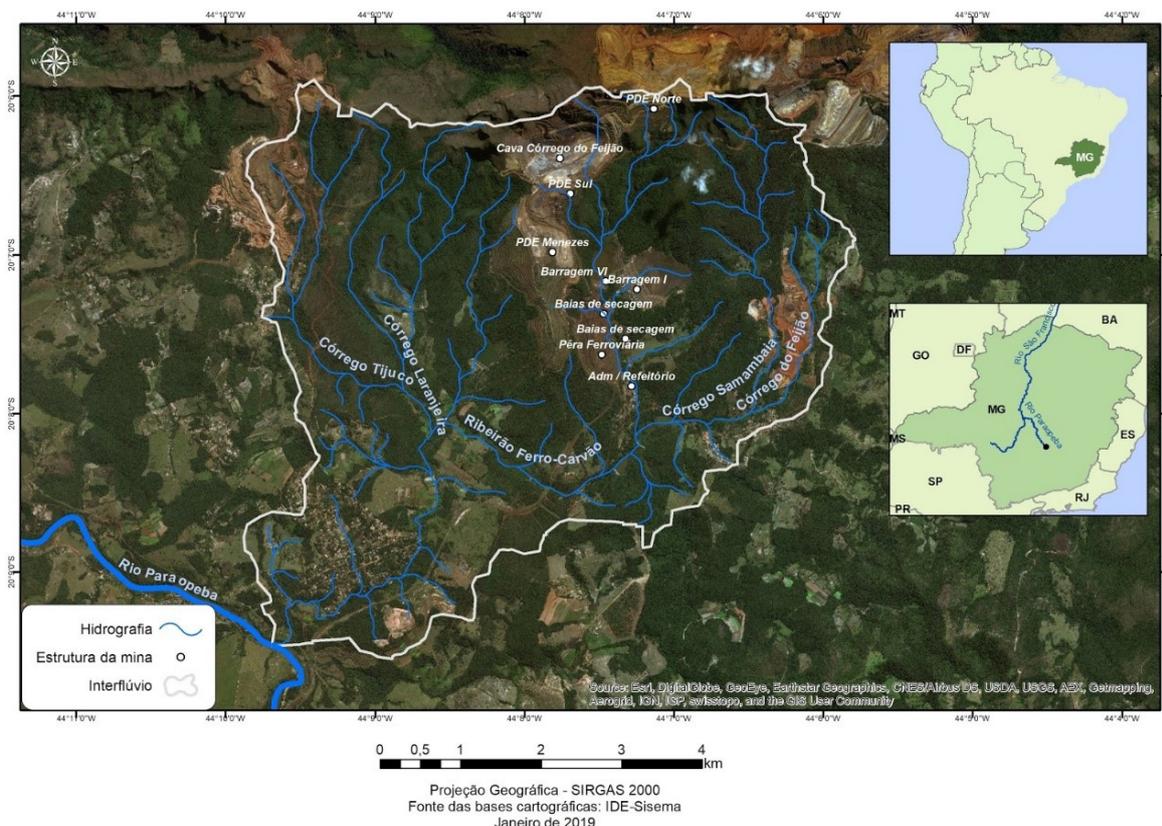


Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do Córrego do Feijão com a espacialização das principais estruturas do complexo minerário inseridas em seu contexto.

Reorganizado de: COSTA, *et al.*, 2019.

Limítrofes ao barramento colapsado enquadram-se terrenos pertencentes à APA Estadual Sul RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte), inseridas no bioma Mata Atlântica e cujo uso sustentável é previsto pelos Decretos 35.624/94 e 37.812/96 (ALMG, 2019). Parte da área atingida pelo desastre insere-se no contexto da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (IDE-SISEMA, 2019).

Sustentada por uma superfície com mais de 30 km² exposta majoritariamente para S/SW e tendo a crista oeste da serra do Curral como anteparo morfológico mais significativo, a paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão cobre-se por mosaicos de usos consorciados da terra, onde pastagens e solo em preparo para cultivos de subsistência possuem relevância em detrimento daqueles representados pelo trato agrícola intensivo (Tabela 2).

Tabela 2 - Área ocupada por cada classe de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro Carvão e a área dessas mesmas classes posteriormente suprimidas pelos depósitos.

Classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal	Área ocupada originalmente por cada classe na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão		Área de cada classe suprimida pelos depósitos	
	Área (m ²)	Porcentagem (%)	Em relação à área total da classe na bacia hidrográfica	Em relação ao total da área atingida

			Área (m ²)	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)
Lâmina D'Água	20.300	0,06	4.700	23,15	0,14
Cultivos Temporários	978.400	2,77	146.900	15,01	4,45
Solo Exposto	995.100	2,81	106.900	10,74	3,24
Pastagem	2.680.000	7,58	261.900	9,77	7,93
Floresta Est. Semidecidual Montana	13.571.100	38,36	1.080.100	7,96	32,70
Campos sobre Lateritos Maturados	7.729.300	21,85	400.800	5,19	12,13
Ocupação Urbana-Periurbana / Industrial	3.852.100	10,89	447.200	11,61	13,54
Mineração Ativa	5.548.300	15,68	854.500	15,40	25,87
TOTAL	35.374.600	100	3.303.000	9,34	100

Fonte: Autores

Não raro, colocam-se em paralelo a polígonos preservados da Floresta semi-decidual montana e a porções da superfície onde a exploração mineral se faz presente.

A floresta estacional semi-decidual montana (IDE-SISEMA, 2019), cobertura arbórea original mais representativa da área (38,36%), se organiza fisionomicamente na paisagem por mosaicos mais antigos e outros em retomada de crescimento sobre antigas áreas de pastagem. O adensamento da fisionomia em apreço também se mostra diferenciado na área, provavelmente vinculado às concentrações de ferro no substrato. Vez ou outra são intercaladas por manchas de campos naturais condicionados também pela presença dos mantos ferrosos, denominados por Graeff (2015) de campos sobre lateritos maturados (21,85%). Segundo o autor (op. cit), nos locais onde os mosaicos florestais foram suprimidos para a inserção de usos antropizados da terra, aparecem manchas de cultivos de subsistência em pequenas propriedades, preenchendo espaços onde as pastagens não se fazem presentes.

Os corpos d'água traduzem-se tanto pela rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão e pequenos açudes particulares quanto por barragens e aquíferos aflorantes em áreas de mineração, parcial ou totalmente tomados por sedimentos. A confluência do ribeirão Ferro-Carvão com o rio Paraopeba é o nível de base local para a deposição do material mobilizado na área e entroncamento natural para o contínuo fluir das massas mobilizadas na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão.

Porém, no contexto de uso, são as áreas minerárias que se destacam no conjunto cênico em foco (15,68%), não deixando dúvidas sobre os impactos que esse tipo de atividade impõe a qualquer meio que a ela esteja associado. Assim, seja qual for a consideração escalar utilizada, é muito difícil não notar na paisagem alguma perturbação decorrente da atividade mineradora. Se a análise for concentrada em áreas cuja abrangência aloca-se no espectro das dezenas de centímetros quadrados, a

deposição de particulados finos depositados após transporte eólico pode ser percebida sobre a estrutura foliar da vegetação. Se o olhar escalar for alterado para extensões do terreno com parcelas ajustadas na casa das unidades ou dezenas de metros quadrados, pacotes de sedimentos são percebidos sobre a forma de deposições nos fundos de vale, carregados por fluxos pluviais e fluviais.

Contudo, é na ordem escalar das unidades de quilômetros quadrados que as escaras produzidas pela atividade mineradora produzem o mais agressivo impacto aos olhares lançados sobre o conjunto da paisagem local. Crateras e cortes profundos, originados diante da retirada do manto alterado (terrenos tecnogênicos degradacionais), transformam as linhas do horizonte, moldadas e suavizadas por processos de esculturação ativos em tempo geológico longo, em quinas abruptas representativas de rupturas de declives acentuadas (Figura 3).



Figura 3 – Olhares escalares diferenciados dão conta de entender de que forma a atividade minerária imprime à paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, naturalmente suavizada pela morfogenia, um aspecto quebradiço e recortado em quinas abruptas.

Fonte: <https://g1.globo.com/politica/blog/julia-duailibi/post/2019/02/01/fotos-mostram-como-era-a-mina-corrego-do-feijao-em-brumadinho-em-2008.ghtml>.

A paisagem que se estruturava em momento anterior ao rompimento da barragem de forma alguma pode ser considerada uma paisagem “sã” ou preservada das investidas antrópicas, cujas alterações já eram grandes, principalmente nas porções relacionadas às áreas de intervenções diretas da mineração. Porém, a corrida de lama promovida pelo colapso da estrutura gerou um *input* de matéria muito superior àquele que, de certa forma, era inserido na paisagem de forma gradual e em intervalo temporal mais longo. O evento promoveu, por exemplo, profundas modificações no fundo do vale do ribeirão Ferro-Carvão, com danos socioambientais de grande magnitude e intensidade. Aos típicos terrenos tecnogênicos degradacionais da mineração, foram incorporados extensos terrenos tecnogênicos agradacionais e mistos nos fundos de vale, dando ainda maior complexidade ao mosaico paisagístico da bacia.

Nesse contexto, tal como elucidada Christofolletti (1979;1999), a paisagem em análise passa a funcionar como um sistema de processos-respostas, combinação de sistemas morfológicos representados pelas formas e sistemas em sequência, representados pelos processos

(CRISTOFOLETTI, 1979, p. 17) e que responde ao *input* extra de energia e matéria, caracterizados pelos sedimentos oriundos da barragem, transportados pela energia liberada quando da ruptura da estrutura

Em âmbito geral, o depósito tecnogênico gerado ocupou quase 10% da área da bacia, suprimindo parcelas significativas das classes de usos pré-existentes, dentre as quais destacam-se os mosaicos de cultivos temporários que perderam aproximadamente 15% do total da área inicial e os campos sobre lateritos maduros e ocupações urbanas-periurbanas e industriais que perderam parcelas superiores a 10% dos mosaicos originais.

Importante destacar que terrenos relacionados à atividade minerária também foram afetados, representando inclusive, a maior perda em área entre as classes suprimidas pelos sedimentos tecnogênicos. Chama atenção aqui esse último fato, pois, pela lógica “sustentável” desenvolvimentista, recorrentemente pregada pelo capital minerador, a perda de parcelas já em operação minerária ou vislumbradas para tal, impõe gastos sobressalentes para que tais terrenos possam novamente se mostrar produtivos.

Em decorrência do aporte “extra” e imediato de material direcionado naturalmente para a calha do ribeirão Ferro-Carvão (com refluxo em alguns afluentes), as áreas marginais a esses canais foram entulhadas e as próprias drenagens desapareceram ou, juntaram-se ao fluxo de sedimentos para, em momento posterior, recobrem seus cursos sobre o material já assentado.

Nesses termos, podemos considerar que houve reorganização não só da rede de drenagem, mas também da morfologia dos canais e fundos de vale, uma vez que as formas originais tiveram de ser novamente entalhadas (e ainda estão) sobre a lama carregada, num processo de recomposição dos gradientes anteriores à lama. A lama, ao tomar seu curso suprimiu também, parte dos terrenos ocupados por cultivos, pastagens e pequenas propriedades, tal como exposto pela figura 4 A e B.



Figura 4 – Áreas encobertas pelos sedimentos oriundos da barragem colapsada A) Originalmente ocupadas por cultivos temporários e pela Floresta Estacional Semidecidual Montana. B) Originalmente ocupadas por equipamentos urbanos e pequenas propriedades

Fonte: Google Earth Pro, 2019.

A própria confluência do Ferro-Carvão com o Paraopeba teve sua morfologia reconfigurada, uma vez que foi o ponto de maior afluxo de rejeitos. Desse ponto à jusante, o volume de sedimentos despejados no Paraopeba pelo Ferro-Carvão acabou por favorecer a multiplicação dos processos deposicionais, personificados por barras laterais de areia escura que se intercalam ao longo do canal principal (Figura 5).

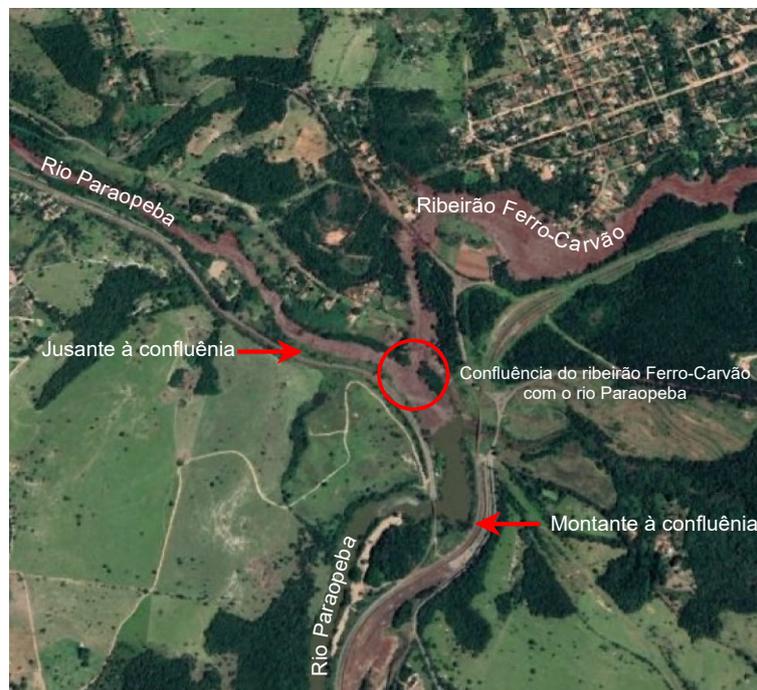


Figura 5 – Confluência entre o ribeirão Ferro-Carvão e o rio Paraopeba, onde a diferença de coloração das águas do Paraopeba é realçada pela alta concentração de sedimentos à jusante.

Fonte: Google Earth Pro, 2019.

O processo que levará à uma nova reorganização do ambiente é compreendido por Camargo (2008) em três etapas sucessivas: i) ruptura de um certo equilíbrio (estabilidade) pré-existente; ii) desorganização ou desequilíbrio (impacto adverso) do sistema; iii) reorganização (nova estabilidade) do sistema, como um novo equilíbrio próximo daquele presente anteriormente ao ocorrido. Na realidade, o recobrimento de parte da superfície da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão pelo material deslocado, desde seu local de origem até a confluência com o rio Paraopeba, produziu um corte paisagístico biologicamente restritivo que dificilmente será recuperado.

Ao comparar dois cenários, pré-rompimento (2018) e pós-rompimento (2019), as alterações da paisagem na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão em escalas de análise diferenciadas são latentes, principalmente nas porções onde o contato com os rejeitos foi direto. Percebe-se que o material sedimentar deu conta de obliterar área significativa da supracitada unidade hidrográfica, recobrando parcelas de todas as classes de uso mapeadas para na bacia (Tabela 2, Figura 6).

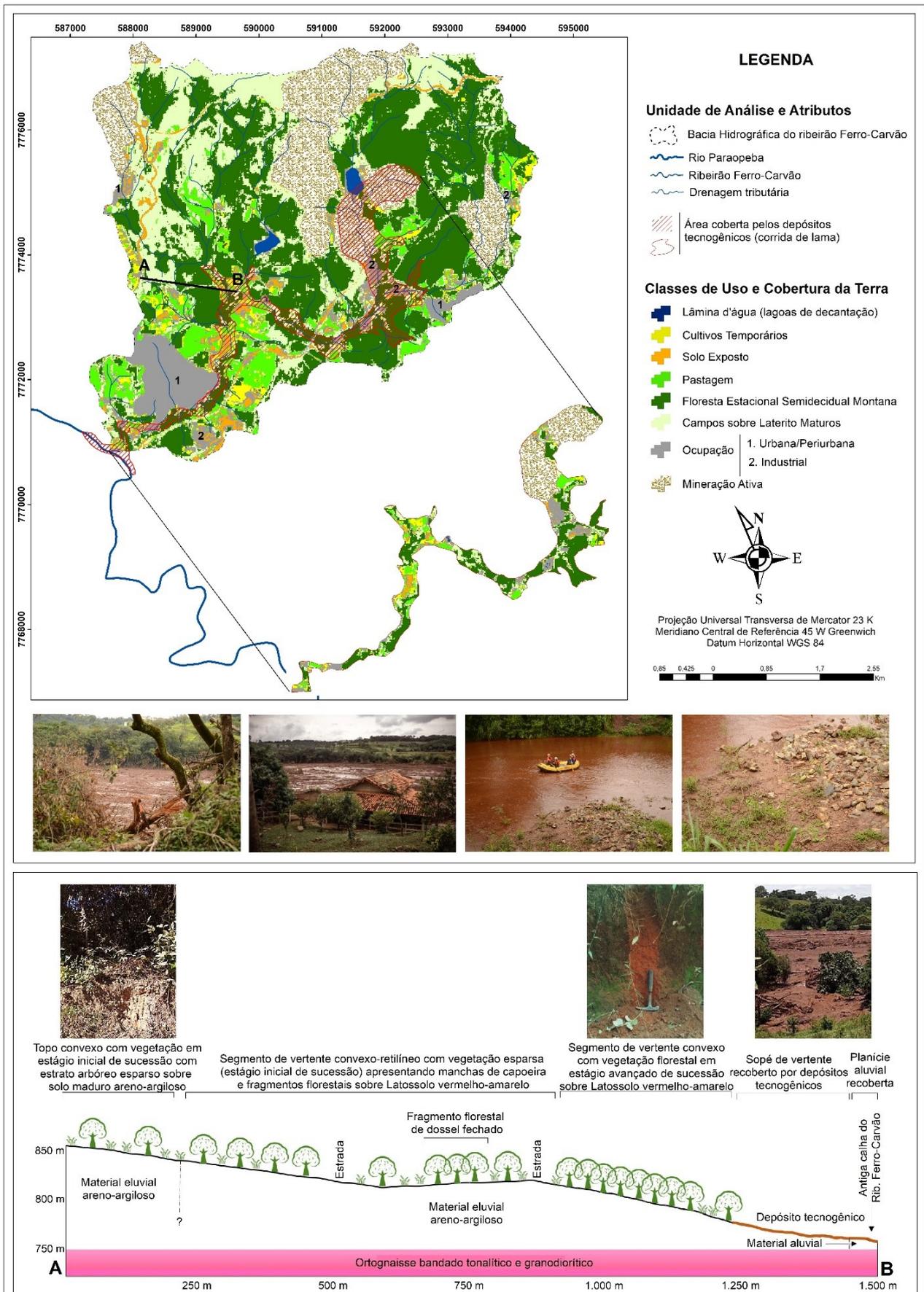


Figura 6 - Contexto espacial das classes de uso e ocupação da terra e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão com destaque para a área encoberta pelos depósitos tecnogênicos gerados pelo colapso da barragem que, em qualquer escala de análise se projetam na paisagem envolvida.

Fonte: Autores

Aos efeitos direcionados às estruturas físico-naturais da paisagem somam-se àqueles desencadeados sobre as paisagens vivenciais, ou seja, que possuem vínculo direto com o arranjo sociocultural característico da área em foco.

Nesse campo, a lama deu conta também de soterrar histórias e memórias que estão além da materialidade da paisagem, que passa a adquirir um caráter simbólico para aqueles envolvidos com essa terra e que desenvolveram por ela um significado social (COSGROVE e JACKSON, 2007) que vai além da ideia de pertencimento, de subjetividade do ser humano e da topofilia (TUAN, 1980). É a paisagem da representação cultural e social definida por Besse (2014) “como um ponto de vista, um modo de pensar e de perceber, principalmente como uma dimensão da vida mental do ser humano” (BESSE, 2014, pág. 12)

De forma geral, ao considerar a paisagem como um todo sistêmico, inevitavelmente chega-se à conclusão de que o colapso da Barragem I da mina do Córrego do Feijão, serviu como *start* pontual a uma série de desdobramentos que ainda estão por vir e que, continuam impactando os meios físico e social. Portanto, até que as relações de trocas sistêmicas deem conta de consumir todo o fluxo extra de material gerado na área de ocorrência e o desdobrado às porções à jusante, a paisagem da bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão será palco de intensas transformações, tanto naturais, representadas pelos ajustes de fluxos de material e energia, quanto antrópicas, marcadas pela necessidade de adequação dos usos e de construção de novos espaços de produção.

Como reflexão direta sobre esse fato e considerando todo o cenário da tragédia, é de se questionar, por exemplo, de que forma órgãos ambientais competentes fornecem licenças para esse tipo de atividade sob tais condições.

Ao trazer à lume a reflexão supracitada é possível buscar respostas no trabalho de Costa, Felipe e Reis (2016) que contém apontamentos importantes direcionados ao processo de licenciamento ambiental em empreendimentos minerários de grande porte. Aludindo ao rompimento da barragem de Fundão em 2015 e seus desdobramentos no contexto da bacia hidrográfica do rio Doce, os autores (op. cit) apresentaram uma série de inconvenientes relacionados ao licenciamento desse empreendimento que acabaram por prejudicar o seu resultado técnico final, fato que, infelizmente, só foi verificado após o rompimento da barragem.

Assim, atentos a quatro temas relacionados à práxis do licenciamento em si, ao aparato de recursos humanos, aos aspectos normativos e ao imperativo ético que orbita o processo constataram, por exemplo, que o licenciamento ambiental da mina do Fundão apresentava-se como uma compilação de dados e informações esteticamente ajustadas e bem organizadas porém, desacompanhadas das discussões e reflexões técnicas necessárias e cabíveis. Talvez por isso, tenham também considerado que os processos de licenciamento sejam, muitas vezes, “um ato político” (COSTA; FELIPPE; REIS, 2016).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapeamentos realizados demonstraram que uma área superior a 3km² foi recoberta pelos depósitos tecnogênicos, sobretudo nos fundos de vale do ribeirão Ferro-Carvão e alguns de seus afluentes. Isso significou a obliteração de mais de 1,4km² de vegetação nativa, entre florestas e campos, além de 0,4km² de terrenos agropastoris. Foram perdidas também, extensas áreas urbanas-periurbanas/ industriais e com mineração ativa (superior a 1,3km²). Os dados quantitativos apresentam apenas uma das facetas desse desastre, que tem nas perdas de moradia, de costumes e, sobretudo, de vidas, seus impactos mais nefastos.

Em análise mais específica sobre os impactos direcionados às classes de uso e ocupação da terra e da cobertura vegetal da área alocadas no corredor dos rejeitos provenientes da barragem colapsada, prevê-se a necessidade de organização de uma sistemática de ações voltadas a promover melhorias para os sistemas diretamente afetados. Isso inclui não apenas a democratização do poder de decisão sobre as atividades de recuperação ambiental e social, mas também, um novo fazer minerário mais seguro e socialmente responsável, incluindo as esferas normativas, tecnológicas e administrativas.

Em relação aos sistemas fluviais, notadamente o ribeirão do Ferro-Carvão e o rio Paraopeba, obras visando a diminuição da turbidez devem ser imediatamente consideradas a fim de devolver condições mínimas para a reprodução e restabelecimento das floras e faunas aquáticas. Nesse âmbito, é importante destacar que a Vale S.A anuncia em sua página virtual, ter colocado em funcionamento uma Estação de Tratamento de Água Fluvial (ETAF), no ribeirão Ferro-Carvão com capacidade para tratar um volume próximo a 2 milhões de litros por hora, e um sistema para retirada do material sedimentar por meio de dragagem. O trecho considerado envolve a confluência do ribeirão do Ferro-Carvão até 2 quilômetros à jusante desse ponto.

Ao que tange à recuperação das áreas em cultivo ou de pastagens e dos equipamentos urbanos afetados pela lama torna-se urgente também a devolução dessas áreas aos proprietários ou, ao menos, o ressarcimento pela perda delas na impossibilidade de reparação. Nesse ínterim, a Vale S.A informa, também por meio de sua página virtual, que a defesa civil deu conta de produzir parte dos laudos técnicos a partir de visitas às propriedades afetadas e que os mesmos foram disponibilizados aos interessados (VALE S.A, 1999).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Pró-reitoria de Extensão da UFJF e ao Comitê Nacional em Defesa dos Territórios Frente à Mineração pelos financiamentos que permitiram o desenvolvimento das atividades de campo.

Prestamos singela homenagem àqueles que por infortúnio foram direta ou indiretamente atingidos pelo evento do dia 25 de janeiro de 2019. Estendemos nossas considerações para homenagear as vítimas fatais desse fatídico dia no anseio de que cada uma delas seja lembrada todas as vezes que, no âmbito das tomadas de decisões, o respeito a vida esteja sempre à frente da ambição pelos lucros.

REFERÊNCIAS

- AL MAMUN, A.; MAHMOOD, A.; RAHMAN, M. Identification and Monitoring the Change of Land Use Pattern Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Dhaka City. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**, v. 6, n. 2, p. 20-28, 2013.
- ANDRADE, A. C.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. "Desempenho de classificadores paramétrico e não paramétrico na classificação da fisionomia vegetal." **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 349-363, 2014.
- ANDRADE, C. F. **Relevo antropogênico associado à mineração de ferro no Quadrilátero Ferrífero: uma análise espaço-temporal do complexo Itabira (município de Itabira- MG)**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. **Decreto estadual n. 35.624, de 08 de junho de 1994**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. **Decreto estadual n. 37.812 de 8 de março de 1996**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- BESSE, J. **O gosto do mundo: exercícios de paisagem**. 1. ed. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014. 234p.
- BESSE, J. **Ver a Terra: seis ensaios sobre a paisagem e a geografia**. São Paulo: Perspectiva, 2014. 110p.
- CAMARGO, L. H. R. **A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a geografia da complexidade**. 2. ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 240p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 257p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. 2. ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1979. 106p.
- COELHO, A. L. N.; JESUS, R. J. Análise temporal da cobertura vegetal com o emprego de geotecnologias: estudo de caso no município de Cariacica – ES. **Acta Geográfica**, v. 7, n. 14, p. 199-2012, 2013

COHENCA, D.; CARVALHO, R. Comparação de métodos de classificação OBIA, Máxima Verossimilhança e Distância Mínima em imagem OLI/Landsat-8 em área de alta diversidade de uso do solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

COSGROVE, D.; JACKSON, P. New directions in cultural geography. **Area**, v. 19, n. 2, p. 95- 101, 1987.

COSTA, A.; GUIMARÃES, I. P. M. B.; OLIVEIRA, G. B.; MENDES, L. C.; MOURA, M. N.; MACHADO, A. C. A. R., REIS, L. A.; FELIPPE, M. F. Avaliação dos danos ambientais provocados pelo desastre tecnológico da mineradora VALE S.A. no Vale do Rio Paraopeba. **Revista Sapiência**, v. 8, n. 2, p. 2010-246, 2019.

COSTA, A.; FELIPPE, M. F.; REIS, G. Licenciamento ambiental de grandes empreendimentos minerários: dos alarmes que ninguém escuta à tragédia no Rio Doce. **Revista Geografias**, Edição Especial, p. 95-113, 2016.

CRUTZEN, P. J. The “anthropocene”. **Journal de Physique IV**, v. 12, n. 10, p. 1-5. 2002.

ENGESAT – Soluções em Imagens de Satélite e Geoprocessamento. **Sentinel-2**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/> Acesso em: 06 jun. 2019

FELIPPE, M. F.; COSTA, A.; GONCALVES, R. J. A. F.; GUIMARÃES, I. P. M. B.; OLIVEIRA, G. B.; MACHADO, A. C. A. R.; REIS, L. A.; REZENDE, M. O. **Minas De Lama**: relatório da expedição geográfica no vale do rio Paraopeba. Juiz de Fora - MG, 2020. Disponível em: <https://www.ufjf.br/grupoterra/2020/01/15/minas-de-lama-relatorio-tecnico-da-expedicao-geografica-no-vale-do-rio-paraopeba/> Acesso em: 12 fev. 2020.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; CARNEIRO MENDES, L.; SILVA CARNEIRO, P.; MACHADO GONTIJO, B. Conexões geo-históricas e contemporâneas entre ocupação territorial, degradação ambiental e rarefação hídrica na Bacia do Rio Doce. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 8, p. 203-222, 2016.

GONÇALVES, C. W. P. **Os (des)caminhos do meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Contexto, 1989. 152p.

GRAEFF, O. **Fitogeografia do Brasil**: uma atualização de bases e conceitos. 1. ed. Rio de Janeiro: Nau Editora, 2015. 552p.

IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil**: 2016-2018. Rio de Janeiro: IBGE, p. 26. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101703.pdf> Acesso em: 12 abr. 2020.

KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 3, n. 1, p. 21-33 2002.

MILANEZ, B.; MAGNO, L.; SANTOS, R. S. P.; COELHO, T. P.; GIFFONI PINTO, R.; WANDERLEY, L. J. M.; GONÇALVES, R. J. A. F. 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, p. 1-114, 2019.

NASCIMENTO, I. S.; CRUZ, C. B. M.; NEVES, S. M. A. S.; GALVANIN, E. A. S. Avaliação da exatidão dos classificadores Maxver e Iso Cluster do software ArcGIS for desktop, com uso de imagem Landsat 8 do município de Cáceres/MT. **Revista Continentes**, ano 5, n. 8, p. 49-62, 2016.

PASCHOAL, L. G.; CUNHA, C. M. L.; CONCEIÇÃO, F. T. A. Cartografia geomorfológica como subsídio para a análise do relevo antropogênico em área de mineração. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, p. 379-391, 2013.

PAULA, S. F.; CASTRO, P. T. A. Geomorfologia antropogênica em função da mineração de ouro no século XVIII: bases científicas e educativas na proposição de uma Trilha Geoturística Urbana na Sede no Município de Ouro Preto (MG). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v. 8, n.4, p. 432-443, 2015.

PELOGGIA, A. U. G.; ORTEGA, A. M. Sobre a recorrência geohistórica de desastres ambientais no Sudeste do Brasil: uma perspectiva de longa duração. **Revista Geociências-UNG-SER**, v. 15, n. 2, p. 61-74, 2016.

PEREZ FILHO, A.; QUARESMA, C. C. Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n.3, p. 83-90, 2012.

PINTO, F. P.; GUEDES, H. A. S. Análise de métodos estatísticos para mapeamento de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, RS, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 2019. p. 239-242.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 223 p.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br Acesso em: 09 jul. 2019.

TUAN, Y. **Topofilia**: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente. Londrina: EDUEL, 2012. 319p.

VALE S.A. (Brasil). **Brumadinho**. Disponível em: <http://www.vale.com/esg/pt/Paginas/Brumadinho.aspx>. Acesso em: 25 nov. 2020.

VALE S.A. (Brasil). **Plano de Reparação Integral**. 2000. Disponível em: http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/servicosparacomunidade/minasgerais/atualizacoes_brumadinho/paginas/balanco-reparacao.aspx. Acesso em: 12 jul. 2020.

VALE S.A. (Brasil). **Barragens**: laudos-edificações. Laudos-Edificações. 1999. Disponível em: http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicosparacomunidade/minasgerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/laudos-edificacoes.aspx. Acesso em: 10 jul. 2019.

VALE S.A. (Brasil). Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/agua-do-corrego-ferro-carvao-sera-tratada-e-devolvida-ao-rio-paraopeba.aspx>. Acesso em: 21 mai. 1999.

Trabalho enviado em 26/11/2020

Trabalho aceito em 09/12/2020