



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS
DECORRENTES DO COLAPSO DA BARRAGEM DE
FUNDÃO - UM ESTUDO DE CASO**

Jeanette Silva Valeriano

Ouro Preto, abril de 2019

**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS
DECORRENTES DO COLAPSO DA BARRAGEM DE FUNDÃO -
UM ESTUDO DE CASO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca

MONOGRAFIA

Nº 317

IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS E DECORRENTES DO COLAPSO DA BARRAGEM DE FUNDÃO - UM ESTUDO DE CASO

Jeanette Silva Valeriano

Orientador

Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Júnior

Coorientadora

Prof.^a Arqt^a Dulce Maria Pereira

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 400, ano 2019/1.

OURO PRETO

2019

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>

Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>

Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>

Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita

35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais

Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

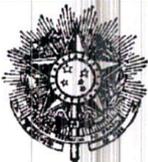
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Jeanette Silva Valeriano

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

V163i Valeriano, Jeanette Silva.
Impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do colapso da Barragem de Fundão [manuscrito]: um estudo de caso / Jeanette Silva Valeriano. - 2019.
51f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Dulce Maria Pereira.
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.
1. Barragens. 2. Minas e recursos minerais - Aspectos ambientais. 3. Avaliação de riscos. I. Martins Junior, Paulo Pereira. II. Pereira, Dulce Maria. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 622.88



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Escola de Minas
Departamento de Geologia
Campus Universitário - Morro do Cruzeiro - S/N
35400-000 - Ouro Preto - MG
Tels.: (031) 559.1600



Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Impactos Ambientais e Socioeconômicos decorrentes do colapso da Barragem de Fundão – Um Estudo de Caso

AUTORA: JEANETTE SILVA VALERIANO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior

COORIENTADORA: Profa. Arqta..Dulce Maria Pereira

Aprovada em: 23 de abril de 2019

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Arqta.Dulce Maria Pereira

DEGEPUFOP

Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago

DEGEO/UFOP

Pesq. Dr. Williams Pinto Marques Ferreira

EPAMIG/Viçosa/MG

Ouro Preto, 23/04/2019

AGRADECIMENTOS

À Deus e aos meus pais, Henelita Isidora da Silva e Luiz Gonzaga Valeriano (*In Memoriam*).

À Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à Escola de Minas e ao Departamento de Geologia pelo ensino de alta qualidade e à Fundação Gorceix, pelo apoio educacional e financeiro.

Ao meu orientador Professor Paulo Pereira Martins Júnior pela orientação segura e aprendizado.

À coorientadora Prof.^a Arqt.^a Dulce Maria Pereira, pela disponibilidade em ensinar e apoiar todo o desenvolvimento deste trabalho e pela orientação à iniciação científica, e também aos estudantes do Laboratório de Arquitetura Urbanismo Engenharia e Processos para SUSTENTABILIDADE – LAUEPAS.

Aos professores (as) Dra. Mariângela Garcia Praça Leite, Dra.^a Maria Paula Delício, Dra. Raquel Franco Cassino, Dr. César Augusto Chicarino Varajão e a Dra. Angélica Drummond Varajão, doutores Jorge Luíz Brescia Murta, César Mendonça, Newton de Souza Gomes, Marger Ventura Viana, Kassandra Muniz, Pedro Alves Paiva, e ao Dr. Eduardo Marques pelos ensinamentos e apoio.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG/Sudeste) pelo acolhimento para desenvolvimento de parte da pesquisa, e aos pesquisadores: Dr. Williams Pinto Marques Ferreira, (EMBRAPA/EPAMIG) pelo apoio no uso da Geotecnologia e técnico-científico; Dra. Maria Regina de Miranda Souza (EPAMIG) pelo apoio no estudo socioeconômico e técnico-científico; ao Dr. Marcelo de Freitas Ribeiro pelo apoio técnico-científico e também as Dras. Cláudia Lúcia de Oliveira Pinto (EPAMIG) e Cleide Maria Ferreira Pinto (EMBRAPA/EPAMIG), pelo suporte técnico-científico.

À Professora Maria Carolina Murta Carneiro e sua família, que desde o Ensino Fundamental, se faz presente por meio de ensinamentos, orientação e, principalmente, pela amizade e generosidade. À Luciana Emirena Carneiro, Lílian Carneiro Cavalcanti e Guilherme Cavalcanti.

Aos psicólogos Magali Araci F. Ferrari, Antônio Barbieri e Marina Knaip Delogo, ao Dr. Augusto Paulo Celestino (*In Memoriam*), à Raquel de Fátima Carlos (*In Memoriam*) e aos Engenheiros Magno Newton Luís Franco, Tarcísio Franco, Wagner Franco e a Administradora Lorena da Cruz Franco.

Aos integrantes do Ministério Público-Mariana -MG, à Iraci da Conceição Pinto e demais funcionários da UFOP pelo apoio técnico-administrativo, à Engenheira Isabel Batista de Sousa Carvalho, à Profa. Enga. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, à José Maurício Machado Pires, à Maria Aparecida Leal Pires, pelo incentivo e amizade.

À minha família biológica, às várias famílias construídas durante a minha trajetória, às irmãs Ana Maria Cardoso Machado, Ivone e Maria das Graças, à Aparecida Sobreira e à família de Amélia Rosa Cornélio e a todos que direta ou indiretamente, contribuíram no desenvolvimento desse estudo e no meu crescimento pessoal e profissional.

“Minha alma
glorifica ao Senhor, meu espírito exulta de alegria em
Deus meu Salvador”.

(Magnificat, Lc 1, 1)

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.1.1	O município de Mariana	1
1.1.2	Disponibilidade hídrica da região de Bento Rodrigues	2
1.1.3	Posicionamento geológico da área	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Geral	4
1.2.2	Específicos	4
1.3	JUSTIFICATIVA	4
1.4	MATERIAL E MÉTODOS	5
1.4.1	Localização	5
1.4.2	Análise ambiental e socioeconômica	7
1.4.3	Análise ambiental da área do distrito de Bento Rodrigues	7
1.4.4	Classificação supervisionada, LANDSAT-8	7
1.4.5	Classificação supervisionada, Sentinel-2	8
2	CAPÍTULO 2- RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
2.1	ANÁLISE DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) E DO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA) DA BARRAGEM DE FUNDÃO	10
2.2	ÁREA DO DISTRITO DE BENTO RODRIGUES ANTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM	11
2.2.1	Imagens de satélite supervisionada (LANDSAT-8 e Sentinel-2 e) após o rompimento da barragem	13
2.3	ANÁLISE QUANTITATIVA DO RELATO DOS MORADORES ATINGIDOS	19
3	CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
4	CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES	27
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Complexo de mineração “Germano”, da Samarco em Mariana (MG).....	2
Figura 2 - Localização de Bento Rodrigues, Mariana, MG.	6
Figura 3 - Barragem de Fundão, Bento Rodrigues, Mariana, MG.	6
Figura 4 - Vista aérea do distrito de Bento Rodrigues antes do rompimento da barragem.....	11
Figura 5 - Área de mineração próximo a Bento Rodrigues.....	12
Figura 6 - Imagem de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem.....	13
Figura 7 - Mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem (Imagem LC08 L1TP 217074 20151011 20170403, do satélite LANDSAT-8).....	14
Figura 8 - Mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem (Imagem S2A MSIL1C 20180629T130241 N0204 R095 T23KQS 20170129T130739, satélite Sentinel-2).....	14
Figura 9 - Imagens LANDSAT 8 da bacia do Rio Gualaxo do Norte nos anos de 2015 e de 2018, respectivamente, antes e depois do colapso da barragem de Fundão.....	18
Figura 10 - Identificação considerando o estado civil, a faixa etária, a naturalidade e o tempo de residência declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão.....	20
Figura 11 - Trabalho e Renda declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão, considerando a dependência da renda; se trabalhava ou não no distrito; se era produtor rural; se cultivava a terra e a finalidade do cultivo; se criava animais.	21
Figura 12 - Características das famílias considerando o número de pessoas que moravam juntas em uma residência, a renda mensal daquela família e a presença, ou não, de antepassados residindo na região atingida pelo colapso da barragem do Fundão.....	22

Figura 13- Declarações referentes as consequências diretas do acidente tecnológico, desde o conhecimento do mesmo até as perdas por morte, ocorrência de feridos e perdas materiais e de valores de ordem sentimental declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso.....23

Figura 14 - Declarações dos atingidos pelo colapso da barragem do Fundão acerca da permanência de união da família; do recebimento de algum tipo de auxílio financeiro e a origem do mesmo quando existir, bem como do recebimento de assistência médica e psicológica.....24

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resolução, banda espectral, comprimento e largura de banda	08
Tabela 2. Especificações técnicas do sensor MSI a bordo do satélite Sentinel-2A	09

RESUMO

O desastre tecnológico ocorrido na barragem de Fundão, no Distrito de Bento Rodrigues, em Mariana-MG, primeira área povoada, impactada, da Bacia do Rio Doce, foi um desabamento de grandes proporções de barragem de rejeitos de mineração no Brasil, classificado pela Organização das Nações Unidas –ONU, como um evento violador dos direitos humanos. Com a presente pesquisa objetivou-se analisar os principais impactos decorrentes do rompimento da barragem do Fundão na população do Distrito de Bento Rodrigues, localizado na região do município de Mariana, em Minas Gerais. Foi aplicado um questionário aos moradores atingidos para identificação dos principais impactos socioambientais ocasionados pelo rompimento da barragem; foram pesquisadas e compiladas as atividades econômicas desenvolvidas pelos moradores atingidos, antes do desabamento, e analisadas imagens de satélites do período anterior e posterior ao desastre tecnológico, bem como elaborados mapas de uso e cobertura da área atingida no Distrito de Bento Rodrigues. Constatou-se, antes do desastre, a integridade das ruas e construções, dos afloramentos rochosos, áreas vegetadas e cursos d'água do distrito. Após o desastre, constatou-se a destruição do distrito pela lama com preservação de áreas em locais de maior altitude. Segundo os entrevistados, nenhuma instituição nem a empresa Samarco Mineração, repassou instruções de ação a serem tomadas pelos moradores da região em situações de risco de rompimento da barragem. Os indícios físicos da ocorrência do desastre foram os estrondos seguido de barulho contínuo, o levantamento de poeira e, conseqüentemente, a invasão e inundação do distrito pela lama de rejeitos de minérios. Os atingidos foram transferidos para a cidade de Mariana, todavia, nem todos receberam auxílio financeiro da empresa SAMARCO. Atualmente as vítimas residem custeadas pelo sistema de aluguel social da SAMARCO e nem todos recebem assistência médica e, ou, psicológica. As perdas irreversíveis descritas são: as vidas humanas, de animais, da vegetação e do patrimônio histórico, além dos danos morais, perdas materiais e imateriais; perdas de vínculos históricos e de parentesco, das relações de produção culturais, religiosas, afetivas e comerciais. Conclui-se que o comprometimento da área física e os danos

causados a população ocasionou redução da qualidade de vida e da potencialidade econômica da região, ampliou nas vítimas a noção dos riscos e vulnerabilidade por residirem em áreas próximo a barragens de rejeitos de mineração. Considera-se também que o processo de construção de referências para a reparação justa das pessoas atingidas pelo desabamento, condição ética para a retomada de atividades pela empresa responsável pelo desastre, necessita da adequada interpretação, técnica e jurídica, das circunstâncias que envolveram o desastre tecnológico ocorrido na barragem de Fundão.

Palavras chave: Desastre Tecnológico; Mineração; Meio Ambiente; Bento Rodrigues; Rompimento de Barragem

Abstract:

The technological disaster that occurred at Fundão dam, in the Bento Rodrigues District, in Mariana-MG, the first populated, impacted area of the Rio Doce Basin, was the major collapse of mining tailings dam in Brazil, classified by the United Nations - UN as a human rights violating event. The present research aimed to analyze the main impacts resulting from the Fundão dam rupture in the population of the Bento Rodrigues District, located in the region of Mariana, Minas Gerais. A questionnaire was applied to the affected residents to identify the main social and environmental impacts caused by the dam rupture; The economic 'compiled, and satellite images from the pre- and post-technological disaster period were analyzed, as well as maps of the use and coverage of the affected area in the Bento Rodrigues District. The research noted, prior to the disaster, the integrity of the streets and buildings, rocky outcrops, vegetated areas and waterways of the district. Following the disaster, mud was destroyed by the district, with areas preserved at higher altitudes. According to the interviewees, neither institution nor the company Samarco, passed on instructions of action to be taken by the residents of the region in situations of risk of dam rupture. The physical signs of the disaster were the crashes followed by continuous noise, the raising of dust and consequently the invasion and flooding of the district by the ore tailings mud. Those affected were transferred to the city of Mariana, however, not all received financial aid from SAMARCO. Currently, the victims live in SAMARCO's social rental system, and not all receive medical and / or psychological assistance. The irrecoverable losses described are: human, animal, vegetation and historical heritage lives, in addition to moral damages, material and immaterial losses; loss of historical and kinship ties, cultural, religious, affective and commercial production relations. It was concluded that the compromise of the physical area and the damage caused to the population caused a reduction in the quality of life and economic potential of the region, increasing in the victims the notion of the risks and vulnerability to live in areas close to mining tailings dams. It is also considered that the process of building references for the fair reparation of people affected by the collapse, an ethical condition for the resumption of activities by the company responsible for the disaster, needs the proper technical and legal interpretation of the circumstances surrounding the technological disaster. occurred at the Fundão dam.

Keywords: Technological Disaster; Mining; Environment; Bento Rodrigues; Dam rupture

1.1 APRESENTAÇÃO

A ruptura de barragens de rejeitos da mineração é um problema mundial que desequilibra o meio ambiente. No dia 05 de novembro de 2015, ocorreu em Bento Rodrigues, Distrito de Mariana-MG, o rompimento da estrutura de contenção de rejeitos de mineração da barragem de Fundão, pertencente a empresa Samarco Mineração S.A., uma *Joint Venture* entre a Vale S.A, empresa multinacional brasileira, e a empresa anglo-australiana BHP Billiton, causando uma tragédia humana de proporções imensuráveis com graves impactos ambientais, sociais e econômicos. A busca pelo conhecimento desses impactos e da sua magnitude ocorreu a partir da de entrevistas sobre a percepção dos moradores do distrito de Bento Rodrigues e da análise de imagens de satélites da região afetada, visando contribuir para o melhor estabelecimento do elo entre as abordagens jurídicas e técnico-científicas que são ainda pouco sistematizadas no Brasil.

As consequências causadas pela ausência de sistemas de prevenção compartilhados com os habitantes foram demonstradas a partir da dimensão da tragédia decorrente do colapso no complexo de mineração da barragem de Fundão. Tal fato revela que a pesquisa de avaliação de risco em barragem de rejeitos de mineração, como a barragem de Fundão, ainda em fase exploratória, necessita de condições legais e técnicas, com base em avaliação de probabilidade de falha e avaliação de consequências, gestão de riscos e implantação de plano de emergência.

Assim, com base em ferramentas de uso cotidiano da Engenharia Geológica, como mapas de uso e ocupação do solo, associados às percepções derivadas dos questionários aplicados aos moradores do Distrito afetado e da literatura escolhida, desenvolveu-se o presente estudo acadêmico, multidisciplinar, sobre os impactos decorrentes da ruptura de barragem a jusante da estrutura rompida.

1.1.1 O município de Mariana

O município de Mariana possui cerca de 59.343 habitantes, com densidade populacional de 45,4 habitantes/km² (IBGE, 2016). O clima tropical de altitude da região de Mariana é, com base na classificação de Köppen, classificado como Cwb, ou seja, a região de Mariana fica localizada em uma zona subtropical úmida que apresenta inverno frio e seco e verão temperado (Ferreira et al, 2018).

O município pertence à bacia do Rio do Carmo, sub-bacia do alto Rio Doce, em Minas Gerais que também inclui as cidades de Acaiaca, Barra Longa, Diogo de Vasconcelos e Ouro Preto. Esses municípios somavam uma população de 147.388 habitantes, em 2016 (IBGE, 2016). A bacia do Rio do Carmo, integrante da bacia do Rio Doce, está situada na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos – UFGRH DO1 Piranga, que se estende desde as cabeceiras do Rio Piranga até as proximidades do Parque Estadual do Rio Doce, constituindo a unidade de cabeceira do Rio Doce (IGAM, 2010). Os Rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul, e do Carmo, estão inseridos na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGHR DO1 da bacia do Rio Doce.

As barragens: Germano, Fundão e Santarém (Figura 1) planejadas para receber os rejeitos do processo de mineração, localizam-se no complexo de mineração “Germano” da SAMARCO em Mariana (MG).

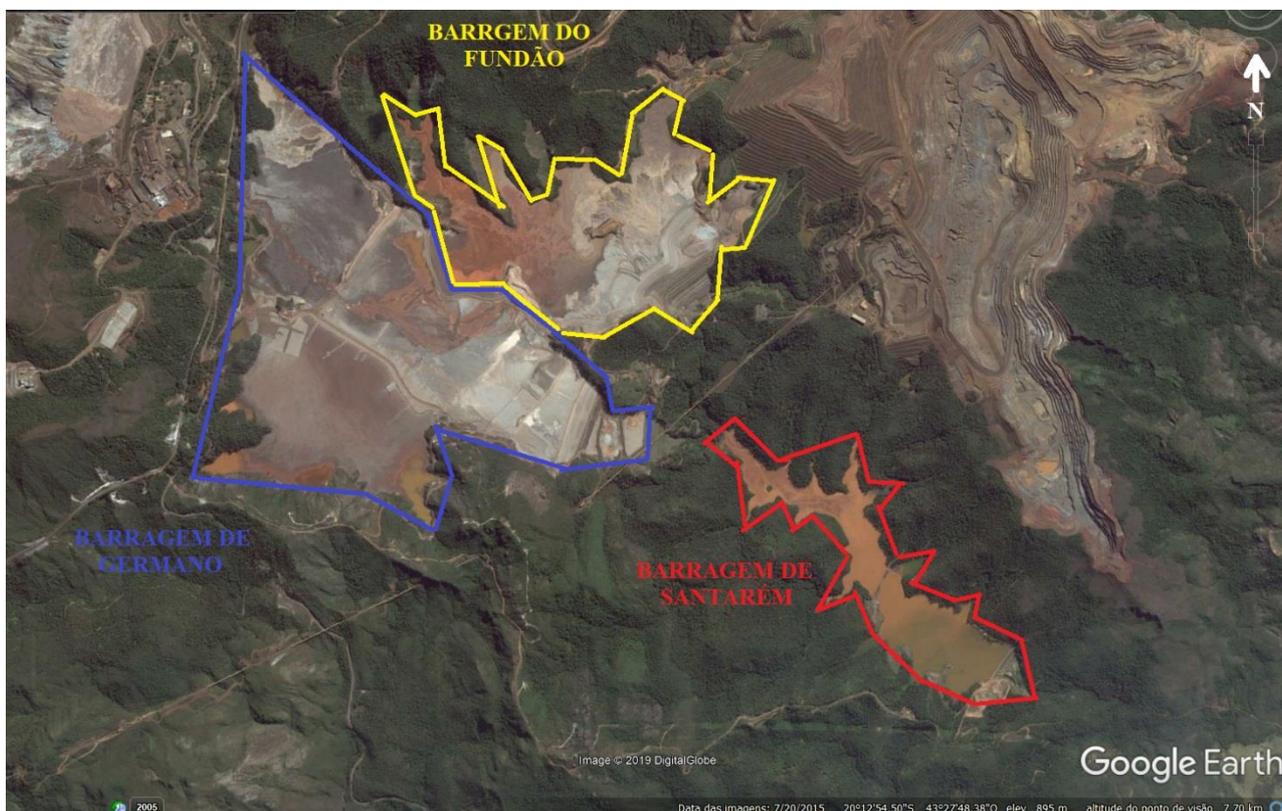


Figura 1 – Posicionamento das barragens do Germano, Fundão e Santarém no Complexo de mineração “Germano”, da Samarco em Mariana (MG)

Fonte: Google Earth (2018)

1.1.2 Disponibilidade hídrica da região de Bento Rodrigues

A disponibilidade hídrica de Bento Rodrigues é representada pelos Córregos de Santarém e Ouro Fino. Esses córregos são afluentes do Rio Gualaxo do Norte e, este por sua vez, é afluente do

Rio do Carmo. A Serra de Antônio Pereira, integrante da Serra do Espinhaço, está próxima ao Complexo Minerário de Germano sendo a divisora de águas entre as bacias do Rio São Francisco e do Rio Doce. Os rios afluentes localizados na região oeste-sudoeste desta Serra fazem parte da bacia do Rio das Velhas, o qual deságua no Rio São Francisco, e os rios afluentes, localizados ao leste-nordeste também dessa Serra, desaguardam no Rio Doce.

1.1.3 Posicionamento geológico da área

A área de estudo, o distrito de Bento Rodrigues, localiza-se no Quadrilátero Ferrífero – QF, na zona de transição entre as Províncias Geotectônicas São Francisco e Mantiqueira (Almeida, 1977), onde predomina uma sequência de rochas supracrustais associadas com rochas granitóides. Na Província Mantiqueira prevalecem rochas gnáissicas e granulíticas de médio a alto grau metamórfico (Costa, 2001).

Castilho (2017) cita que a Barragem do Germano se localiza no Complexo Alegria, situado na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, fazendo parte do Sinclinal de Alegria, estrutura formada por rochas do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas. Considerando a proximidade entre a barragem de Germano e a barragem do Fundão, esta última apresenta as mesmas características da barragem de Germano.

A barragem de Fundão, no subdistrito de Bento Rodrigues, pertencente ao município mineiro de Mariana, foi construída para depósito de contenção dos resíduos gerados durante o processo de extração de minério de ferro. De acordo com a UFMG (2015) essa barragem continha, aproximadamente, 50 milhões de m³ de resíduos, classificados segundo a NBR 10.004, em sólidos, não perigosos e não inertes, como o ferro e o manganês, tendo sua composição formada, basicamente por areias e metais.

O dique de fundão entrou em colapso e rompeu-se, e segundo o IBAMA (2015), aproximadamente, 34 milhões de m³ de rejeitos de minério foram lançados diretamente no meio ambiente e ao atingir a barragem de Santarém, à jusante, causou o seu transbordo e avarias (UFMG, 2015). Os resíduos restantes continuaram fluindo, seguindo o sentido da correnteza das águas em direção aos rios: Gualaxo do Norte e do Carmo, seguindo até atingir a foz do Rio Doce, na costa espírito-santense. Após o rompimento da barragem de Fundão e a transposição da barragem de Santarém, um devastador “tsunami” de lama residual dizimou o subdistrito de Bento Rodrigues e atingiu os distritos de Mariana: Camargos, (PCH de Bicas), Ponte do Gama, Paracatu de Cima, Paracatu de Baixo, Borba, Pedras e Campinas.

A maior parte dos rejeitos liberados em Fundão transpôs a barragem de Santarém, localizada a jusante das barragens de Germano e Fundão. A barragem de Santarém sofreu sérios danos, mas foi capaz de reter cerca de 16 milhões de m³ de lama e continua ainda de pé (Pinto-Coelho, 2015).

As barragens do complexo de mineração operavam por meio do método denominado “aterro hidráulico”, no qual os resíduos separados durante o processo de mineração são escoados até as barragens pela força da ação gravitacional. A água é filtrada pela areia localizada estrategicamente na porção central dessas barragens. O processo de liquefação é uma hipótese para o colapso da barragem de Fundão. O referido processo ocorre quando a camada de areia depositada na parte frontal da barragem opera no sentido inverso à sua utilização e, ao invés de expelir a água, ela a retém. Isso ocorre devido a mudanças abruptas na pressão interna do depósito, o que impede a filtragem dos resíduos. Conforme Castilho (2017), a liquefação ocorre pela tendência que um solo granular apresenta de se contrair mediante o cisalhamento, dependendo do estado de compacidade desse solo, o que pode gerar aumento da poropressão em carregamentos não drenados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar os impactos do desastre tecnológico da barragem do Fundão sobre o Distrito de Bento Rodrigues – Mariana – MG.

1.2.2 Específicos

(i) Realizar uma breve revisão bibliográfica considerando a adoção do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) na Barragem de Fundão.

(ii) Identificar os principais impactos ambientais que ocorreram na área do Distrito de Bento Rodrigues ocasionados pelo desastre tecnológico ocorrido na barragem de Fundão.

(iii) Caracterizar as atividades econômicas desenvolvidas pelos moradores atingidos, antes do desabamento.

(iv) Avaliar os impactos socioambientais, na população do Distrito de Bento Rodrigues, oriundos do colapso da barragem do Fundão.

1.3 JUSTIFICATIVA

A necessidade de reflexões sobre a tragédia ocorrida em 05 de novembro de 2015 no distrito de Bento Rodrigues originou o presente estudo. Trata-se de uma tragédia humana e ambiental de

proporções imensuráveis, decorrente do rompimento da barragem que pertence ao Complexo Minerário de Germano. Dessa forma com o presente trabalho busca-se contribuir para a obtenção de conhecimentos sobre a magnitude dos impactos socioeconômicos a partir da percepção dos moradores do distrito de Bento Rodrigues. Outro aspecto a ser considerado para o desenvolvimento deste estudo é a necessidade de mapeamento dos impactos socioambientais, das perdas materiais e afetivas dos atingidos e da necessidade de aproximação entre a produção teórica e os conhecimentos sobre o território, e a percepção da comunidade impactada. Por meio dos dados coletados é possível elaborar e propor medidas de mitigação para os impactos decorrentes de desastres tecnológicos como o colapso de barragens de rejeitos de minérios.

A necessidade de conhecimento e investigação das áreas impactadas pela ruptura da barragem de Fundão, em 05 de novembro de 2015, no distrito de Bento Rodrigues motivou, a partir da análise socioambiental da área do distrito afetado, a identificação, avaliação e comparação das seguintes características (antes e após o colapso da referida barragem): das margens e áreas dos rios impactados pelo colapso da barragem; das áreas ocupadas pela comunidade; das áreas de matas nativas, de agricultura e pecuária; e das áreas de agroindústrias e de mineração. Tais conhecimento vêm contribuir para a obtenção de conhecimentos sobre a extensão e a magnitude dos impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes da tragédia que dizimou o distrito.

1.4 MATERIAL E MÉTODOS

1.4.1 Localização

O município de Mariana pertence ao Estado de Minas Gerais, que fica na região Sudeste do Brasil, sendo a cidade de Mariana localizada nas coordenadas geográficas 20° 22'41'' S e 43°25'0'' O, ao nível de 718m de altitude, sendo a distância de Mariana à Capital Belo Horizonte de 112 km. O Distrito de Bento Rodrigues fica a, aproximadamente, 16 km, em linha reta e, a 35 km, por estrada, distante da cidade de Mariana, (Figura 2), estando a barragem de Fundão localizada, a 2,5 km, em linha reta, na porção noroeste do Distrito de bento Rodrigues (Figura 3).

A barragem do Fundão, de acordo com Pedrosa (2017), estava classificada como Classe C, com base na classificação realizada pelo DNPM através da Política Nacional de Segurança de Barragens, ou seja, em uma categoria de risco baixo e dano potencial associado alto. Como apresentava risco baixo de ruptura e, mesmo assim, veio à ruptura, o autor propôs uma revisão no sistema de classificação das barragens realizado pelo DNPM, pois um sistema de classificação que

retrata de fato a situação da barragem poderia ligar um alerta sobre possíveis riscos de ruptura e nesse caso, terem sido tomadas medidas para evitar o acidente tecnológico que ocorreu.

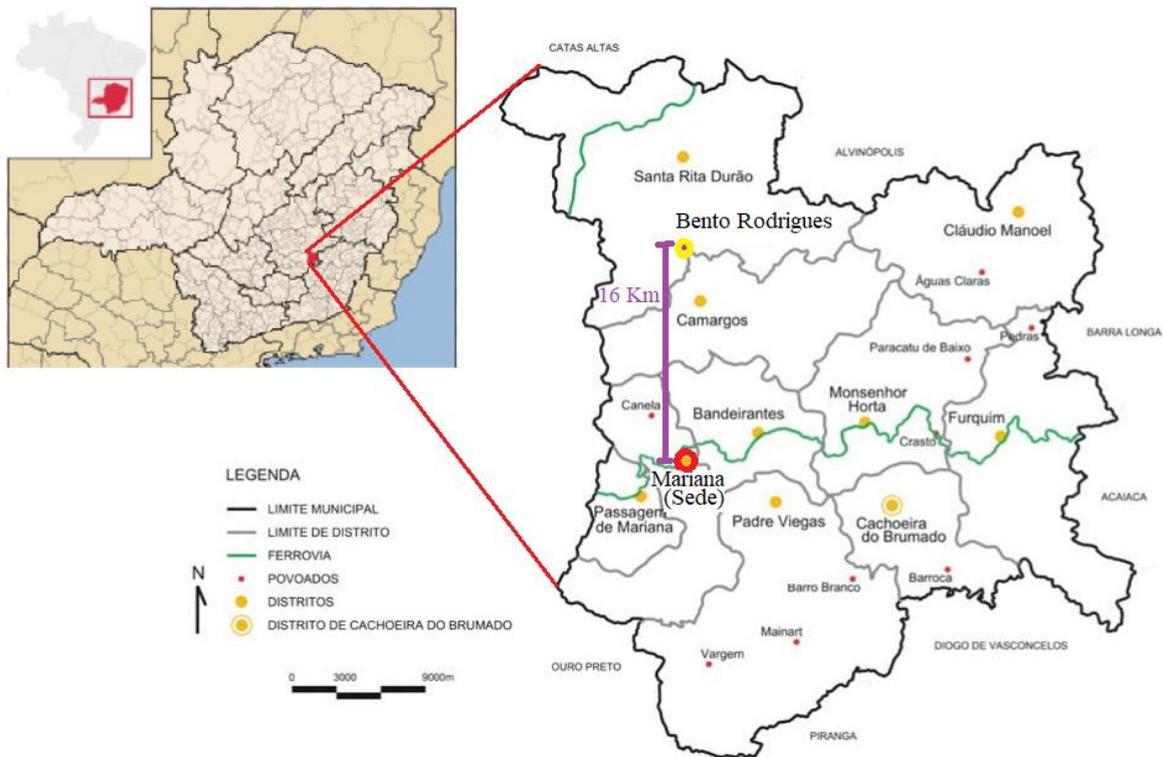


Figura 2- Localização de Bento Rodrigues, Mariana, MG.
Fonte: Adaptado de Guisti (2014).



Figura 3 - Barragem de Fundão, Bento Rodrigues, Mariana, MG.
Fonte: Earth Google (2018)

1.4.2 Análise ambiental e socioeconômica

Para a investigação dos impactos socioambientais foi elaborado um questionário (Anexo) e aplicado a cada representante de um núcleo familiar dos moradores do Distrito de Bento Rodrigues e considerada a análise quali-quantitativa, uma vez que foram registrados dados a partir de observações e análise de cenários, sendo os mesmos analisados de forma interpretativa e associativa, a partir das análises estatísticas consideradas. Foram aplicados 37 questionários e utilizadas ferramentas estatísticas para quantificação, interpretação e análise das respostas. O número de questionários representa uma amostra da população de Bento Rodrigues, a qual foi definida por conveniência, sendo selecionados, arbitrariamente, os elementos da população ora disponíveis. Os dados estatísticos foram considerados para compilação do plano amostral, sendo a amostra considerada probabilística uma vez que todos os indivíduos investigados apresentavam a mesma probabilidade de ser selecionado na amostra.

1.4.3 Análise ambiental da área do distrito de Bento Rodrigues

Com o uso de técnicas de sensoriamento remoto e das imagens dos satélites Sentinel-2, da Agência Espacial Europeia (ESA) e do LANDSAT-8, de origem Norte Americana (National Aeronautics and Space Administration - NASA e United States Geological Survey - USGS), foram elaborados os mapas de uso e cobertura do solo incluindo: Área urbana do distrito de Bento Rodrigues; Agricultura; Pecuária; Indústria; Mineração e Hidrografia. Uma vez que foi utilizada técnicas de sensoriamento remoto para coleta dos dados a partir de imagens de satélites, e extraídas, por meio de observações, informações para comparações e análise de cenários de forma interpretativa e associativa, tal metodologia pode ser considerada como quali-quantitativa. A constelação Sentinel teve início a partir de 2013, sendo as imagens do Sentinel-2 liberadas para acesso somente a partir do ano de 2017. Considerando a necessidade do uso de imagens de satélites no período anterior ao colapso da barragem de Fundão (5 de novembro de 2015), foram utilizadas imagens provenientes do satélite LANDSAT 8. Para a classificação supervisionada das imagens referentes ao distrito de Bento Rodrigues foi utilizado o *software* ArcGIS10.3^R.

1.4.4 Classificação supervisionada, LANDSAT-8

O Landsat-8, foi lançado a partir do ano de 2013, com tempo de revisita de aproximadamente 16 dias, a depender da latitude. Ele produz imagens da Terra com Ground Sample Distance (GSD) máxima de 30 metros e por meio de 11 bandas espectrais. Para a classificação

supervisionada, foi feita a delimitação da região do Distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana (MG). Após a delimitação foram selecionadas quatro bandas espectrais (Tabela 1). Após este processo procedeu-se a classificação supervisionada por meio do *software* ArcGIS10.3^R, no qual são utilizadas cinco classes: corpos d'água, afloramento rochosos, áreas vegetadas, áreas de acúmulo de rejeito/solo exposto e área de mineração.

Tabela 1- Resolução, banda espectral, comprimento e largura de banda

GSD (m)	Banda espectral	Comprimento de onda (nm)	Largura de banda central (nm)
30	B2 (Azul)	496.6	98
	B3 (Verde)	560.0	45
	B4 (Vermelho)	664.5	38
	B5 (Infravermelho próximo)	835.1	145

1.4.5 Classificação supervisionada, Sentinel-2

A missão Copernicus Sentinel atualmente compreende uma constelação de quatro grupos de satélites, sendo o Sentinel-2 composto por dois satélites (A e B) de órbita polar. Lançados a partir do ano de 2013 eles operam em conjunto com objetivo de aumentar a frequência de aquisição de imagens e se encontram na mesma órbita polar sincronizada com o Sol, separados entre si em 180°, o que lhe permite tempo de revisita de cinco dias na linha do Equador cobrindo em conjunto todas as superfícies terrestres, grandes ilhas entre as latitudes 56°S e 84°N, otimizando a cobertura global e a entrega de dados. Em ambos os satélites encontra-se o sensor MultiSpectral Instrument (MSI), que permite o imageamento da superfície da Terra com Ground Sample Distance (GSD) máxima de 10 metros (100 m²) e por meio de 13 bandas espectrais.

Para a classificação supervisionada, delimitou-se o distrito de Bento Rodrigues e, em seguida selecionou-se sete bandas espectrais Sentinel-2, na data de 18 de junho de 2018 (Tabela 2).

Considerando as diferenças em suas GSD's, as bandas foram submetidas ao processo de re-amostragem de pixel. Após este processo procedeu-se a classificação supervisionada utilizando a mesma metodologia, citada anteriormente, adotada para a imagem Landsat-8.

Tabela 2 - Especificações técnicas do sensor MSI a bordo do satélite Sentinel-2A

GSD (m)	Banda espectral	Comprimento de onda (nm)	Largura de banda central (nm)
10	B2	496.6	98
	B3	560.0	45
	B4	664.5	38
	B8	835.1	145
20	B11	1613.7	143
	B12	2202.4	242

CAPÍTULO 2- RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 ANÁLISE DO ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) E DO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA) DA BARRAGEM DE FUNDÃO

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) a ele associado são exigências legais instituídas pelo CONAMA N° 001/86 (Machado, 2005). Segundo esse mesmo autor, para obter o licenciamento para a atividade de mineração, o empreendedor, ou a empresa deve providenciar um estudo de impacto ambiental e a partir deste apresentar um relatório de impacto ambiental em cada fase do empreendimento: Licença Prévia, de Implantação e de Operação. A Constituição Federal de 1998, no seu artigo 225, tornou obrigatório a realização prévia de EIA. O referido artigo incumbe o Poder Público a *“exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que dará publicidade”*.

O EIA-RIMA da barragem de Fundão, localizada na Mina do Germano, no município de Mariana em Minas Gerais foi apresentado em 2005. A licença de operação (LO) foi obtida em 2008. Atividade objeto do licenciamento: barragem de contenção de rejeitos/resíduos, classe 5, sendo o maciço construído com a utilização do próprio rejeito arenoso como material de empréstimo (Wanderley, 2016).

Segundo Wanderley *et al.* (2016) vários problemas estavam presentes no EIA-RIMA da barragem, referentes ao local escolhido para implantação da barragem. Ou seja, de acordo com os autores, haviam três alternativas locais para a instalação da barragem de rejeitos: vales dos córregos do Fundão (escolhido); Natividade (área de RPNN e sítio arqueológico; e Brumado (área planejada para futura barragem). No entanto, Fundão representava para a SAMARCO a opção mais viável financeiramente, pois localizava-se entre a barragem de Germano e a barragem de Santarém, e já havia um sistema interligado entre as barragens de Germano e Santarém. Desta forma, foi selecionada a opção menos viável do ponto de vista técnico, considerando a possibilidade de produção de impactos cumulativos em caso de rompimento da barragem de Fundão por ser a única que apresentava possibilidade de drenar, diretamente, em direção ao subdistrito de Bento Rodrigues com carreamento dos rejeitos para a barragem de Santarém com consequente efeito cumulativo, “dominó”, sobre a mesma microbacia.

Acerca das alternativas técnicas, Wanderley *et al.* (2016) também destacaram o fatalismo da barragem, ou seja, não foi apresentada qualquer alternativa tecnológica para destinação do rejeito, apenas uma tecnologia construtiva da barragem. Foram encontrados nos estudos florísticos

realizados representantes de quatro espécies listadas como ameaçadas de extinção na Instrução Normativa, Ministério do Meio Ambiente - MMA, nº 6, de 23 de setembro de 2008 (Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção): *Dalbergia Nigra* (jacarandá-caviuna, jacarandá-da bahia), *Ocotea odorífera* (canela sassafrás) (*Euterpe edulis* (palmito-jussara) e *Dicksonia sellowiana*. (Xaxim-imperial)

2.2 ÁREA DO DISTRITO DE BENTO RODRIGUES ANTES DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM

Na Figura 4 pode ser visualizada uma imagem (cor verdadeira do satélite IKONOS; *red* = 4, *green* = 3, *blue* = 2), do Distrito de Bento Rodrigues, pertencente ao município de Mariana-MG, que foi obtida em 16 de julho de 2007, antes do colapso da barragem de Fundão.



Figura 4 - Vista aérea do distrito de Bento Rodrigues antes do rompimento da barragem
Fonte: Laboratório de Meteorologia Agrícola da EPAMIG-Sudeste (2018).

É possível visualizar nesta figura diversas construções, cursos d'água e áreas vegetadas. Havia na área dois campos de futebol para lazer comunitário, um inserido na área do distrito de Bento Rodrigues, e outro fora da área do distrito, bem como igreja, escola e outras construções além do conjunto de ruas, dos córregos Santarém e Ouro Fino e do rio Gualaxo do Norte, dentre outras drenagens de menor porte. Havia área de plantio, homoganeamente espaçada, com cultivo não identificada e pelo menos dois afloramentos rochosos, áreas vegetadas de grande porte, áreas de pastagens e áreas degradadas, bem como a presença de vegetação escassa nas margens dos rios. Não foi possível identificar e especificar os tipos de cultivos por desconhecimento do padrão visual digital de cada cultura, mas na localidade de Bento Rodrigues os associados da Cooperativa de Hortifrutigranjeiros de Bento Rodrigues cultivavam pimenta-biquinho.

Na Figura 5 é apresentada a área da barragem de Fundão localizada próximo a Bento Rodrigues e, na Figura 6 a imagem somente de Bento Rodrigues, ambas imagens em momento posterior ao rompimento da barragem.



Figura 5 - Área de mineração próximo a Bento Rodrigues.

Fontes: Google Earth; Laboratório de Meteorologia Agrícola da EPAMIG-Sudeste (2018)



Figura 6 - Imagem de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem.
Fontes: Google Earth; Laboratório de Meteorologia Agrícola da EPAMIG-Sudeste (2018)

2.2.1 Imagens de satélite supervisionada (LANDSAT-8 e Sentinel-2 e) após o rompimento da barragem

Na Figura 7, é apresentado o mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues, também após o rompimento da barragem, obtido do satélite LANDSAT-8 no dia 10 de novembro de 2015, ou seja, cinco dias após o colapso da barragem de Fundão. Nesta imagem pode ser observado o distrito de Bento Rodrigues submerso na lama de rejeitos da mineração, após o colapso da barragem. Ressalta-se que devido as características da qualidade das imagens LANDSAT-8, não é possível diferenciar rejeitos de mineração e solo exposto.

Na Figura 8, está representado o mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues, realizado com base na imagem do satélite Sentinel-2 obtida no dia 29 de junho de 2018, ou seja, aproximadamente três anos após o rompimento da barragem. Nela pode-se observar após o colapso da barragem, o predomínio e o acúmulo de rejeitos de mineração e o comprometimento de Áreas de Preservação Permanente –APP (vegetadas, córregos e rio, drenagens de menor porte) e afloramentos.

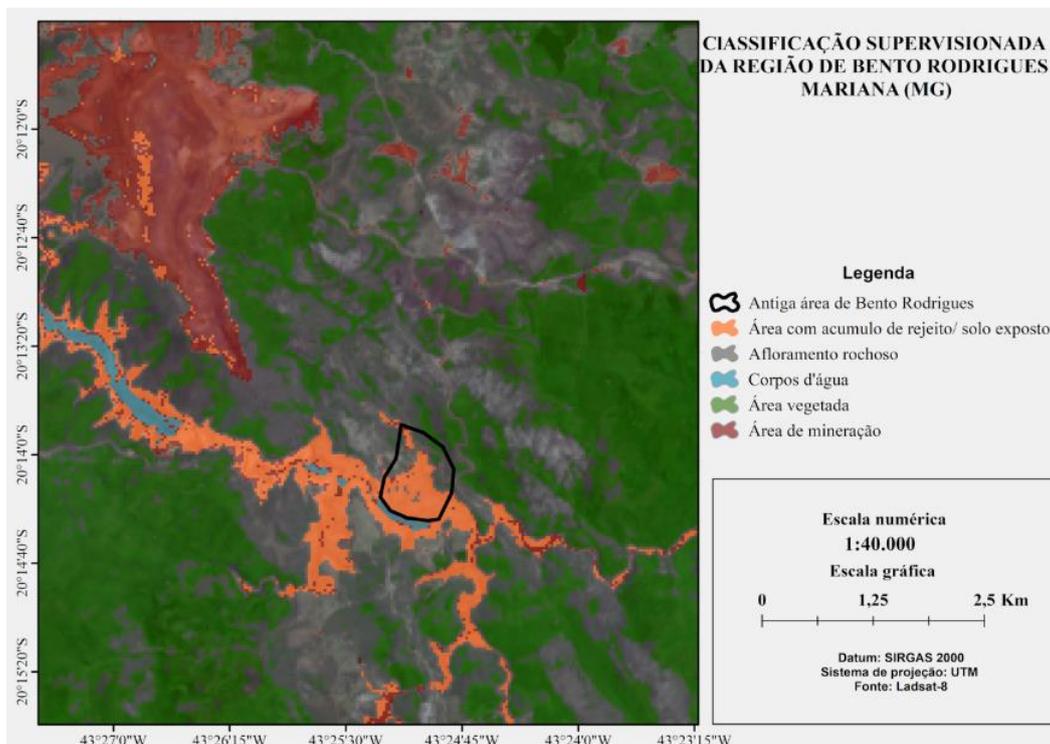


Figura 7 - Mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem (Imagem LC08 L1TP 217074 20151011 20170403, do satélite LANDSAT-8).

Fonte: Laboratório de Meteorologia Agrícola da EPAMIG-Sudeste. Autoria: Williams Pinto Marques Ferreira (Coordenador); Humberto Fonseca, Thalytha Varejão Miranda e Jeanette Silva Valeriano

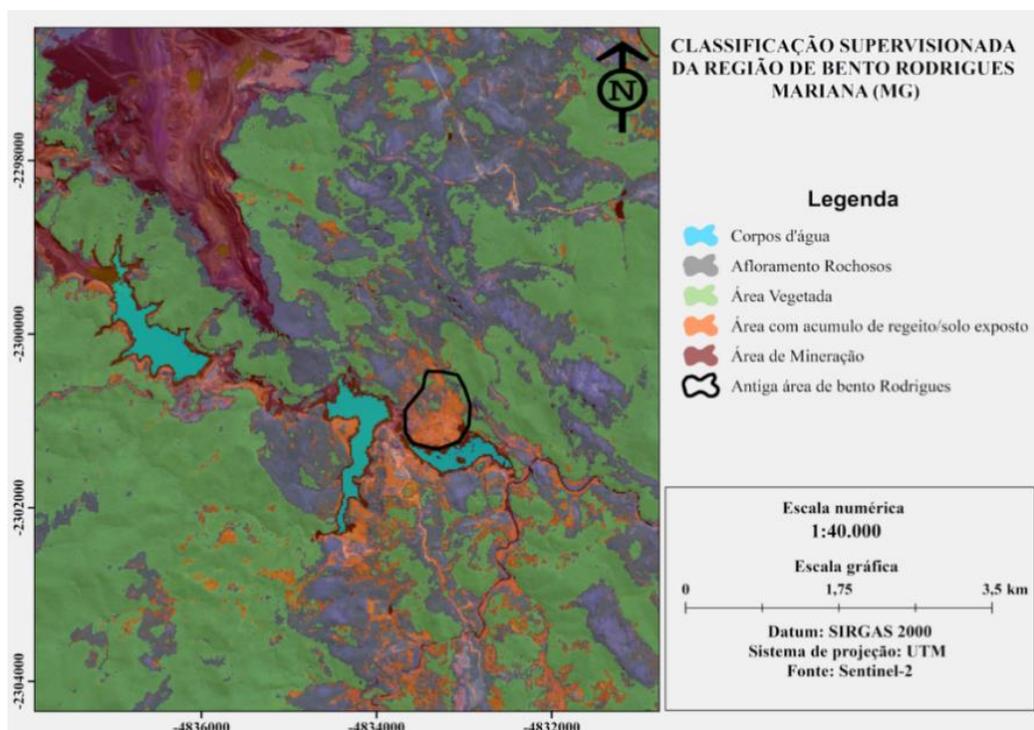


Figura 8 - Mapa de classificação supervisionada de Bento Rodrigues após o rompimento da barragem (Imagem S2A MSIL1C 20180629T130241 N0204 R095 T23KQS 20170129T130739, satélite Sentinel-2).

Fonte: Laboratório de Meteorologia Agrícola da EPAMIG-Sudeste. Autoria: Williams Pinto Marques Ferreira (coordenador); Humberto Fonseca, Thalyta Varejão Miranda, Jeanette Silva Valeriano.

Pode-se também observar o início da regeneração dos cursos d'água, entre os anos 2015 a 2018, e na área destinada à mineração houve o aumento da área com acúmulo de rejeitos, em função do espalhamento dos mesmos. Resultados semelhantes foram descritos pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA, no qual o desastre tecnológico foi responsável pela destruição de 1.469 ha ao longo de 77 km de cursos d'água incluindo as Áreas de Preservação Permanente-APP (IBAMA, 2015). As APPs têm a função ambiental de preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, de proteção do solo, assegurando o bem-estar dos seres vivos (das populações humanas), além de impedir o assoreamento dos cursos d'água. As APPs exercem as funções ecológicas de manutenção da biodiversidade local e proteção das margens ribeirinhas contra a erosão, assoreamento e poluição dos cursos d'água, bem como a função de barreira física de proteção da população em seu entorno evitando a dispersão dos sedimentos fluviais pulverulentos (BRASIL, 2012).

Com relação aos danos na qualidade e disponibilidade da água monitorada e analisada pelo IGAM e pela COPASA, no relatório final do Grupo da Força-Tarefa do governo do Estado de Minas Gerais, Agência Minas (2016), é destacado que os efeitos mais gerais sobre a água ocorreram em todo o curso d'água, a partir do local de rompimento da barragem até o litoral do Espírito Santo. Aspectos como turbidez, alterações físico-químicas, e grau de impacto nas nascentes foram analisados e concluiu-se que a água bruta apresentava turbidez e características físico-químicas discrepantes em relação à média histórica, bem como fora dos padrões estipulados pelas normas para consumo.

Em várias localidades, no subdistrito de Bento Rodrigues, situado na bacia do Rio Gualaxo do Norte, à margem do Rio Gualaxo do Norte, o fluxo de lama de rejeitos soterrou uma área estimada de 27,9 km², sendo 6,3 km² de área de APP ao longo dos Córregos Santarém, Rio Gualaxo do Norte e afluentes (Fernandes, 2017). Logo, a modificação da paisagem foi promovida pela sedimentação nos cursos d'água pela lama e os rejeitos de mineração causando assoreamento e, conseqüentemente, as variações em suas profundidades seguidas das mudanças nos cursos de córregos e rios, bem como também o soterramento de nascentes e a conseqüente poluição dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos).

De acordo o relatório final do Grupo da Força-Tarefa do governo do Estado de Minas Gerais, Agência Minas (2016), as modificações desencadeadas pelo desmoronamento da barragem de Fundão afetaram o relevo que foi remodelado durante o processo de descida da lama de rejeitos da mineração. No relatório é mencionado também que o ravinamento desencadeou processos

erosivos e, no período chuvoso o carreamento de sedimentos se intensifica atingindo os rios, contribuindo no somatório dos processos de assoreamento. Tais modificações ocorreram inclusive nos fundos de várzea, nas planícies aluviais e nas áreas de colúvio. A lama de rejeitos de mineração ao alcançar a calha e margens dos rios alteraram a morfologia dos mesmos. Tudo isso afetou o padrão, a sinuosidade, e a dinâmica dos rios atingidos pelos sedimentos decorrentes do colapso da barragem do Fundão.

O colapso da barragem de Fundão promoveu a destruição de ecossistemas e sua biodiversidade, danos à flora, à fauna, à ictiofauna (conjunto de espécies de peixes que habitam determinada região hidrográfica) comprometendo o equilíbrio dos cursos d'água atingidos, desestruturando a resiliência do sistema. Ao atingir os ambientes aquáticos, a lama e os rejeitos de mineração causaram a morte de invertebrados, répteis e anfíbios. Os peixes foram dizimados pela ausência do oxigênio dissolvido na água, pela obstrução das brânquias e pela extinção de sua cadeia alimentar. Destaca-se também a evasão de animais silvestres e aves que habitavam a localidade antes da ruptura da barragem.

Segundo a EMBRAPA (2016) ocorreram modificações nos fundos de várzea, nas planícies aluviais e nas áreas de colúvio. De acordo com Brasil (2015), também ocorreram modificações na linha do talvegue, com conseqüente alteração do curso do rio, e assim, a dinâmica fluvial, ainda não havia sido restabelecida.

Quanto à vegetação, a devastação concentrou-se nas matas ciliares remanescentes. A passagem da lama arrancou árvores e a vegetação herbácea, soterrou e, ou, levou a serrapilheira e bancos de sementes presentes. Dessa forma, os ecossistemas atingidos pelo desastre, nesse primeiro trecho (escala microrregional), tiveram sua resiliência e processos de sucessão muito comprometidos. De acordo com Coelho (2016), havia a necessidade de mapeamento e monitoramento de quase 15 km² de vegetação diretamente atingida pela lama.

De acordo com o laudo técnico do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA (2015), a vegetação regional do trecho atingido pelos rejeitos de mineração da barragem de Fundão caracteriza-se dentro do domínio fitogeográfico da Floresta Atlântica. Apesar desta região encontrar-se dentro do mesmo domínio vegetacional, duas grandes fitofisionomias são evidenciadas: a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Densa.

Também pode-se observar na Figura 8 que toda a área do Distrito de Bento Rodrigues (destacado por linha sólida preta) é identificada pela presença de acúmulo de rejeitos/solo exposto e a visualização de vestígios remanescentes de vegetação, revelando a conseqüente destruição das

ruas do distrito, igreja, escola, edificações, campo de futebol. A ruptura da barragem de Fundão desencadeou profundas transformações na constituição e na dinâmica do solo. Desta forma, o solo foi afetado em sua dinâmica ambiental pelo reposicionamento das rochas, um dos principais fatores de sua formação. O relevo foi remodelado durante o processo de escoamento da lama de rejeitos da mineração, com a deposição de material não consolidado nas baixadas, o revolvimento do solo, a fragmentação das rochas, a mudança de matações de seus lugares para outros. A mistura de todos os sedimentos oriundos de gêneses e locais variados foram alteradas em sua estrutura física e a composição química dos solos.

Ainda com relação a remodelação do relevo durante o processo de escoamento da lama de rejeitos da mineração Highland e Bobrowsky (2008) citam a ocorrência do ravinamento, ou seja, depressão do solo, que resulta em aumento da intensidade de processos erosivos. No período chuvoso o carreamento de sedimentos intensifica-se com conseqüente comprometimento dos rios, o que contribui no somatório dos processos de assoreamento. Desta forma, tem-se a redução da capacidade natural do rio de transportar partículas em suspensão.

Resultados de análises químicas e físicas de sedimentos realizadas nas amostras coletadas ao longo do vale dos rios atingidos pelos rejeitos da mineração são relatados a seguir: Os teores de argila nos solos foram de apenas 10% sendo que os teores de areia fina e silte representaram 90% da fração terra fina (< 2 mm), o que indica que o material depositado apresenta homogeneidade granulométrica. Com baixos teores de argila, há redução significativa da capacidade de troca catiônica do solo o que resulta em baixa fertilidade. A fração argila apresentou em sua composição mineralógica a goetita, caulinita, quartzo, hematita e gibsita. Na fração areia, observou-se quartzo e fragmentos de concreções ferruginosas (hematita, Magnesita e ilmenita), além de fragmentos, em menor ocorrência, de rochas xistosas (MINAS GERAIS, 2016).

O adensamento das partículas após o secamento era, consideravelmente, alto (EMBRAPA, 2015), o que sugere uma barreira física de alta densidade (concreções ferruginosas).

Em estudo realizado sobre a incidências de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito, Carvalho (2018) concluiu que conhecer o tipo de rejeito é de grande relevância ao se analisar os impactos sob os meios físicos e bióticos.

Em estudo realizado por Freitas *et al.* (2016) na busca da redução substancial dos riscos de desastres e impactos ambientais, sanitários e socioeconômicos no Brasil, foi identificado que os impactos ambientais em escala microrregional comprometeram o solo, cobertura vegetal e rios. A degradação da qualidade do solo: os rejeitos sedimentados, mesmo não sendo tóxicos dificultam a

infiltração da água e comprometem a quantidade de matéria orgânica necessária para a vida microbiana do solo, afetando as condições de germinação das sementes e o desenvolvimento radicular das plantas, comprometendo a diversidade genética das áreas ciliares.

Na Figura 9, é apresentada as imagens LANDSAT-8 em período anterior (ano de 2015) e posterior (ano de 2018) ao colapso da barragem de Fundão. Nela está representada a bacia do rio Gualaxo do Norte (BHGN) na qual pode ser identificado que as áreas de APP foram impactadas após o desastre tecnológico da barragem de Fundão. A partir da análise realizada, utilizando a ferramenta Raster Calculator do *software* ArcGIS 10.3^R, foi identificado que os rejeitos de minério, que fluíram ao longo do rio Gualaxo do Norte, invadiram ambas margens do Rio Gualaxo do Norte, em média por 200 m, sendo que a área máxima invadida foi de, aproximadamente, 316 m de distância. Também com o uso do *software*, foi identificado que nas partes meândricas ao longo do rio, o rejeito de minério apresentou maior acúmulo, com maior invasão sobre as margens, devido, possivelmente ao menor arraste de sedimentos provocado pela perda de velocidade do fluxo de rejeitos nas partes com maior sinuosidade.

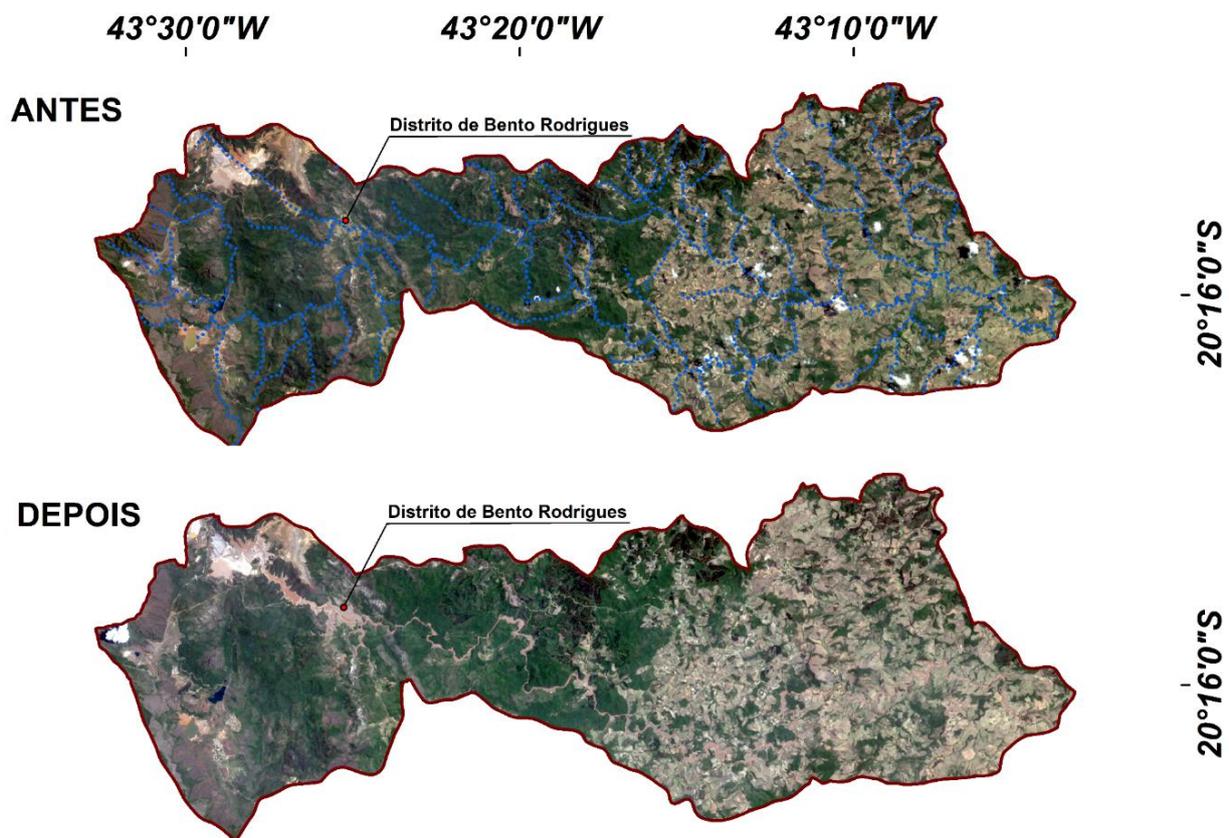


Figura 9- Imagens LANDSAT 8 da bacia do Rio Gualaxo do Norte nos anos de 2015 e de 2018, respectivamente, antes e depois do colapso da barragem de Fundão.

Fonte: LANDSAT-8 (2015)

Considerando a análise das Figuras 5 e 6 do Google Earth (espectro visível) e as Figuras 7 e 8, de uso e cobertura da área atingida no Distrito de Bento Rodrigues, os principais impactos ambientais identificados foram o acúmulo de rejeitos nos leitos dos rios, a destruição das APP's (áreas vegetadas, córregos e rio além das drenagens de menor porte), mudança das características dos corpos hídricos motivados pelo aumento da turbidez, revelando o aumento sedimentos fluviais pulverulentos e, conseqüentemente, a poluição dos cursos d'água. A identificação da predominante presença de acúmulo de rejeitos/solo exposto na área do Distrito de Bento Rodrigues revela, conseqüentemente, impacto ambiental causando danos sobre a biodiversidade local, além de danos as ruas do distrito, igreja, escola, edificações de modo geral, campo de futebol, entre outros.

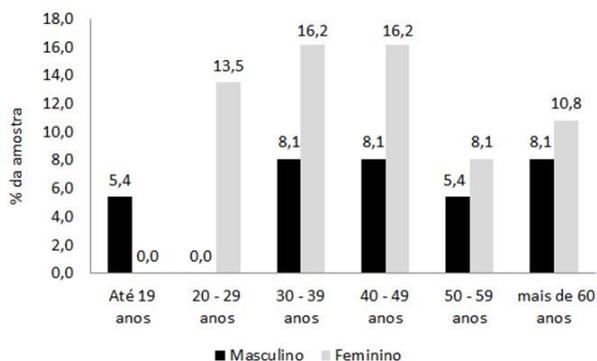
De acordo com (Freitas et. al., 2016), as ações de mitigação e recuperação ambientais no curto prazo, tendo como fonte principal o relatório da força tarefa de Minas Gerais são: definição de fontes alternativas de água prevendo a vigilância da qualidade para consumo humano; o zoneamento ecológico ambiental dos rios e suas margens e recomposição da mata ciliar em toda a bacia com ênfase no âmbito microrregional; concepção de um sistema de previsão de eventos críticos (cheias e poluição ambiental) na bacia do rio Doce, mitigação dos efeitos das cheias e enfrentamento de desastres. As demais ações estão relacionadas ao monitoramento e recuperação do solo e levantamento de fauna e flora para avaliação dos impactos e para subsidiar medidas para a proteção e recuperação da biodiversidade.

2.3 ANÁLISE QUANTITATIVA DO RELATO DOS MORADORES ATINGIDOS

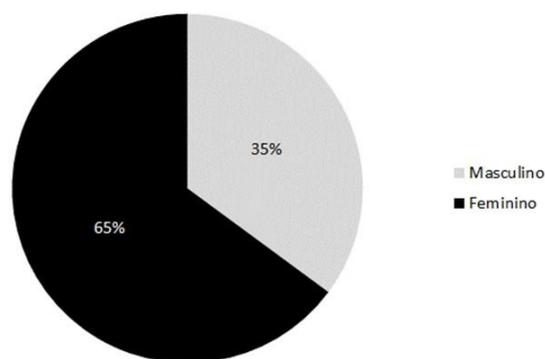
Foram entrevistadas, de forma aleatória, 37 pessoas atingidas entre 19 e acima de 60 anos. A seguir são apresentados os resultados, em formato gráfico, considerando as questões apresentadas na seguinte ordem: Identificação; Trabalho e Renda; Família; Acidente Tecnológico; Situação familiar atual; Relação com a empresa.

Na Figura 10 são apresentados os gráficos relativos as respostas presentes no questionário acerca da identificação das pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão.

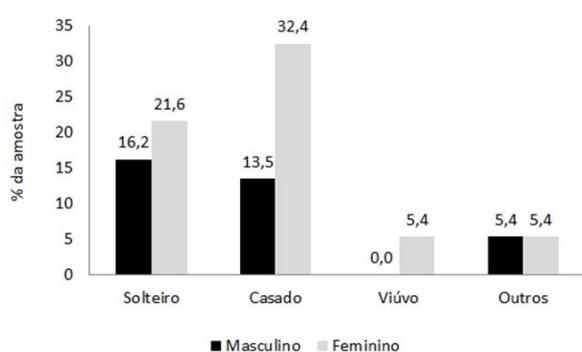
Faixa etária



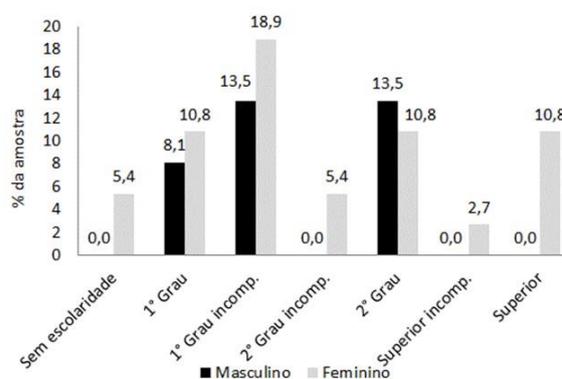
Sexo declarado pelas pessoas



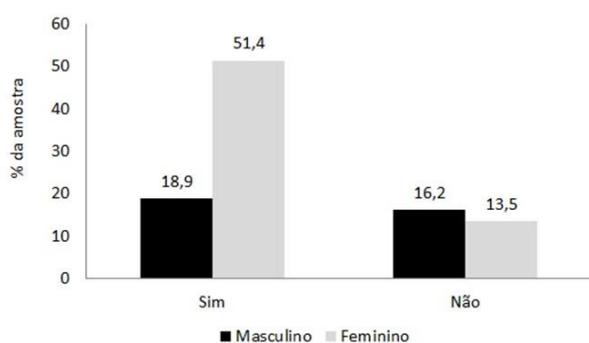
Estado civil



Grau de escolaridade



Naturalidade



Tempo de residência

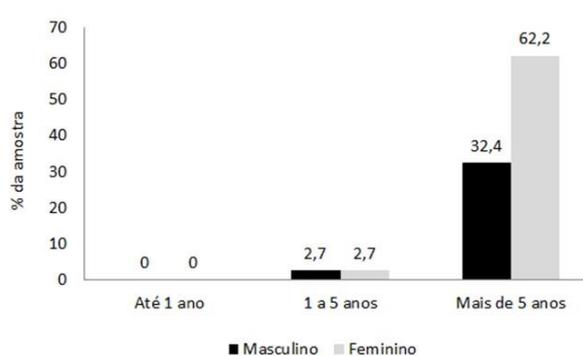


Figura 10- Identificação considerando o estado civil, a faixa etária, a naturalidade e o tempo de residência declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão
Fonte: A autora (2019)

Com relação à residência e tempo de residência em Bento Rodrigues, todos os entrevistados, mulheres e homens, foram unânimes nessa resposta: residiam em Bento Rodrigues, sendo que a maioria declarou residir no distrito por tempo superior a cinco anos (Figura 11). Nesta Figura são

apresentados os gráficos referentes as respostas presentes no questionário com respeito aos trabalhos desenvolvidos e rendas obtidas pelas pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão.

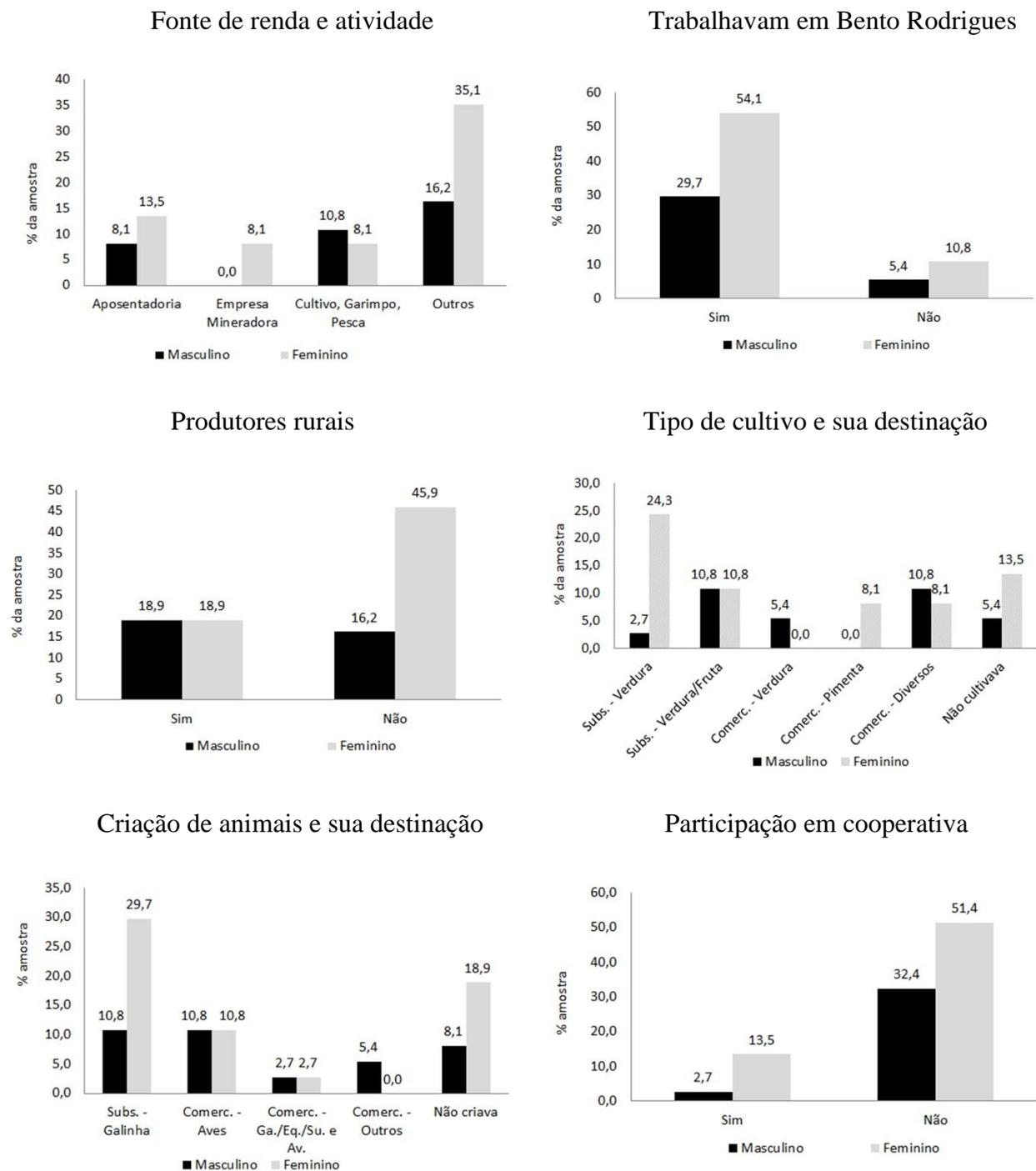


Figura 11- Trabalho e Renda declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão, considerando a dependência da renda; se trabalhava ou não no distrito; se era produtor rural; se cultivava a terra e a finalidade do cultivo; se criava animais.

Fonte: A autora (2019)

Na Figura 12 são apresentados os gráficos referentes as respostas presentes no questionário voltadas as características das famílias das pessoas atingidas pelo colapso da barragem do Fundão.

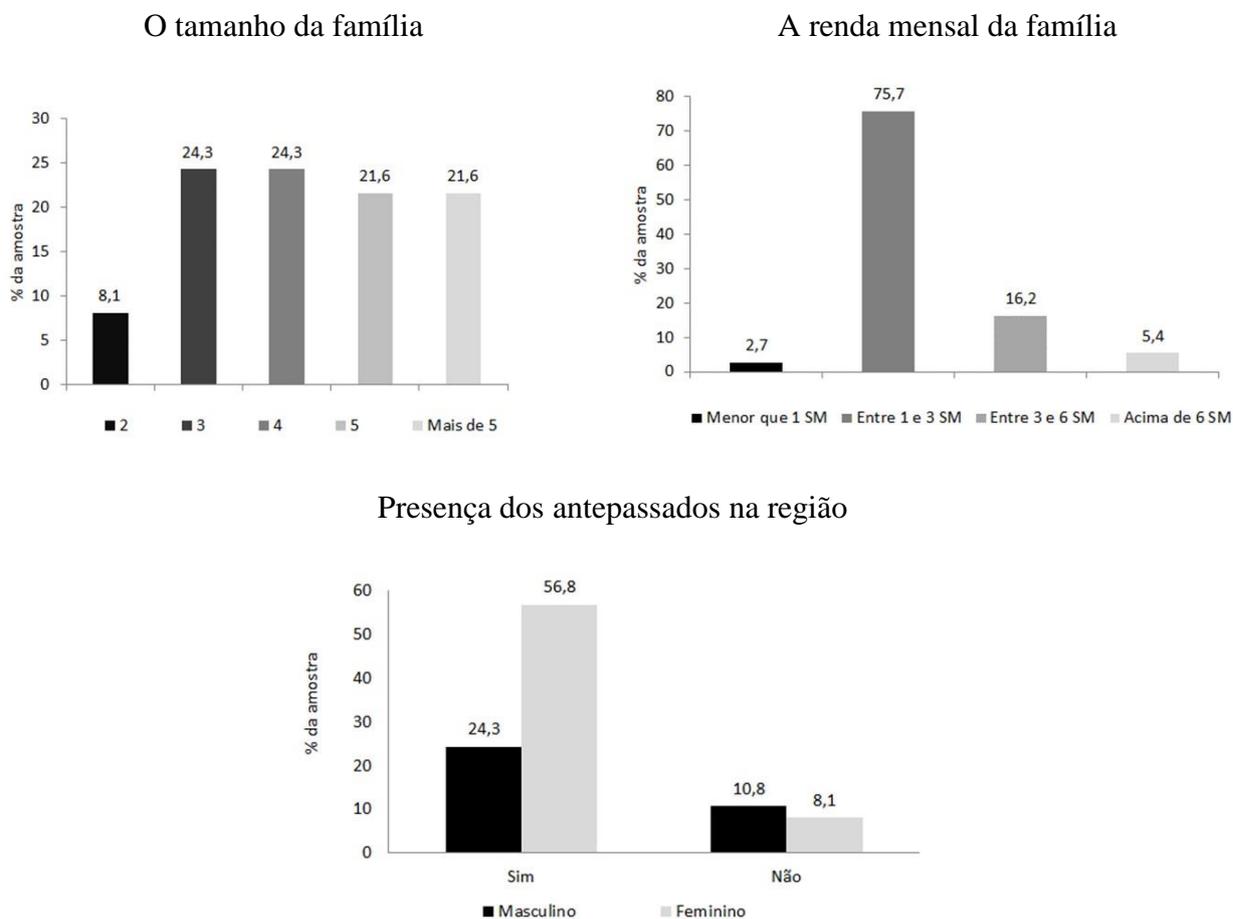


Figura 12- Características das famílias considerando o número de pessoas que moravam juntas em uma residência, a renda mensal daquela família e a presença, ou não, de antepassados residindo na região atingida pelo colapso da barragem do Fundão.

Fonte: A autora (2019)

Na Figura 13 são apresentados os gráficos referentes as respostas presentes no questionário relacionadas ao acidente e as perdas decorrentes do colapso da barragem do Fundão.

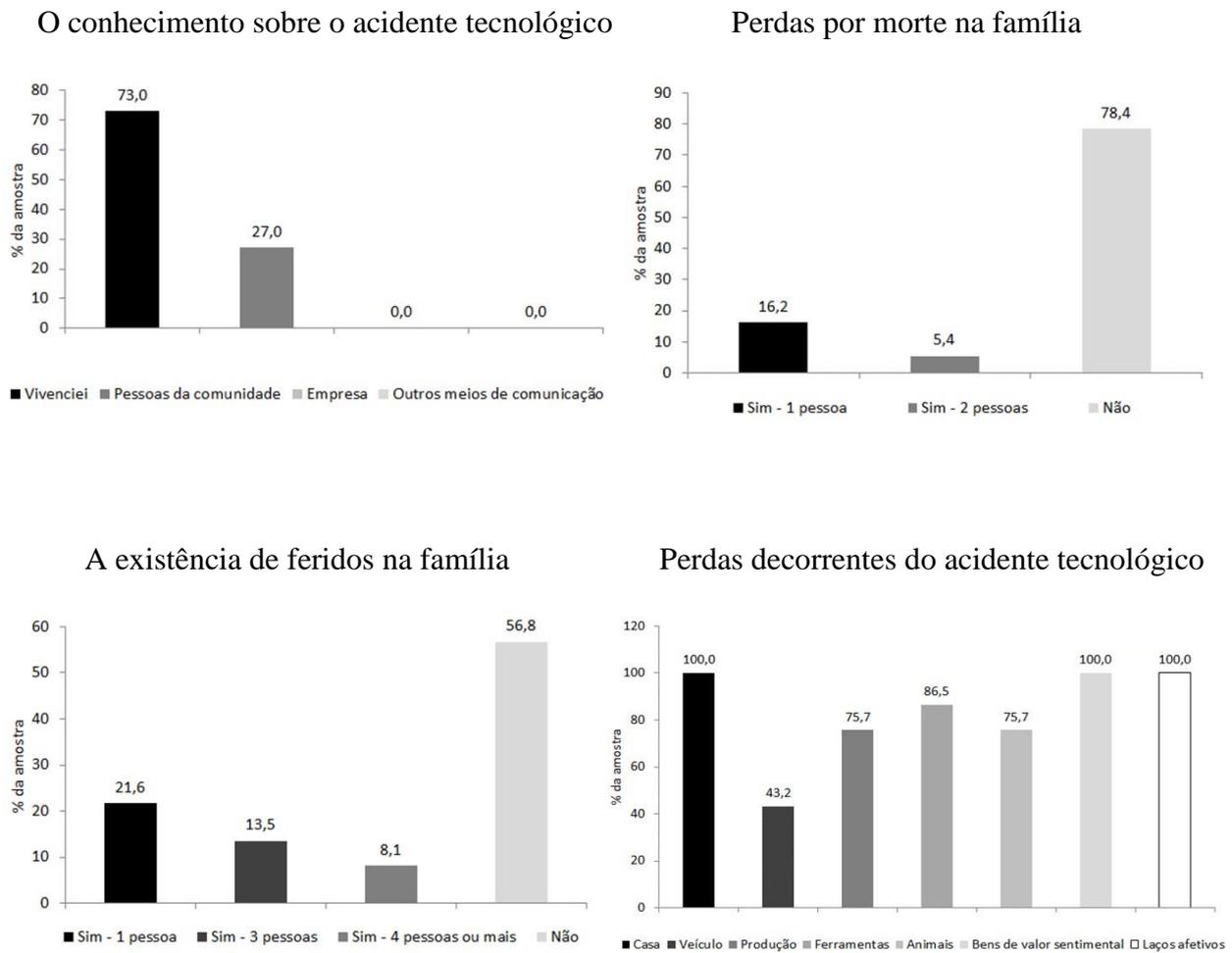


Figura 13- Declarações referentes as consequências diretas do acidente tecnológico, desde o conhecimento do mesmo até as perdas por morte, ocorrência de feridos e perdas materiais e de valores de ordem sentimental declarado pelas pessoas atingidas pelo colapso.

Fonte: A autora (2019)

Na Figura 14 são apresentados os gráficos referentes as respostas presentes no questionário alusiva a situação de vida familiar das pessoas atingidas após o acidente tecnológico ocorrido na barragem do Fundão.

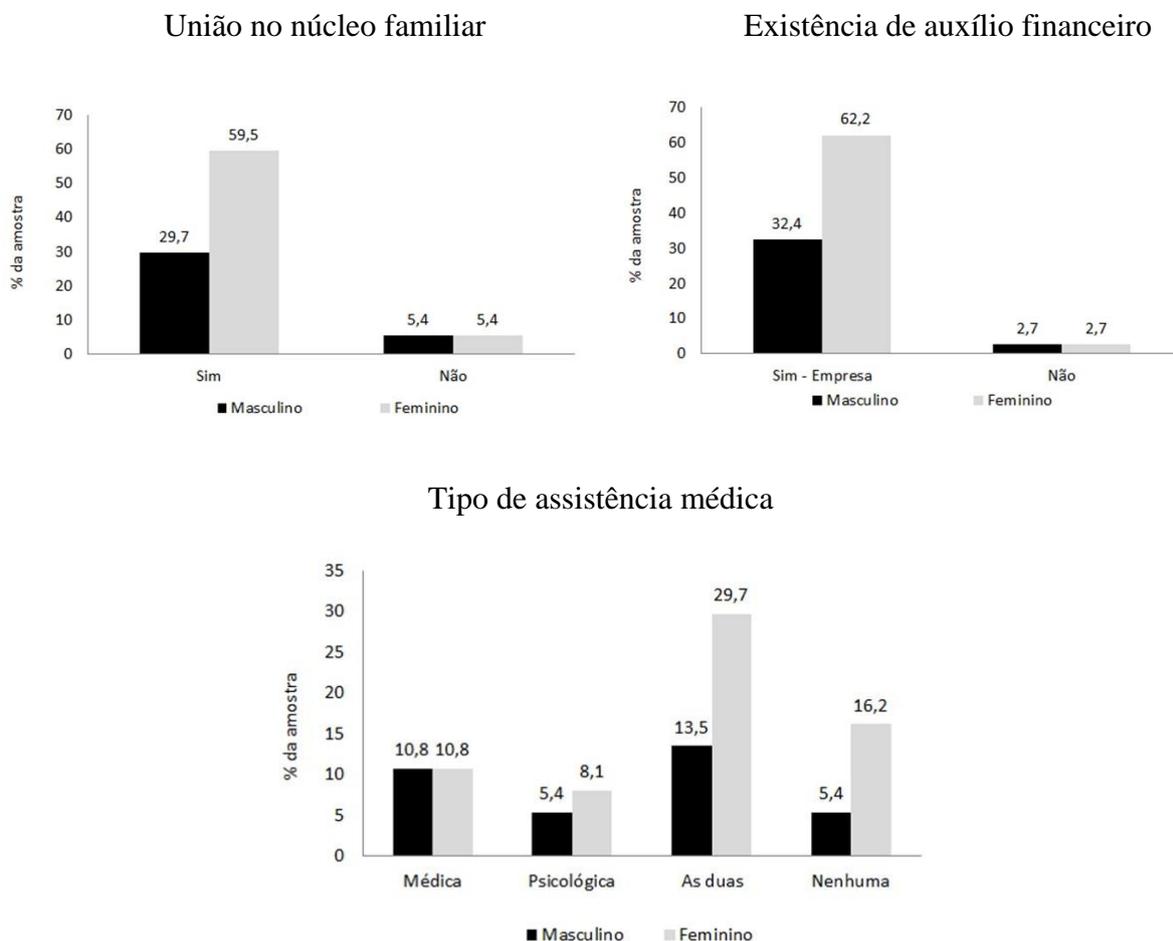


Figura 14 - Declarações dos atingidos pelo colapso da barragem do Fundão acerca da permanência de união da família; do recebimento de algum tipo de auxílio financeiro e a origem do mesmo quando existir, bem como do recebimento de assistência médica e psicológica.

Fonte: A autora (2019)

Em resposta às perguntas descritas anteriormente, todos os entrevistados responderam que não houve nenhum tipo de orientação prévia sobre os riscos e impactos causados em caso de rompimento da barragem, nem sobre os procedimentos que deveriam realizar para evacuar a área na iminência do rompimento da barragem, bem como também não houve nenhuma orientação para a população de como agir no momento da ocorrência do desastre tecnológico. Foi adicionalmente sempre comentado pelos entrevistados a inexistência de qualquer sistema de alerta para ajudar a evitar a tragédia que atingiu a comunidade do Distrito de Bento Rodrigues.

De maneira geral o estudo de caso realizado no presente trabalho acerca dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes do colapso da barragem de fundão refletem a necessidade da maior presença do Estado exercendo seu papel como agente controlador e fiscalizador de modo eficaz. Lacaz et al. (2017) citam, em estudo realizado no evento de desmoronamento da barragem de Samarco, que a ineficiência da ação do Estado revela a vulnerabilidade da população atingida, esmagada por um modelo de desenvolvimento que fragiliza a organização coletiva, a representatividade social e a capacidade política de fazer valer seus direitos. Segundo os autores, as apurações acerca das responsabilidades, as ações de indenização, as medidas de recuperação dos danos socioambientais, ocupacionais e sanitários poderão não atender de forma justa e satisfatória os interesses coletivos dos trabalhadores e familiares, bem como de toda a população atingida, enfatizando a necessidade de um amplo processo de mobilização social a fim de recuperar a dignidade e os direitos violados por esse acidente tecnológico.

Outro aspecto a ser observado são as mudanças que devem ocorrer na atual legislação de modo a contribuir para o aperfeiçoamento da segurança nos processos que envolvem a exploração de minérios no Brasil. Tais mudanças devem ocorrer e, principalmente, serem obedecidas pelas empresas as quais, segundo Lopes (2016), por vezes ignoram laudos que alerta sobre falhas na construção e na manutenção da barragem, demonstrando evidente descaso e assumindo os riscos das tragédias anunciadas.

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, com base nos resultados obtidos a partir das respostas dos moradores de Bento Rodrigues que foram entrevistados, observa-se que os danos causados, principalmente ao patrimônio imaterial, das pessoas da comunidade, foi o que mais impactou a população. Outro aspecto destacado pelos moradores é referente aos danos materiais e morais, ou quais segundo os atingidos que foram entrevistados, ainda não foram totalmente solucionados.

Com base na Figura 11 pode ser observado a fonte de renda e as atividades realizadas na localidade de Bento Rodrigues por seus habitantes, produtores rurais em sua maioria. Nesse espaço amostral, além dos criadores de animais, participantes de cooperativas, pescadores, garimpeiros, trabalhadores da empresa mineradora, dentre outros profissionais, após o desastre tecnológico todos foram impedidos de exercer suas atividades E tiveram sua fonte de renda destruída, além da

impossibilidade de continuarem a residir na comunidade, a qual foi devastada pelo acidente tecnológico, fato esse que os obrigou a buscar novas localidades para estabelecer nova residência.

A partir da Figura 12 é possível identificar que a maioria dos entrevistados destacam em relação aos seus núcleos familiares (constituídos em média entre três a seis pessoas) que tinham como referência a presença dos seus antepassados na região, fato esse que evidencia a intensidade dos laços afetivos entre os moradores e revela que, além da amizade e do grau de parentesco, o sentimento de pertencimento a terra e suas tradições familiares, comunitárias, culturais, religiosas, de lazer; foram todas comprometidas pelo acidente tecnológico.

Considerando as consequências diretas do acidente tecnológico, na Figura 13 é possível identificar que a grande maioria das pessoas atingidas vivenciaram a tragédia, e as que disseram ter sido avisadas do rompimento da barragem de Fundão relataram que o aviso ocorreu por meio de pessoas da própria comunidade, destacando que a SAMARCO, empresa responsável pela barragem de Fundão, e outros meios de comunicação não emitiram nenhum tipo de aviso de alerta de desmoronamento da barragem, evidenciando assim, falhas no sistema de segurança por parte da mineradora, fato esse que culminou na devastação da comunidade de Bento Rodrigues com perdas de vidas humanas, ocorrência de pessoas feridas e danos irreversíveis para o meio ambiente.

Com base na Figura 14 pode ser observado que a maior parte dos atingidos mencionou sobre a união de seus núcleos familiares após a tragédia, que recebem algum tipo de auxílio financeiro bem como assistência médica e, ou, psicológica, o que evidencia a existência de traumas após o acidente tecnológico.

No questionário aplicado aos atingidos foi perguntado se a empresa havia comunicado à Comunidade de Bento Rodrigues sobre: o risco de rompimento da barragem de Fundão; os impactos que poderiam ser causados pelo rompimento; procedimentos a serem tomados caso houvesse rompimento da barragem; se a comunidade recebeu treinamento de como sair da área caso houvesse iminência de rompimento da barragem. Como resposta todos os entrevistados responderam que a Comunidade de Bento Rodrigues não recebeu nenhum comunicado sobre risco de rompimento da Barragem de Fundão, nem sobre impactos que poderiam advir pelo rompimento, tão pouco sobre procedimentos a serem tomados caso houvesse o rompimento da barragem, disseram também que a comunidade não recebeu treinamento de como evacuar da área, caso houvesse iminência de rompimento da barragem.

Outro aspecto evidenciado no presente trabalho é que a geologia estrutural e a morfologia atual da região ajudam a revelar os danos irreversíveis à paisagem do Distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, decorrentes do desastre tecnológico do colapso da barragem de Fundão.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA), realizado para a barragem de Fundão, considerando as bibliografias consultadas, não foi efetivo de tal modo que a população e o meio ambiente foram totalmente afetados após o desastre tecnológico. Assim, considerando a não apresentação prévia de qualquer alternativa tecnológica para destinação dos rejeitos de minério, o possível colapso da barragem de Fundão ocorreu causando consequências socioambientais e econômicas desastrosas.

Os prejuízos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão são: 1) Solo impermeabilizado com ausência de matéria orgânica e falta de nutrientes necessários; 2) Comprometimento da tentativa de resiliência e de sucessão por parte da vegetação; 3) Assoreamento das margens dos cursos d'água e de nascentes; 3) Aumento do nível de turbidez da água causado pelo fluxo de rejeitos e detritos e pela erosão do solo; 4) Aumento da turbidez da água, impedimento da entrada da luz solar e, conseqüentemente, inviabilizando a fotossíntese das plantas aquáticas; 5) Danos na qualidade e disponibilidade da água para consumo humano e animal; 6) Danos na qualidade e disponibilidade do solo para qualquer tipo de uso agrícola e; 7) Danos sobre a biodiversidade.

Os prejuízos socioeconômicos são: perdas dos meios de subsistência e da produção, do turismo, perda de registros de bens comunitários (locais de lazer, tradições familiares, relações sociais e afetivas, a educação e a organização cultural), danos à economia, à infraestrutura e ao patrimônio imaterial.

Foram registrados prejuízos associados às perdas humanas ocorridas o que implica nos problemas de danos a segurança, à saúde, tais como depressões, síndrome de pânico, distúrbios pós-traumáticos, alergias, dentre outros.

Existe a necessidade urgente de políticas públicas voltadas para a obrigatoriedade de implementação de sistema de prevenção de riscos, fiscalização permanente e rigorosa, adoção de estudos e técnicas estruturais eficientes, bem como o monitoramento de todas as ações que possam a vir desencadear eventos dessa natureza e magnitude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. F. M., 1977. *O Cráton do São Francisco*. *Revista Brasileira de Geociências*. p. 349 – 364 Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rgb/article/view/11179>>. Acessado em 15 ago. 2017.

BALTAZAR, O. F., Raposo, F. O., FREDERICO OZANAM (Orgs.). *Mariana: folha SF.23-X-B-I*. Estado de Minas Gerais, 1993. Brasília: DNPM, CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. 196 p. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/8634?mode=full>>. Acessado em 12 setembro 2017.

BARBOSA, F. A. R., MAIA-BARBOSA P. M., NASCIMENTO, A. M. A., RIETZLER, A. C., FRANCO M. W., PAES, T. A., REIS, M., MOURA, K. A. F., DIAS, M. F., ÁVILA, M. P. OLIVEIRA, L. A. G., *Governança dos recursos naturais*. UFMG, p. 159 - 240. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal/noticia/2015/11/autoridades-tentam-descobrir-caoa-do-rompimento-de-barragem-em-mg.html>>. Acessado em 12 jun. 2018.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília. Congresso Nacional. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em 10 set 2017.

BRASIL. *LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012*. Presidência da República Civil Casa da Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acessado em 12 dez 2018.

BRASIL. *Bacia do Rio Doce: rompimento da barragem em Mariana – MG*. Informe Conjuntura dos Recursos no Brasil. Agência Nacional de Água. Superintendência dos Recursos Hídricos, 49 p. Brasília. 2016. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/03/EncarteRioDoce_21_03_2016_1.pdf>. Acessado em 10 mar 2018.

BRASILEIRO, A. M. M.,. *Métodos para normalização de trabalhos acadêmico científicos*. Belo Horizonte: UNIPAC, 148 p. 2011.

CARVALHO, GÉSSICA BORGES DE. Incidências de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito. Dissertação de Mestrado, UFOP, 2018. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. Programa de Pós Graduação em Geotecnia. Área de Concentração: Engenharia Geotécnica. <https://repositorio.ufop.br/handle/123456789/10689>

CASTILHO, Breno de Matos. *Análise dos Gatilhos de Liquefação Dinâmica e Modelagem Numérica da Barragem do Germano*. 2017. Disponível em: <www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/584/simple – search? Castilho%2C>. Acessado em 27 mar. 2018.

CHIZZOTTI, Antonio. *A Pesquisa Qualitativa em Ciências Humanas e Sociais: evolução e desafios*. Revista Portuguesa de Educação, **16**: 221-236. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37416210>>. Acessado em 10 setembro de 2017.

COELHO, Ricardo Motta Pinto. *Relatório Técnico-Científico Mitigação do impacto ambiental do desastre de Mariana, MG (Samarco) no Distrito Lacustre do baixo rio Doce*. 2016. Linhares: RMPC – Consultores e Recursos Hídricos. 42 p. 2016. Disponível em <http://www.rmpcecolgia.com/consultorias/consultoria_rmpc21.pdf>. Acessado em 15 mar 2018.

AGÊNCIA MINAS. Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana – MG. Belo Horizonte: Relatório, 2016. Disponível em: Acesso em: 10 jan. 2019.

COSTA, Adivane Terezinha. *Geoquímica das águas e dos sedimentos da bacia do rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): estudo de uma área afetada por atividades de extração mineral*. 2001.

EMBRAPA. *Relatório técnico avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao Plano de Recuperação Agropecuária*. 2016. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/566237/RESPOSTA_PEDIDO_Relatorio%20Tecnico_Avaliacao%20dos%20Impactos_Acidente%20Mariana_Embrapa.pdf>. Acessado em 10 mar 2018.

FERNANDES, Kenia Nassau. *Qualidade das águas nos Rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e do Carmo*. Universidade Federal de Ouro Preto. 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7400>>. Acessado em 06 junho de 2017.

FERREIRA, W. P. M.; SILVA, M. A. V.; SOUZA, C. F. *Clima, recursos hídricos e produção agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão*. Informe Agropecuário, v. 39, n. 304, p. 65–79, 2018.

FREITAS, CARLOS M., SILVA, MARIANO A., MENEZES, FERNANDA C..2016. O desastre na barragem de mineração da Samarco – fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. Revista Ciência e Cultura (SBPC).

GUISTI, F. *Indicadores de Vulnerabilidade associadas à riscos da exploração mineral*. Palestra ministrada. 2014. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/images/palestras/2015/mariana/15-fabio-giusti.pdf>. Acessado em 06 jun. 2018.

GÜNTHER, H. *Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?* Psicologia: Teoria e Pesquisa, 22, p.201-209. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-37722006000200010&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em 10 março 2018.

HIGHLAND, L.M., BOBROWSKYB, P. *The landslide handbook – A guide to understand landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1235, 129p. 2008. Disponível em: <https://issuu.com/kledsong/docs/geomorfologia_o_manual_de_deslizame>. Acessado em 25 de abril de 2018.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Minas Gerais. *Laudo Técnico Preliminar Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*. p.38. 2015. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_IBAMA.pdf>. Acessado em 20 julho de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Conheça estados e cidades do Brasil*. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acessado: em 10 março 2018.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Parecer Técnico para concessão de outorga de direito de uso*. 172601/2010. 2010. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/995-ctig-15072010>>. Acessado em 13 julho de 2018.

KAOARK *et al.* *Metodologia da Pesquisa: um guia prático*. 2010. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/122732-Metodologia-da-pesquisa-um-guia-pratico.html>>. Acessado em 15 maio de 2017.

KOSSOFF, D., DUBBIN, W. E., ALFREDSSON, M., EDWARDS, S. J., MACKLIN, M. G., HUDSON-EDWARDS, K. A. *Geoquímica Aplicada*. 2014. Disponível em: <<https://www.lacomunidadpetrolera.com>>. Acessado em 4 junho de 2017.

LACAZ, FRANCISCO A. C., PORTO, MARCELO F. S., PINHEIRO, TARCÍSIO M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. 2017. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-6369000016016>

LOPES, LUCIANO M. N. 2016. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. Revista Sinapse Múltipla, 5 (1), jun 1-14, 2016. <http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla>

MACHADO, Paulo Affonso Leme. *Direito Ambiental Brasileiro*, 13^a ed., revista, atualizada e ampliada, São Paulo. 2005.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. *Relatório Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana - MG*. Belo Horizonte: Comissão Extraordinária de Barragens. Grupo da Força Tarefa, 249 p. 2016. Disponível em: <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/770/relatorio_final_ft_03_02_2016_15h5min.pdf>. Acessado em 15 dezembro 2018.

PEDROSA, LEONARDO. 2017. Reavaliação do sistema de classificação de barragens realizado pelo DNPM. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. Programa de Pós Graduação em Geotecnia. Área de Concentração: Engenharia Geotécnica.

PINTO-COELHO, R. M. *Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG)*. Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico, v. 24, n.1, p.16-43, 2015.

RICO, M., BENITO, G., SALGUEIRO, A. R., DÍES-HERRERO, A., PEREIRA, H. G. *Reported tailings dam failures: A review of the European incidents in the worldwide context*. Journal of Hazardous Materials. 2007.

SLADEN, J.A., D' HOLLANDER, R. D., KRAHN, J. *The liquefaction of sands, a collapse surface approach*. Canadian Geotechnical Journal, v. 22, p. 564-578. 1985. Disponível em: <www.researchgate.net/.../237377272>. Acessado em 10 janeiro de 2018.

UNESCO. *Convenção para a salvaguarda do patrimônio cultural imaterial*. 2014. Disponível em <<https://ich.unesco.org/doc/src/00009-PT-Portugal-PDF.pdf>>. Acessado em 14 de julho de 2018.

XIN, Z., XIAOHU, X., KAILI, X. *Study on the Risk Assessment of the Tailings Dam*. Procedia Engineering. 2011. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apgeochen>. Acessado em 6 maio de 2017.

WANDERLEY, L. J., MANSUR, M. S., MILANEZ, B., Pinto, R. G. *Desastre da Samarco/Vale/Bhp no Vale Do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socioambientais*. Mariana/ Artigos. 3: 30-35. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/poemas/files/2016/06/Wanderley-2016-Desastre-da-Samarco-Vale-BHP.pdf>>. Acessado em 15 janeiro de 2017.

WANDERLEY, Luiz Jardim. *Invisibilização e limitações nos Estudos de Impacto Ambiental: elementos técnicos e políticos do desastre em Mariana-MG*. Apresentação do Grupo POEMAS: Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade. UFJF: Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/images/palestras/2015/mariana/14-luiz-jardim-wanderley.pdf>>. Acesso em 21 janeiro de 2019.

Cenários para tamanho de amostra para diferentes valores de erro admitido e coeficiente de confiança

	a = 0.01	a = 0.02	a = 0.05	a = 0.1
e = 0.05	207	193	169	143
e = 0.1	107	93	73	55
e = 0.15	59	50	37	27
e = 0.2	37	30	22	16
e = 0.3	17	14	10	7

Fonte: KAUARK et al., 2010

Cálculo do tamanho da amostra para estimar uma proporção para o caso de população finita

Para definição do tamanho amostral é necessário que se apresentem alguns argumentos sobre elementos da equação. E o tamanho da amostra, segundo a Teoria das Probabilidades, deve ser medido por meio da distribuição das informações colhidas conforme a *curva de Gauss* (curva normal). Para que uma amostra represente com fidedignidade as características de uma população da qual será retirada, ela deve ter um tamanho adequado. Esse tamanho depende dos seguintes fatores:

- Tamanho da população (N): é o universo da pesquisa no qual a população é caracterizada em finita, quando tem até cem mil elementos, ou, infinita, mais de cem mil elementos.
- Nível de confiança (Z): a Teoria das Probabilidades indica que a distribuição das informações colhidas a partir de amostra, seguindo a *curva de Gauss*, apresenta valores centrais elevados e os extremos reduzidos. O número de desvios utilizados representará o nível de confiança da amostra, influenciando diretamente em sua amplitude, haja vista que quanto maior o nível de confiança ou o intervalo de confiança, maior será a amostra. O desvio de qualquer curva normal abrange 95,5% da distribuição, em três desvios padrões, está incluída, praticamente, toda a distribuição, o equivalente a 99,7% da amostra ou população (Tabela 3).
- Erro máximo tolerado (e): os resultados obtidos por amostra em uma pesquisa sempre apresentam erros em relação a uma população da qual foram extraídos. Esse erro é inversamente proporcional ao tamanho da amostra, isto é, quanto maior for o erro admitido,

menor será o tamanho da amostra. Tal erro é expresso em termos percentuais e, na maioria das vezes, varia entre 1% e 7%.

- d) Porcentagem com que o fenômeno ocorre (p): é a estimativa com que o “investigado ocorre na população”; tal erro interfere diretamente no tamanho da amostra. Enquanto “p” refere-se à verdadeira proporção que se quer estimar. A variável aleatória \hat{p} varia de 0 a 1. Não se desvia do \hat{p} mais do que 0,15 unidades e isso é garantido com a probabilidade de 0,95.
- e) Porcentagem complementar (q): é a estimativa da não ocorrência do fenômeno na população.
- f) Erro admitido (E): com relação ao p desconhecido de interesse que o estimador apresentará (a proporção amostral).

TABELA 3: Nível de confiança, desvio padrão e coeficiente alfa

Nível de confiança	Desvio Padrão	Alfa
68%	Z= 1	0,32
95,5%	Z= 2	0,045
99,7%	Z= 3	0,003

Apresentam-se, a seguir, os cálculos para população finita:

$$p(|\hat{p} - p| \leq \varepsilon) \geq 1 - \alpha = 0,95$$

$$p(|\hat{p} - p| \geq \varepsilon) \leq \alpha = 0,05$$

$$p = 0,5 \text{ (caso de maior variabilidade)}$$

$$\varepsilon = 0,15$$

Com relação à variância “q”, ela é igual a 1- p, por definição.

Nesse sentido, $q = 1-0.5 = 0,5$.

$$p \cdot q = 0,25 \text{ que é a quota superior para a variância de } p$$

$$1 - \alpha = 0,95$$

$$\alpha = 0,05$$

Para se encontrar o tamanho da amostra, procede-se com a seguinte equação para populações finitas:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 (N-1) + Z^2 * p * q} \quad (\text{Eq. 1})$$

q: 0,5

p: 0,5 (caso de maior variabilidade)

n: tamanho da amostra;

Z: obtido na tabela de distribuição normal, com média zero e variância um (*);

N: tamanho da população (300 residências);

E: erro amostral;

P: porcentagem com que o fenômeno ocorre;

q: porcentagem complementar

$$n = \frac{7,54 * 0,5 * 0,5 * 300}{(0,1)^2 (300-1) + 7,84 * 0,5 * 0,5} = 37$$

Utilizando-se a “equação (Eq. 1)” para o cálculo do tamanho da amostra obtém-se $n = 37$, que é o tamanho da amostra nesse caso de população finita.

Questionário Socioeconômico

Este questionário é parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso-TCC da aluna de Engenharia Geológica, Jeanette Silva Valeriano, da Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. O objetivo é identificar e analisar os impactos do rompimento da barragem na vida da população dos moradores de Bento Rodrigues – Mariana – MG.

A estudante solicita o preenchimento deste questionário e agradece a participação dos moradores.

Nº de ordem _____

1. IDENTIFICAÇÃO

- 1.1 Qual a sua idade: () até 19 anos () 20 a 29 anos () 30 a 39 anos () 40 a 49 anos () 50 a 59 anos () 60 anos, ou mais
- 1.2 Sexo: () M () F () Outros
- 1.3 Estado Civil: () Solteiro () Casado () Viúvo () Outros:
- 1.4 Qual é o seu (grau) nível de escolaridade: () Sem escolaridade () 1º Grau () 1º Grau incompleto () 2º Grau Incompleto () 2º Grau completo () Superior Incompleto () Superior completo
- 1.5 Você é natural da comunidade: () Sim () Não
- 1.6 Você residia em Bento Rodrigues: () Sim () Não
- 1.7 Qual o tempo de residência: () De meses até um ano () De um ano até cinco () Mais de cinco anos

2. TRABALHO E RENDA

- 2.1 Sua renda dependia de: () Auxílio do Governo () Aposentadoria () da Empresa mineradora () do garimpo () cultivo () pesca () outros
- 2.2 Trabalhava no Distrito de Bento Rodrigues: () Sim () Não
- 2.3 Produtor rural: () Sim () Não
- 2.4 Cultivava: () Sim () Não
- () Para subsistência () Para comercializar () O quê?
- 2.5 Criava animais: () Sim () Não
- () Para subsistência () Para comercializar () Quais?
- 2.6 Você participava de alguma cooperativa: () Sim () Não

3. FAMÍLIA:

- 3.1 Quantas pessoas moravam na residência:
- 3.2 Qual era a renda mensal de sua família: () Menor que 1 salário mínimo () Entre 1 e três salários () Entre 3 e 6 salários () Acima de 6 salários
- 3.3 Seus antepassados viveram nessa região: () Sim () Não () Não sabe responder

4. SOBRE O ACIDENTE

- 4.1 Como você soube do rompimento da barragem de Fundão: () Vivenciei () Através de pessoas da comunidade () Através da Empresa () Outros meios de comunicação
- 4.2 Houve morte na família: () sim () quanto(s) () Não
- 4.3 Houve feridos na família: () Sim () Quantos () Não
- 4.4 Quais foram as perdas decorrentes da tragédia: () Casa () Carro () Produção () Ferramentas () Animais () Bens de valor sentimental () Laços afetivos (amigos, vizinhos)

5. SITUACÃO FAMILIAR ATUAL

- 5.1 A família permanece reunida: () sim () não
- 5.2 Onde estão morando:.....
- 5.3 Está recebendo algum tipo de auxílio financeiro: () Sim () Não
- 5.4 De quem: () Governo () Empresa () Outros
- 5.5 Estão recebendo assistência: () Sim () Não
- 5.6 Tipo: () Médica () Psicológica

6. RELAÇÃO COM A EMPRESA

A Empresa havia comunicado à Comunidade do Distrito de Bento Rodrigues sobre:

- 6.1 Risco de rompimento da barragem de Fundão: () Sim () Não () Não sabe responder
- 6.2 Impactos que poderiam ser causados pelo rompimento: () Sim () Não () Não sabe responder
- 6.3 Procedimentos a serem tomados caso houvesse o rompimento da barragem: () Sim () Não () Não sabe responder
- 6.4 A comunidade recebeu treinamento de como sair da área, caso houvesse iminência de rompimento da Barragem: () Sim () Não () Não sabe responder

DECLARAÇÃO

Certifico que a estudante **Jeanette Silva Valeriano**, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado “**IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIOECONÔMICOS REFERENTES AO COLAPSO DA BARRAGEM DE FUNDÃO – UM ESTUDO DE CASO**”, realizou todas as correções sugeridas pelos componentes da banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

Ouro Preto, 06 de agosto de 2019.



Profa. Dra. Dulce Maria Pereira

Co-Orientadora/Presidente da banca examinadora