

PALOMA PEREIRA DIAS

**SABERES DO RIO GUALAXO DO NORTE: ETNOINDICADORES E
ECOTOXICOLOGIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL**

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

Orientador: Laércio dos Anjos Benjamin

Coorientadora: Irene Maria Cardoso

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

D541s
2022
Dias, Paloma Pereira, 1996-
Saberes do rio Gualaxo do Norte: etnoindicadores e
ecotoxicologia para monitoramento ambiental / Paloma Pereira
Dias. – Viçosa, MG, 2022.
1 dissertação eletrônica (93 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.
Orientador: Laércio dos Anjos Benjamin.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Veterinária, 2022.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.456>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Peixes - Histologia. 2. Gualaxo do Norte, Rio (MG) -
Cultura popular. 3. Etnociência. I. Benjamin, Laércio dos Anjos,
1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Veterinária. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.
III. Título.

CDD 22. ed. 597.48

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

PALOMA PEREIRA DIAS

**SABERES DO RIO GUALAXO DO NORTE: ETNOINDICADORES E
ECOTOXICOLOGIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL**

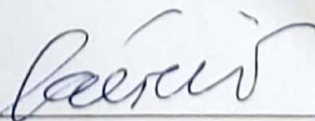
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de março de 2022

Assentimento:



Paloma Pereira Dias
Autora



Laércio dos Anjos Benjamin
Orientador

Dedico as agricultoras e aos agricultores do Gualaxo do Norte que abriram suas casas e compartilharam suas histórias e saberes. E aos meus pais, Oldair e Luzia, por serem minha sustentação, apoio e fonte inesgotável de amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a força do universo, dos orixás, de Nossa Senhora Aparecida e de Deus por me permitirem essa conquista e me guiarem para chegar até aqui.

Aos meus pais, Oldair e Luzia por serem os maiores apoiadores desta etapa. Por todo e (tanto) amor, compreensão e apoio que me deram neste e em todos os outros momentos da minha vida. Por sempre estarem presentes, nunca se ausentarem e por me ajudarem a continuar seguindo todas as vezes que eu pensei em desistir. Sem vocês eu não teria conseguido. À minha irmã, Polyane, pelas conversas, pela compreensão e por ser tão diferente de mim e me ensinar muito por isso. Aos meus avós, primos e tios pela torcida.

Agradeço ao meu orientador, Laércio, pela orientação e por ter feito parte desta etapa. Por me ensinar que sempre podemos ir além do que nos propusemos ou esperávamos e por me ajudar a entender e estabelecer meus limites. Com certeza, sem essa experiência eu não teria aprendido tanto sobre a minha própria capacidade.

À minha coorientadora, Irene, por confiar em mim, me ensinar e me aconselhar quando preciso. Pelas sugestões, correções e por ser exemplo e inspiração para mim.

Aos membros da banca, professora Betina e Marilda, Sílvia Dantas e Joana por aceitarem o convite para contribuir para a melhoria deste trabalho.

As agricultoras e aos agricultores que visitei, conheci e compartilhei. Por disponibilizarem seu tempo e seus saberes. Por me ensinarem tanto e fazerem com que a pesquisa fizesse sentido e tivesse significado.

Aos meus colegas de laboratório: Joana, Clementino, Fred, Iara e Alex por compartilharem essa jornada, me auxiliarem nos experimentos e por me darem suporte para vencer essa etapa.

À minha companheira do Osum e Nanã: Nancy. Pela sua parceria, companheirismo, cuidado e dedicação. Por ter me proporcionado tantos aprendizados, por me encorajar a voar sempre mais alto e pela doçura para lidar com a vida.

Aos técnicos da OCA, que abriram os caminhos para a construção e execução desta pesquisa, e do projeto Osum e Nanã, Letícia, Luan, Iberê, Eltinho, Marina, Ademar, Ananda, Bituca, Padeiro, Celinho, Silvinha, Daniel, Cris e Pedro.

Aos estagiários, Arthur, Maria Cecília, Tiago, Maria Paula e Thaís, por serem apoiadores desse processo, pelo auxílio e por renovarem as minhas energias.

As amigas e amigos que me acompanharam nesse processo. Aqui preciso citar Aline, Amanda, Camila, Laís, Letícia Piuzana, Luana, Natália e Sara por serem minha rede de apoio durante esse processo, por disponibilizarem tempo e paciência para as horas de desabafo e momentos difíceis, por compartilharem as pequenas e grandes conquistas e por oferecerem o ombro amigo quando precisei. Vocês foram a melhor rede de apoio que eu poderia desejar. Amo vocês.

Agradeço à Joana pelos conselhos, ajuda, moradia temporária e por sempre me ensinar a resiliência. Estendo meus agradecimentos ao Gilmar. Vocês dois foram fundamentais para que eu concluísse a dissertação e iniciasse novos caminhos.

Aqui também deixo minha gratidão à Luísa Mijolary, minha psicóloga, que me acompanhou durante os períodos mais difíceis da minha trajetória e me ajudou a ultrapassá-los. Agradeço por ter me guiado a compreender tantos sentimentos confusos que vivenciei durante o mestrado e por sempre me encorajar a ser protagonista da minha história.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da UFV que foram companheiros nesse processo e que dividiram tantos momentos bons e aprendizados durante esses dois anos.

A todos aqueles e aquelas que cruzaram meu caminho, me abriram portas (ou me apresentaram as janelas), me ajudaram com palavras e pequenas/grandes atitudes. A cada um que contribuiu para que eu chegasse até aqui (foram muitas pessoas, ainda bem!). Hoje sei que não teria sido possível sem a coletividade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da UFV pelo apoio, por me acolherem e estarem dispostos ao diálogo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de mestrado e ao Ministério Público do Trabalho pelo financiamento do projeto Osum e Nanã.

“aproxima-se da etnia daqueles que
não recusam os encontros com o imprevisível
o líquido, a espiral
e o poliedro
procura o pomar que produz um fruto antioxidante
consumido por aves, macacos e tamanduás.
maneja acessórios desengonçados
para incidir-se nesta experiência
mágica, estranha
vulnerável, extraordinária
fragmenta-se completamente diante
da vegetação do bioma
que resistiu aos incêndios
e que já não se assusta ao perceber
as violências e afetos
que participam da paisagem.”

(Matheus José)

RESUMO

DIAS, Paloma Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2022. **Saberes do rio Gualaxo do Norte: etnoindicadores e ecotoxicologia para monitoramento ambiental.** Orientador: Laércio dos Anjos Benjamin. Coorientadora: Irene Maria Cardoso.

O rompimento da barragem do Fundão, na quinta bacia Hidrográfica mais importante do Brasil, foi o maior desastre ambiental mundial desde os anos de 1960 e foi responsável por uma série de mudanças na bacia hidrográfica do rio Doce. Estas mudanças estão presentes no solo, na água, na fauna, na flora e também atravessam e impactam a vida das pessoas e as relações sociais. A ausência de participação dos/as atingidos/as no processo de tomada de decisão relacionado às ações reparatórias tem invisibilizado seus saberes, gerado insatisfação e deixado dúvidas quanto à contaminação ambiental e à segurança em produzir e consumir alimentos no território. O objetivo deste estudo foi identificar e sistematizar etnoindicadores úteis para o monitoramento ambiental participativo e promover o diálogo entre estes indicadores com os indicadores de avaliação da qualidade da água e da saúde dos peixes por meio de experimento ecotoxicológico. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas e caminhadas transversais com 12 famílias. Nas entrevistas foram identificados 30 etnoindicadores relacionados aos peixes, ao rio, à água, ao solo, às plantas, aos cultivos agrícolas e aos animais domésticos. Foi possível perceber que estes etnoindicadores estão intimamente ligados com as mudanças sofridas no ambiente. Além disso, as mudanças geomorfológicas do rio e da sua diversidade de espécies são importantes indicadores para as pessoas e este conhecimento pode ser utilizado para a avaliação mais abrangente do ambiente. Dessa forma, os saberes da população abrangem os ciclos hidrológicos, o solo, a fauna e a flora e podem contribuir para o monitoramento ambiental e percepção das mudanças que ocorreram ao longo do tempo no ecossistema que foi impactado. Um experimento ecotoxicológico crônico foi conduzido no Laboratório de Biologia de Peixes do DVT-UFV utilizando água de três pontos do rio Gualaxo do Norte. Peixes da espécie lambari (*Astyanax altiparanae*) foram utilizados como bioindicadores. As análises encontradas mostram que os padrões físico-químicos da água se mantiveram estáveis e dentro do padrão de qualidade. No entanto, foram encontrados níveis mais altos de arsênio e chumbo nas amostras de água do rio Gualaxo do Norte. A avaliação dos biomarcadores histológicos das brânquias encontrou alterações na espessura de lamela primária e no diâmetro de vaso, o que pode indicar prejuízo à morfologia saudável destes órgãos frente a presença dos contaminantes. As alterações histológicas encontradas confirmam as informações obtidas com os etnoindicadores

que apontam para a sensibilidade dos peixes à qualidade da água. A avaliação e monitoramento ambiental, utilizando os saberes populares e conhecimentos científicos e populares, possibilitam a compreensão dos problemas de forma mais abrangente. Os saberes populares permitem a compreensão sensível de mudanças ambientais e estas, por sua vez, se relacionam com os indicadores científicos avaliados nesta pesquisa pelos biomarcadores histológicos das brânquias.

Palavras-chave: Saberes populares. Etnociência. Biomarcadores. Histologia.

ABSTRACT

DIAS, Paloma Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2022. **Knowledge from Gualaxo do Norte River: ethnoindicators and ecotoxicology to environmental monitoring.** Adviser: Laércio dos Anjos Benjamin. Co-adviser Irene Maria Cardoso.

The Fundão dam rupture in Brazil's fifth most important hydrographic basin was the world's largest environmental disaster since the 1960s and was responsible for a series of changes in the Doce River watershed. These changes are present in the soil, water, fauna, and flora and cross and impact people's lives and social relationships. The lack of participation of people affected in the decision-making process has made their knowledge invisible and left doubts about environmental contamination and safety in producing and consuming food in the territory. This study aimed to identify and systematize ethnoindicators useful for participatory environmental monitoring and promote dialogue between the ethnoindicators and water quality and fish health indicators ecotoxicological experiment. Semi-structured interviews and cross-sectional walks had been conducted with 12 families. In the interviews, 30 ethnoindicators related to fish, river, water, soil, plants, crops, and domestic animals had been identified. It was possible to notice that these ethnoindicators have been linked with the changes suffered by the environment. Besides that, the geomorphological changes of the river and the species diversity present in the river are important indicators for people, and this knowledge might be used for the comprehensive assessment of the environment. Thus, the population knowledge encompasses hydrological cycles, soil, fauna, and flora and can contribute to environmental monitoring and perception of changes that occurred along the subject in the impacted ecosystem. Chronic ecotoxicological experiment was conducted at the DVT-UFV Fish Biology Laboratory using water from three points of the Gualaxo do Norte River. Lambari fishes (*Astyanax altiparanae*) were used as bioindicators. The analyses showed that the physicochemical patterns of water remained stable and within the quality standard. However, higher levels of arsenic and lead were found both in the water samples of the Gualaxo do Norte River. The gills' histological evaluation showed alterations in primary lamella thickness and vessel diameter, which may indicate impairment to the healthy morphology of these organs in the presence of contaminants. The histological alterations confirmed the information obtained with the ethnoindicators that indicate fishes' sensitivity to water quality. Environmental assessment and monitoring, using popular and scientific knowledge make possible to understand the problems more totally. Popular knowledge allows sensitive understanding of

environmental changes that are related to scientific knowledge evaluated in this research by the histologic biomarkers of the gills.

Keywords: Popular knowledge. Ethnoscience. Biomarkers. Histology.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	13
2.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO I: IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS ETNOINDICADORES	30
RESUMO	30
1.INTRODUÇÃO.....	31
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1 Local do estudo.....	33
2.2 Seleção das famílias.....	34
2.3 Equipe de pesquisa	35
2.4 Identificação e sistematização dos etnoindicadores	35
2.4.1 Entrevista semiestruturada, caminhada transversal e observação participante	35
2.4.2 Organização das informações	36
2.4.3 Análise de conteúdo e identificação de etnoindicadores	36
2.5 Normas de conduta para pesquisa com seres humanos	37
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 Rio.....	39
3.2 Água.....	44
3.3 Solo e/ou rejeito e plantas cultivadas	47
3.4 Peixes.....	51
3.5 Animais.....	54
4.CONCLUSÕES	56
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
CAPÍTULO II: UTILIZAÇÃO DE PEIXES PARA AVALIAÇÃO DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE	61
RESUMO.....	61
1.INTRODUÇÃO.....	62
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	65
2.1 Amostragem de água do rio Gualaxo do Norte	65
2.2 Comissão de Ética no Uso de Animais da UFV - CEUA.....	65
2.3 Experimento laboratorial	66
2.4 Parâmetros físico-químicos da água	66
2.5 Determinação de metais pesados na água.....	67
2.6 Dados biométricos	67

2.7 Processamento do material histológico	68
2.8 Análise histomorfométrica	69
2.9 Análises estatísticas	70
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
3.1 Parâmetros físico-químicos da água	70
3.2 Metais pesados na água	72
3.3 Análise histomorfométrica	77
4.CONCLUSÕES	82
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
ANEXO I.....	89
ANEXO II	91

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os últimos 50 anos representaram na história da humanidade um período de intensa exploração dos recursos naturais e de aumento das desigualdades sociais (Arretche, 2015). Em consequência, as tragédias ambientais e sociais também aumentaram, e não são uma excepcionalidade, mas sim parte dos custos das ações humanas (Freitas et al., 2016) movidas pelo sistema capitalista que enriquece alguns em detrimento de tantos outros como também dos bens naturais (Londoño, 2021).

O rompimento da barragem do Fundão localizada em Mariana, Minas Gerais, na Bacia do Rio Doce, ocorrido em 2015, foi uma destas consequências. A bacia hidrográfica do Rio Doce está localizada na região Sudeste do Brasil, entre os estados de Minas Gerais (86%) e Espírito Santo (14%) e ao todo possui 853km de extensão. A bacia tem como característica a amplitude da altitude do relevo que varia de 300 a 2600m (Coelho, 2009). Além disso, a região é caracterizada pela predominância de latossolo vermelho-amarelo e argissolo vermelho-amarelo, e pelo clima tropical úmido que é marcado pela falta de uniformidade climática. Apesar disso, os picos de cheias tendem a ocorrer nos meses de dezembro, janeiro e março e as temperaturas médias em geral são superiores a 18°C. O conjunto dessas características (relevo, solo e clima) conferem à bacia atributos como maior velocidade de decomposição de rocha, dos processos de pedogênese e dos processos naturais de erosão (Rodrigues, 2012; Coelho, 2009). Essas características quando unidas ao processo de ocupação do território contribuem para a expressiva erosão do solo e distúrbio do ecossistema. O processo de ocupação do território se caracteriza principalmente pela mineração, siderurgia e exploração de madeira, atividades responsáveis pela contaminação de solo e água, além de intensa mudança paisagística e destruição da mata nativa (Rodrigues, 2012; Coelho, 2009).

É nesse território que aconteceu o rompimento da barragem de Fundão que foi considerado o maior desastre (ou crime) ambiental mundial desde a década de 1960. Nesta dissertação adota-se o termo desastre/crime por se tratar de uma tragédia ambiental e social e para garantir que a empresa não seja desresponsabilizada. A Samarco possuía em 2015, 19 autos de infração em seu nome relacionados a crimes contra o meio ambiente, descaso com o cumprimento da legislação ambiental e má gestão das operações do empreendimento (Milanez et al., 2015). Portanto, os impactos sociais e ambientais causados pelo rompimento, embora ainda não totalmente avaliados, foram de grande magnitude e fazem parte do histórico de exploração já praticado pela empresa por décadas.

Estes impactos foram classificados nas escalas macro e microrregional (Ministério Público de Minas Gerais, 2016). A escala microrregional está relacionada aos quatro municípios mais próximos ao epicentro (local onde a barragem se encontrava), sendo eles Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, em um trecho de aproximadamente 77 km. Nestes municípios estão localizados os impactos com maior efeito destrutivo, por extrapolar a calha dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce (Pinto-Coelho, 2015).

Estima-se que mais de 10 mil pessoas foram diretamente atingidas e colocadas em situação de vulnerabilidade. Serviços de saneamento básico, abastecimento e disponibilidade de água potável foram prejudicados; houve alteração na regulação do clima e dos ciclos da água que contribuíram para a alteração do comportamento e da vida de vetores de doenças como a dengue, chikungunya e zika; doenças respiratórias devido à inalação de poeira e material particulado contendo metais pesados e matéria orgânica contaminada aumentaram; problemas psicossociais e na saúde mental das pessoas também se tornaram mais comuns (Milanez et al., 2015; Freitas et al., 2016).

As consequências sociais e econômicas estão profundamente articuladas com as questões ambientais. O rejeito provocou impactos que comprometeram drasticamente o solo, a cobertura vegetal e os rios, tanto durante sua passagem quanto após sua sedimentação. O volume de mais de 60 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério derramados na bacia possui baixo teor de nutrientes e carbono orgânico, granulometria fina, sendo composto pela mistura de areia, silite, argila e outros restos orgânicos, além de altos teores de metais como ferro e cromo (Davila et al., 2020; Schaefer et al., 2016; Milanez et al., 2015). No solo, onde extrapolou a calha, o rejeito comprometeu a infiltração da água e as características físicas, químicas e biológicas do solo. O teor de matéria orgânica, a biologia, o pH do solo, as condições de germinação de sementes e o desenvolvimento das raízes da planta também foram modificados (Freitas et al., 2016; Dias et al., 2018).

Além disso, o desastre/crime impactou áreas produtivas muito relevantes para as famílias como quintais (hortas e pomares), o que comprometeu a segurança alimentar, além de atingir as áreas mais nobres de pastagem o que, por sua vez, prejudicou significativamente a pecuária, uma das principais atividades econômicas da região. O desastre/crime não só reduziu o número de animais dos rebanhos como também sobrecargou outras áreas com solo mais sensível, os morros, e levou ao aumento da incidência de áreas de erosão, menor disponibilidade de alimento para os rebanhos, principalmente no período da seca.

O rompimento da barragem também afetou a qualidade da água dos rios atingidos, pois colocou em suspensão os sedimentos contaminados e aumentou a quantidade de sólidos na água, o que contribuiu para a contaminação massiva dos corpos d'água (Pinto-Coelho, 2015). Estes sedimentos foram contaminados com componentes inorgânicos ao longo do tempo, pela ocupação garimpeira e pela atividade mineradora presentes no território e o rompimento, além de adicionar elementos, também provocou a dispersão daqueles que já estavam dispostos na calha do rio (Carvalho et al., 2017; Maia, 2017). Este processo elevou as concentrações de metais pesados como alumínio, arsênio, cádmio, cobre, cromo, manganês, chumbo, mercúrio e níquel na água (ANA, 2016). Os teores de chumbo e de mercúrio, por exemplo, encontrados na água são, respectivamente, 165 e 1465 vezes superiores aos permitidos pela legislação vigente (Milanez et al., 2005; Freitas et al., 2016; ANA, 2016; Viana, 2017).

Metais pesados também foram encontrados em peixes nativos da bacia e existe o risco de extinção de espécies devido ao elevado número de mortes e pela bioacumulação desses contaminantes nos organismos (Ferreira et al., 2020). Os impactos causados à ictiofauna refletem na diversidade da comunidade de peixes e, por consequência, prejudicam a pesca (Alves et al., 2021) que é uma importante atividade para as comunidades que habitam às margens do rio Doce e seus afluentes, já que parte significativa do sustento da população provinha desta prática. Existem pelo menos 15 ocupações distintas relacionadas à pesca ou aquicultura, o que significa que ao afetá-las, todo o complexo sistema de emprego, renda e costumes ligados a essa atividade é afetada e coloca em risco todo o ecossistema e a saúde das pessoas que estão no nível mais elevado das cadeias tróficas (Milanez et al., 2015).

Além disso, foram comprometidas atividades importantes para as famílias que estavam conectadas com o território como a pesca, atividades de lazer, banho de rio, turismo e atividades culturais devido a destruição de espaços como é o caso da igreja de Nossa Senhora da Imaculada Conceição, que se localizava em um dos distritos visitados durante essa pesquisa.

Dessa forma, as famílias perderam não só o rio, do qual as populações dependiam diretamente para a pesca e para o abastecimento local de água, mas também o território e seus múltiplos significados, adquiridos ao longo do tempo. Historicamente, a agricultura familiar camponesa construiu relações de pertencimento no Vale do rio Doce e seus afluentes, e a tragédia retirou as principais fontes de sustento e sobrevivência, como solos férteis, nascentes, áreas de pastagens e o próprio rio Doce. Portanto, “as famílias perderam seu território, base material e imaterial da existência coletiva, revelador de estratégias de resistências, cosmologias

e fonte de *saberes-fazer*es na relação com a água, com a natureza e com a própria comunidade” (Milanez et al., 2015).

A ruptura abrupta e violenta dos modos de vida das pessoas que ocupavam o território levou ao sofrimento social e teve impactos diretos na saúde e qualidade de vida (Santos et al., 2020). Para Santos (2001), é a relação entre o território e a população que constrói a identidade e o sentimento de pertencimento das pessoas. As perdas imateriais passam a ser determinantes para a vida e estão representadas pela ruptura de laços e relações de confiança, memórias, símbolos e significados que foram construídos com o passar dos anos no território (Santos, 2001; Milanez et al., 2015; Santos et al., 2020).

Diante de todos os problemas, os responsáveis não enviam esforços suficientes para mitigar os impactos, e as comunidades locais são as que mais sofreram com as consequências causadas pela tragédia. As pessoas ainda estão inseguras em relação à contaminação das águas e do solo e suas consequências para a saúde vegetal e animal. Assim, ainda existem dúvidas sobre o uso, seguro, das águas e terras atingidas pelo rejeito para atividades domésticas e agropecuárias. Os atingidos querem (e precisam) saber, com segurança, se podem ou não consumir e comercializar os produtos cultivados no território atingido e, até o momento, essas dúvidas não foram suficientemente sanadas, bem como algumas ações não têm sido eficazes na reparação dos danos causados (Cordeiro et al., 2022; Milanez et al., 2015). Esta segurança precisa vir a partir dos resultados de processos de monitoramento e avaliação dos impactos, e os mesmos devem contar com a participação das pessoas, que são as maiores interessadas. As comunidades atingidas precisam ser protagonistas na definição de estratégias e ações que visem superar os desafios do território. Entretanto, os/as atingidos/as pelo desastre não foram adequadamente envolvidos/as e seus saberes e perspectivas não foram considerados nos processos de monitoramento, de avaliação e de tomada de decisões.

De forma geral, os estudos de monitoramento e avaliação desenvolvidos nestas comunidades são realizados por pesquisadores de instituições científicas. Os métodos, técnicas e teorias científicas são importantes para avaliação e monitoramento ambiental. Contudo, apenas o conhecimento científico, isoladamente, não responde de forma adequada à complexidade presente nas comunidades estudadas. O conhecimento que as comunidades locais dispõem é fundamental para avaliação e manejo de ecossistemas, pois representa uma fonte de informações abrangentes para entender padrões do clima e suas variações, interações entre as espécies e as relações entre a fauna e os fatores bióticos e abióticos que contribuem para

desenhar modelos de administração sustentável e adaptativa dos recursos naturais (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Alves e Souto, 2015; Wilson et al., 2015).

O conhecimento científico deve, portanto, estar em diálogo com o conhecimento popular. Esse diálogo entre conhecimentos é definido por Santos (2007) como a “ecologia de saberes”. Entretanto, a ciência padrão, considerada moderna (Alves, 1981; Latour, 1991), não reconhece a importância desse diálogo na interpretação do ambiente e na busca de soluções para os problemas enfrentados pela população. Ao contrário, para a Agroecologia, uma ciência considerada pós-moderna, a articulação entre o conhecimento científico e a sabedoria popular é um princípio epistemológico (Laranjeira et al., 2019). A Agroecologia reconhece a importância de caráter multidimensional, plural e transdisciplinar dos saberes populares, tradicionais ou locais (Gomes e Assis, 2013).

Os saberes populares são diversos e orientados, principalmente, pelo ambiente onde se vive. Cada povo constrói seus próprios símbolos da natureza, mantém uma relação distinta com os bens e riquezas da terra e adota uma estratégia individualizada de uso dos recursos naturais (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). A Agroecologia reconhece as diferentes leituras e a importância delas para a construção de sistemas agroalimentares sustentáveis que garantam qualidade de vida as populações (Tavares de Lima e Silva, 2017).

Enquanto ciência interdisciplinar, a Agroecologia recebe influências de diferentes campos do conhecimento que, por possuírem diferentes metodologias e objetivos, contribuem para a construção do conhecimento agroecológico. Dentre as ciências, a Agroecologia recebe contribuições da etnociência (Altieri, 1995). A etnociência é um enfoque científico que procura integrar, comparar e interpretar os saberes que os povos tradicionais, indígenas e agricultores possuem em toda sua complexidade e que considera os aspectos éticos e morais em torno do manejo sustentável dos bens naturais (Altieri, 1993; Toledo e Barrera-Bassols, 2008).

A etnociência propõe que a construção do conhecimento incorpore as dimensões do *corpus* (fundamentação teórica, conhecimento), da *praxis* (prática) e do *kosmos* (crenças locais e sistemas simbólicos) (Barrera-Bassols e Zinck, 2003; Laranjeira et al., 2019). Ao incorporar estas três dimensões, a etnociência reconhece os múltiplos saberes dos povos e comunidades indígenas e tradicionais sobre seus territórios e a capacidade dos mesmos não só de identificarem seus próprios problemas como também tomarem decisões mais assertivas e coerentes sobre eles (Freire, 1987).

Os povos tradicionais rurais são caracterizados por atividades que se baseiam no manejo não industrial da natureza para produção de pequena escala e por construir seus saberes a

partir da observação e prática com o ecossistema (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Na agricultura familiar, o estabelecimento rural não é apenas o local de produção, mas constitui-se como lar da família, e é onde as relações com o território são construídas, refletidas e transformadas (Santos, 2001; Ploeg, 2014). A agricultura familiar é guardiã de memórias e experiências que são acumuladas ao longo do tempo e repassadas pela oralidade (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Ploeg, 2014). Assim, a memória é o que une o passado, presente e futuro e constitui-se como pilar na construção do conhecimento tradicional (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Ploeg, 2014;).

Na etnociência, o processo de construção do saber é feito com as pessoas e a partir do que elas fazem (Freire, 1987), e não a partir do cientista, como detentor único de conhecimento, mas como detentor de conhecimentos que devem se articular com outros saberes (Chambers, 1994). A etnociência possui vários ramos, dentre eles a etnopedologia, etnohidrologia e etnozootologia. Os estudos etnopedológicos revelam a importância do saber das comunidades locais relacionados aos solos e ao manejo dos bens naturais imbricados com o contexto social, cultural, econômico e ecológico dos territórios (Barrera-Bassols e Zinck, 2003), manejo este importante para manter a biodiversidade dos sistemas de cultivo, a qualidade do solo e das águas, de forma a promover o funcionamento da agricultura familiar. Para isto, depende também da diversidade cultural dos territórios (Altieri, 1993).

Segundo Barrera-Bassols e Zinck (2003), a maior parte dos estudos em etnopedologia se concentra nas áreas ecológicas mais frágeis do mundo, em países com altos índices de pobreza e degradação de terra. No entanto, apesar e por causa dos desafios que enfrentam, essas populações foram (e são) capazes de elaborar conhecimento ao longo do tempo, importante para garantir a resiliência dos agroecossistemas, por meio de sistemas complexos de manejo de solo e água (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Como consequência, nessas regiões encontra-se imensurável riqueza de *saberes-fazeres* relacionados à prática (*praxis*), ao conhecimento (*corpus*) e aos sistemas simbólicos (*kosmos*) (Toledo e Barrera-Bassols, 200; Milanez et al., 2015). Para Toledo e Barrera-Bassols (2008), uma característica importante do conhecimento local é sua característica integrada, específica e coletiva, o que significa que os elementos do ecossistema são entendidos de forma conectada. Assim, o manejo dos bens naturais (solo, água, plantas, animais) não é feito de maneira universal e abstrata, mas concreta e enraizados nos diferentes significados que os territórios adquirem (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Sousa e Cabral, 2009).

Tão importante quanto as percepções humanas sobre os solos, são as percepções sobre a água. Segundo Toledo e Barrera-Bassols (2008) o conhecimento das populações sobre os bens hídricos ainda está pouco documentado, apesar da importância desses bens para a sobrevivência das sociedades humanas. Os saberes das populações sobre a água são estudados pela etnohidrologia. Os estudos etnohidrológicos consideram as dimensões culturais, espirituais e estéticas que as populações possuem em relação a água (West et al., 2016) e buscam compreender de forma abrangente como o conhecimento tradicional entende e executa a gestão e manejo deste bem (Alves e Souto, 2015; Pires, 2020). Os estudos etnohidrológicos, portanto, são fundamentais para entender as relações humanas com a água que passa pela cultura, pelos sistemas simbólicos e pelos conhecimentos dos povos que, historicamente, se estabelecem ao redor de cursos d'água (Alves e Souto, 2015; Toledo e Barrera-Bassols, 2008), como é o caso do território da bacia hidrográfica do rio Doce.

A etnozootologia, por sua vez, dedica-se aos estudos da complexidade de relações que os seres humanos desenvolveram ao longo do tempo com os animais. Estas relações são múltiplas e estão presentes no ato de caça e pesca, na construção de relacionamentos afetivos com algumas espécies (cães, gatos, passarinhos), na religiosidade, na mitologia, na domesticação de animais e no manejo da fauna e da flora e de outros bens naturais (Alves e Souto, 2011, 2015). Estudos etnozoológicos mostram que o conhecimento dos povos indígenas e tradicionais sobre a fauna é imensurável e durante o século XIX, por exemplo, foram essas populações que contribuíram com as expedições dos naturalistas na sistematização dos hábitos de alimentação, predação, comportamento e métodos de captura das espécies. Entretanto, tal contribuição, assim como outras, foi sistematicamente invisibilizada pela narrativa científica (Alves e Souto, 2011, 2015).

Estudos de etnociência permitem também identificar indicadores de monitoramento das práticas de manejo que são utilizadas por cada comunidade (Altieri, 1993). Os critérios utilizados pelas pessoas para avaliar a qualidade da água, do solo e a saúde dos animais são considerados etnoindicadores e, dentre estes, os bioetnoindicadores que podem ser úteis na avaliação e monitoramento de distúrbios e mudanças ambientais. A integração dos etnoindicadores na avaliação do ambiente é importante para o sucesso do diagnóstico e monitoramento dos ecossistemas. Além disto, por serem identificados em conjunto com a população local, os etnoindicadores auxiliam na integração entre conhecimento e prática (Castillo et al., 2020).

Alguns desses etnoindicadores estão ligados à qualidade do solo (aspectos visuais, biológicos, químicos e físicos) e à classificação local dos solos. Calixto (2015) identificou que os agricultores utilizavam a umidade da terra (seca/úmida), a presença de animais no solo, a diversidade de plantas, a presença de nascentes e a cor da terra como indicadores da qualidade do solo. O trabalho realizado por Amaral et al. (2013) identificou a forma da terra, o tipo de barro (textura), vegetação, a cor, a rachadura, as raízes, a água, a pedra e o massapê como as principais variáveis para classificar os solos presentes no território estudado. Portanto, a diversidade dos etnoindicadores mostra que os/as agricultores/as e povos tradicionais possuem diferentes critérios de identificação de tipos de solos, sendo que muitos deles se relacionam com a qualidade e são fundamentais para a classificação do tipo de solo e para a escolha e adoção de estratégias de manejo (Amaral et al., 2013; Calixto, 2015). Nestes estudos, a integração entre os indicadores identificados refletiu a amplitude de compreensão que os agricultores possuem sobre o solo e os atributos que influenciam sua diversidade (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Amaral et al., 2013; Calixto, 2015).

Os etnoindicadores podem também ser utilizados para avaliação da qualidade da água, essencial para a manutenção da vida no planeta. A legislação brasileira, na Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17/03/2005, fixa os padrões de qualidade para os corpos de água e dispõe sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer condições e padrões de lançamentos de efluentes (Brasil, 2005; Alves et al., 2008). Para isto, a legislação utiliza indicadores científicos de padrão de qualidade da água (biológicos, físicos e químicos) que apenas são capazes de identificar concentrações de sedimentos, poluentes e seus efeitos (Back, 1981; West et al., 2016). Porém, quando se trata do contexto de sociedade existem outras dimensões que precisam ser consideradas.

A avaliação da água pelas pessoas está intimamente ligada com as suas memórias, com os indicadores organolépticos (cheiro, sabor, cor) e com a presença e saúde dos peixes (Pires, 2020). Dentre os organismos aquáticos, os peixes são bastante utilizados como bioindicadores (Arias et al., 2007). A diversidade de espécies, presença ou não dos peixes na água dos rios e córregos, a turbidez, presença de espuma e saúde dos peixes estão entre os etnoindicadores utilizados pelas pessoas para avaliar a qualidade da água (Pires, 2020).

Os indicadores etnozoológicos estão relacionados com a observação e manejo dos animais, especialmente a fauna silvestre, e são importantes para a cultura, religiosidade e avaliação do ambiente (Alves e Souto, 2015). Castillo e Ladio (2017) identificaram diferentes

indicadores percebidos pelos agricultores em uma diversidade ampla de animais e seus comportamentos que são utilizados para avaliação ambiental. Dentre eles, estão comportamentos como produção de lã de má qualidade, animais magros, morte de animais em tempestades e mudanças nos hábitos de pastagem (Castillo e Ladio, 2017). Estes etnoindicadores estão relacionados com período de seca e falta de alimentos no território, o que é indicativo de perda da qualidade da terra (Castillo e Ladio, 2018). As doenças dos animais e as plantas medicinais usadas pelos/as agricultores/as no tratamento das mesmas também são indicadores utilizados para avaliar a condição ambiental (ciclo anual e disponibilidade de forragem) e estão conectados com a dinâmica do conhecimento tradicional que relaciona outros elementos para a compreensão dos fenômenos naturais (Castillo e Ladio, 2017).

A construção do saber tradicional é dinâmica e integrada com diversos elementos do ecossistema. Portanto, é capaz de fornecer um conjunto de informações específicas e precisas em relação ao ambiente e ao território avaliado (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Castillo e Ladio, 2017).

Para a identificação e sistematização dos etnoindicadores, pode se recorrer aos princípios da pesquisa participante inspirada na pedagogia proposta por Freire (2011). A pesquisa participante, enquanto metodologia científica, permite o empoderamento da comunidade ao aprender sobre o modo de vida camponês e suas peculiaridades com e pelas pessoas que vivem no território, o que permite que elas se tornem conscientes do conhecimento que possuem e da realidade em que vivem (Chambers, 1994; Santos, 2007).

A pesquisa participante foi bastante influenciada pelo pedagogo Paulo Freire, pelo sociólogo Fausto Borda e também pelos movimentos sociais populares (Freire, 1987; Borda, 1999). Neste sentido, a pesquisa participante é uma causa social, pois reflete a tentativa de construção de uma ciência popular, com base nos princípios da educação libertária, na indissociabilidade teoria-prática e na possibilidade de mudança social por meio das pessoas (Freire, 1987; Borda, 1999; Brandão, 2006). Ações de pesquisa participante desenvolvidas por estes autores, na América Latina, possuem dimensão pedagógica e política e, normalmente, estão ligados a projetos mais amplos e de maior continuidade que a própria pesquisa (Brandão, 2006).

No entanto, existem princípios fundadores que orientam a pesquisa participante. Dentre estes princípios, está a origem da pesquisa, que deve estar conectada com uma perspectiva de totalidade da realidade social que considere a vida cotidiana dos participantes, bem como sua estrutura e a dinâmica das relações (Brandão, 2006). Além disso, a relação tradicional sujeito-

objeto entre o investigador-educador é transformada em uma relação sujeito-sujeito que considera todas as pessoas e culturas como fontes originais de saberes partilháveis e fundamentais para a compreensão social que é executada pelo exercício da pesquisa (Brandão, 2006). Nesse sentido, a articulação crítica dos saberes dá origem a um conhecimento novo e transformador que é base para construção da ciência popular (Brandão, 2006; Freire, 1985a). Assim, a escolha das técnicas que possibilitarão o diálogo entre os saberes é importante e deve ser feito em consideração ao contexto, as pessoas e instituições envolvidas (Brandão, 2006; Borda, 1999).

Os princípios do Diagnóstico Rural Participativo (DRP), que teve sua utilização disseminada nos anos 1980 do século XX, são inspirados na pesquisa participante, na antropologia aplicada e na análise de agroecossistemas (Chambers, 1983). Essa abordagem foi uma das pioneiras em trazer a perspectiva de que a posição do pesquisador é de facilitador, e que ele tem como tarefa atuar na visibilização do conhecimento das pessoas. O DRP utiliza técnicas que facilitam a participação dos atores durante a pesquisa, dentre elas, as caminhadas transversais e a observação participante, desenho de mapas informais, entrevistas semiestruturadas, escuta ativa e cultivo de relacionamentos com as pessoas (Brandão, 1987; Chambers, 1994). As técnicas do DRP podem ser utilizadas durante a pesquisa participante para identificar os etnoindicadores, com o objetivo de monitoramento e avaliação de determinadas ações ou situações.

A pesquisa aqui proposta utilizará os princípios da pesquisa participante articulada com as técnicas do DRP para identificar e sistematizar os etnoindicadores que as pessoas utilizam para avaliar a água, a saúde dos peixes e o ambiente. Estes etnoindicadores servirão para um monitoramento ambiental participativo dos impactos causados pelo rompimento da barragem e contribuirão para que a própria comunidade avalie e tome decisões em relação ao uso do solo e da água impactados pelo rejeito.

O monitoramento e avaliação participativos se configuram como estratégias para empoderar a comunidade e garantir a autonomia dos sujeitos na gestão do conhecimento e das ações sociais que dele possa derivar, como proposto por Brandão (2006) e tem respaldo na libertação do sujeito, proposta por Freire (1987;1985b). Esta pesquisa está ligada a um projeto de monitoramento participativo integrado da bacia hidrográfica do rio Doce que permitirá a continuidade das atividades e articulações já iniciadas no território. A transformação de saberes, de sensibilidades e de motivações populares em prol da mudança da realidade social pode ser

exercitada no monitoramento ambiental participativo, feito por meio dos etnoindicadores identificados e pela interpretação emancipatória deste saber popular (Brandão, 2006).

Em diálogo com os etnoindicadores, indicadores científicos foram utilizados para complementar o monitoramento ambiental participativo. Os indicadores científicos baseados em padrões físico-químicos de análises da água podem ser úteis para detectar eventuais poluentes, a exemplo dos metais pesados, e podem ser relacionados e complementados pelos etnoindicadores, utilizados para identificar a qualidade da mesma.

A qualidade da água e os aspectos ecológicos importantes relacionados aos peixes, como o comportamento reprodutivo, as estratégias de alimentação e as modificações morfocomportamentais sofridas pelas diferentes populações aquáticas podem ser avaliados pela utilização de bioindicadores propostos pela ecotoxicologia (Magalhães e Ferrão-Filho, 2008; Paulino et al., 2014; Pinto-Coelho, 2015; Dalzochio et al., 2016). Os contaminantes podem ter efeitos na sobrevivência animal, pois causam alterações bioquímicas, celulares, histológicas, comportamentais ou fisiológicas (Jesus e Carvalho, 2008). Os peixes são bastante utilizados como bioindicadores devido a suas interações com os contaminantes da água e por possibilitarem a mensuração desses efeitos subletais (Arias et al., 2007; Vaseem e Banerjee, 2016).

Contaminantes como os metais pesados e agrotóxicos podem causar estresse oxidativo nos peixes, provocando alteração na atividade de enzimas antioxidantes, alterações histopatológicas e nos níveis de componentes estruturais das células como lipídios e carboidratos (Atli, e Canli, 2010; Vaseem e Barnejee, 2016; Macêdo, et al., 2020).

A histologia tem se mostrado bastante eficaz para identificar os efeitos subletais que provocam alterações morfofisiológicas nos peixes (Laurent e Hebini, 1989; Paulino et al., 2014; Dalzochio et al., 2016; Marcon et al., 2016). A análise das alterações presentes nos diferentes órgãos de peixes como brânquias, fígado, testículos e ovários pode ser quantificada e qualificada, a depender das estruturas observadas (Marcon et al., 2015b).

As brânquias, em especial, são muito utilizadas por serem um órgão que possui ampla superfície de contato com a água (Martinez et al., 2004). Elas são fundamentais para o estudo das ações dos poluentes no meio aquático, pois são as primeiras a entrar em contato com o poluente e são responsáveis pela osmorregulação (Laurent e Hebini 1989; Lins et al., 2010). Dessa forma, as alterações apresentadas neste órgão refletem o desequilíbrio do organismo e afetam a sobrevivência dos animais.

Algumas alterações branquiais como dilatação do canal marginal, descolamento e rompimento de membrana, colapso lamelar, edema tecidual, desorganização lamelar, necrose e hiperplasia foram encontrados em *Ucides cordatus*, como resposta à contaminação ambiental por metais pesados (Jesus et al., 2020). Essas alterações também podem ser identificadas nas brânquias de lambaris *Astyanax altiparanae*, e por isto esta espécie foi eleita para este estudo.

O *A. altiparanae* é um dos principais peixes da pesca tradicional na bacia do rio Doce, além de ser uma espécie que pode sobreviver em ambientes lóticos e lênticos, tendo sido utilizado em estudos experimentais no Laboratório de Biologia de Peixes do Departamento de Veterinária da UFV e em outros estudos similares (Moraes, 2011; Marcon et al., 2015a; Costa-Silva et al. 2015). Essa espécie tem sido considerada ideal em estudos que buscam analisar biomarcadores morfológicos, principalmente por ser um animal que se encontra amplamente distribuído nas bacias, indicando respostas de efeitos crônicos, acumulativos e persistentes ao longo da cadeia trófica (Lins et al., 2010; Merçon et al., 2022). Dessa forma, as análises histológicas de brânquias desses peixes são indicadores interessantes para auxiliar a elucidar as condições ambientais e contribuir para ampliar a proposta de avaliação e monitoramento ambiental deste trabalho.

Portanto, a presente pesquisa teve como objetivos identificar e sistematizar etnoindicadores úteis para o monitoramento ambiental participativo e promover o diálogo entre estes indicadores e os indicadores científicos, que neste caso foram a avaliação da qualidade da água e da saúde dos peixes por meio de experimento ecotoxicológico. A dissertação está estruturada em dois capítulos: capítulo I, intitulado “Identificação e sistematização de etnoindicadores”, e capítulo II, intitulado “Utilização de peixes para avaliação da água da bacia hidrográfica do rio Doce”.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M.A., 1995. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. Taylor & Francis Group. 448p.
- Altieri, M.A., 1993. Ethnoscience e biodiversidade: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 46, p. 257-272.
- Atli, G., Canli, M., 2010. Response of antioxidant system of freshwater fish *Oreochromis niloticus* to acute and chronic metal (Cd, Cu, Cr, Zn, Fe) exposures. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** v. 73, p. 1884-1889.
- Alves, R., 1981. **Filosofia da ciência - Introdução ao jogo e suas regras**. Editora Brasiliense. 238p.
- Alves, C.B.M., Gomes, J.P.C., Pessali, T.C., Gasparini, J., 2021. Peixes ameaçados de extinção na bacia do rio Doce. **Livro vermelho da biota aquática do Rio Doce ameaçada de extinção pós rompimento da barragem de Fundão**: Mariana, Minas Gerais. p. 204-266.
- Alves, E.C., Silva, C.F., Cossich, E.S., Tavares, C.R.G., Filho, E.E.S., Carniel, A., 2008. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó - Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Sci. Technol.** v. 30, p. 39-48.
- Alves, R.R.N., Souto, W.M.S., 2015. Ethnozoology: A brief introduction. **Ethnobiol. Conserv.** v. 4, p. 1-13.
- Alves, R.R.N., Souto, W.M.S., 2011. Ethnozoology in Brazil: current status e perspectives. **J. Ethnobiol. Ethnomed.** v. 7, p. 1-18.
- Amaral, E.F., Bardales, N.G., Araújo, E.A., Oliveira, T.K., Franke, I.L., Oliveira, C.H.A., 2013. Classificação etnopedológica dos solos dos Kaxinawas da terra indígena Kaxinawa do Nova Olinda, município de Feijó, estado do Acre. In: **XXXIV Congresso brasileiro de ciência do solo**.
- ANA, Agência Nacional das Águas, 2016. **Encarte especial sobre a Bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG**, Ministério do Meio Ambiente. p. 1-50.
- Arretche, M., 2015. **Trajetórias das desigualdades: como o Brasil mudou nos últimos cinquenta anos**. Editora Unesp. 489p.
- Arias, A.R.L., Buss, D.F., Albuquerque, C., Inácio, A.F., Freire, M.M., Egler, M., Mugnai, R., Baptista, D.F., 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Cienc. e Saúde Coletiva.** v. 12, p. 61-72.
- Back, W., 1981. Hydromythology e ethnohydrology in the new world. **Water Resour. Res.** v. 17, p. 257-287.
- Barrera-Bassols, N., Zinck, J.A., 2003. Ethnopedology: A worldwide view on the soil knowledge of local people. **Geoderma.** v. 111, p. 171-195.
- Borda, O.F., 1999. **Orígenes universales y retos actuales de la IAP**. Anal. Político. p. 73-89.
- Brandão, C.R., 1987. **Repensando a pesquisa participante**. Editora Brasiliense. 249p.
- Brandão, C.R., 2006. **A pesquisa participante e a participação da pesquisa: um olhar entre tempos e espaços a partir da América Latina**. In: *Escritos Da Rosa Dos Ventos*. p. 21-54.

Brasil, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357/2005, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

Calixto, J.S., 2015. **De palmo em palmo a terra muda de jeito: diálogos sobre qualidade do solo**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 158p.

Carvalho, M.S., Ribeiro, K.D., Moreira, R.M., Almeida, A.M. de, 2017. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Bras.** v.1, p. 37.

Castillo, L., Ladio, A., 2018. Mammals e birds as ethno-indicators of change: their importance to livestock farmers in Arid Patagonia (Argentina). **Environ. Dev. Sustain.** v. 20, p. 2161-2179.

Castillo, L., Ladio, A., 2017. Traditional veterinary solutions for herders living in limited e changing conditions: A case study of “crianceros” of Central Northern Patagonia, Argentina. **J. Arid Environ.** v. 145, p. 90-101.

Castillo, L., Rostagno, C.M., Ladio, A., 2020. Ethnoindicators of environmental change: Local knowledge used for range management among smallholders of Patagonia. **Rangel. Ecol. Manag.** v. 73, p. 594-606.

Chambers, R., 1994. The origins e practice of participatory rural appraisal. **World Dev.** v 22, p. 953-969.

Chambers, R., 1983. **Rural development: putting the last first**. Routledge. 257p.

Coelho, A.L.N., 2009. Bacia hidrográfica do Rio Doce(MG/ES):uma análise socioambiental integrada. **Rev. Geogr.** v. 7, p. 131-146. <https://doi.org/10.7147/geo7.156>

Cordeiro, J., Gomes, A.R., Santos, C.H.B., Rigobelo, E.C., Baptista, M.B., Moura, P.M., Scotti, M.R., 2022. Rehabilitation of the Doce River Basin after the Fundação dam collapse: What has been done, what can be done and what should be done? **River Res. Appl.** v. 38, p. 194-208. <https://doi.org/10.1002/rra.3894>

Costa-Silva, D.G., Nunes, M.E.M., Wallau, G.L., Martins, I.K., Zemolin, A.P.P., Cruz, L.C., Rodrigues, N.R., Lopes, A.R., Posser, T., Franco, J.L., 2015. Oxidative stress markers in fish (*Astyanax* sp. and *Danio rerio*) exposed to urban and agricultural effluents in the Brazilian Pampa biome. **Environ. Sci. Pollut. Res.** v. 22, p. 15526-15535.

Dalzochio, T., Rodrigues, G.Z.P., Petry, I.E., Gehlen, G., Silva, L.B., 2016. The use of biomarkers to assess the health of aquatic ecosystems in Brazil: a review. **Int. Aquat. Res.** v. 8, p. 283-298.

Davila, R.B., Fontes, M.P.F., Pacheco, A.A., Ferreira, M.S., 2020. Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil. **Sci. Total Environ.** v. 709, p. 136151.

Dias, C.A., Costa, A.S.V., Guedes, G.R., Umbelino, G.J.M., Sousa, L.G. de, Alves, J.H.A., Silva, T.G.M., 2018. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. **Rev. Espinhaço.** v. 7, p. 21-35.

Ferreira, F.F., Freitas, M.B.D., Szinwelski, N., Vicente, N., Medeiros, L.C.C., Schaefer, C.E.G.R., Dergam, J.A., Sperber, C.F., 2020. Impacts of the Samarco tailing dam collapse on metals and arsenic concentration in freshwater fish muscle from Doce River, southeastern Brazil. **Integr. Environ. Assess. Manag.** v. 16, p. 622-630.

- Freire, P., 1987. **Pedagogia do oprimido**. Editora Paz e Terra. 129p.
- Freire, P., 1985a. **Extensão ou comunicação?** Editora Paz e Terra. 93p.
- Freire, P., 2011. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários a prática da autonomia**. Editora Paz e Terra. 100p.
- Freire, P., 1985b. **Por uma pedagogia da pergunta**. Editora Paz e Terra. 84p.
- Freitas, C.M., Silva, M.A., Menezes, F. Carvalho, 2016. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Cienc. Cult.** v. 68, p. 25-30.
- Gomes, J.C.C., Assis, W.S., 2013. **Agroecologia: Princípios e reflexões conceituais**, 2nd ed. EMBRAPA, Brasília. 262p.
- Jesus, W.B., Erade, T.S.O.M., Soares, S.H., Pinheiro-Sousa, D.B., Oliveira, S.R.S., Torres, H.S.T., Protazio, G.S., Silva, D.S, Santos, D.M.S., Neta, A.V.C., Benjamin, L.A., Neta, R.N.F.C., 2020. Biomarkers e occurrences of heavy metals in sediment e the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. **Chemosphere.** v 271, p. 129444.
- Laranjeira, N.P., Carcelle, S., Mirea, D., Sá, T.D.A., Trento, L.G., Souza, T.S., Cardoso, I.M., 2019. Para uma ecologia de saberes: Trajetória da construção do conhecimento agroecológico na associação brasileira de agroecologia. **Rev. Bras. Agroecol.** v. 14, p. 65-79.
- Latour, B., 1991. **Crise**. In: Jamais fomos modernos. 157p.
- Laurent, P., Hebibi, N., 1989. Gill morphometry and fish osmoregulation. **Can. J. Zool.** v. 67, p. 3055-3063.
- Lins, J.A.P.N., Kirschnik, P.G., Queiroz, V.S., Cirio, S.M., 2010. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Rev. Acadêmica Ciência Anim.** v. 8, 469-484.
- Londoño, S.Q., 2021. Capitalismo y pandemia. Reflexiones marxistas. **Rev. Em Pauta**, v. 19, p. 26-47.
- Lopes, D.S., 2015. **Efeitos do inseticida Dimilin® na morfologia de brânquias de machos e fêmeas de *Hyphessobrycon eques* adultos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal de Viçosa. 60p.
- Macêdo, A.K.S., Santos, K.P.E. dos, Brighenti, L.S., Windmüller, C.C., Barbosa, F.A.R., Ribeiro, R.I.M. de A., Santos, H.B., Thomé, R.G., 2020. Histological and molecular changes in gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lütken, 1875) exposed to water from the Doce basin after the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Sci. Total Environ.** v. 735, p. 139505.
- Magalhães, D. P., Ferrão-Filho, A. S., 2008. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Aust.** p 355-381.
- Maia, F.F., 2017. **Elementos traços em sedimentos e qualidade da água de rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 57p.
- Marcon, L., Bazzoli, N., Honor Mounteer, A., Benjamin, L.A., 2015a. Histological e histometric evaluation of the liver in *Astyanax bimaculatus* (Teleostei: Characidae), exposed to different concentrations of an organochlorine insecticide. **Anat. Rec.** p 1754-1764.

- Marcon, L., Lopes, D.S., Mounteer, A.H., Goulart, A.M.A., Leero, M.V., Benjamin, L.A., 2016. Pathological e histometric analysis of the gills of female *Hyphessobrycon eques* (Teleostei:Characidae) exposed to different concentrations of the insecticide Dimilin®. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 131, 135-142.
- Merçon, J., Cabral, D.S., Teixeira, B.C., Pereira, T.M., Bona, A.M., Armini, C.V.L., Agostinho, S.G.N., Vasconcelos, C.M., Gomes, L.C., 2022. Seasonality effects on the metal concentration e biochemical changes in *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characiformes) from Doce River after the collapse of the Fundão dam in Mariana, Brazil. **Environ. Toxicol. Pharmacol.** v 89. p 103777.
- Milanez, B., Santos, R.S.P., Weerley, L.J.M., Mansur, M.S., Pinto, R.G., Gonçalves, R.J.A.F., Coelho, T.P., 2015. **Antes fosse mais leve a carga : avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG)**. Grupo Política, Economia, Mineração, Ambiente e Sociedade. 100p.
- Moraes, J.C., 2011. **Efeitos do Thiodan® (Endosulfan) nas brânquias de Astyanax aff. bimaculatus**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal de Viçosa.
- Paulino, M.G., Benze, T.P., Sadauskas-Henrique, H., Sakuragui, M.M., Fernees, J.B., Fernees, M.N., 2014. The impact of organochlorines e metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: Bioaccumulation e histopathological biomarkers. **Sci. Total Environ.** p. 293-306.
- Pinto-Coelho, R.M., 2015. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arq. Mus. História Nat. Jard. Botânico da UFMG.** p 28.
- Pires, L.G., 2020. **A água não está para peixe: etnohidrologia e os indicadores de qualidade da água**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. Universidade Federal de Viçosa. 78p.
- Rodrigues, A.S. de L., 2012. **Caracterização da bacia do Rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: Avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background**. Tese de doutorado - Programa Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Univ. Fed. Ouro Preto.
- Santos, B.S., 2007. Para além do pensamento abissal: das linhas globais a uma ecologia de saberes. **Novos Estudos.** CEBRAP v. 79, p. 71-94.
- Santos, M., 2001. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 5ª. ed. Record, Rio de Janeiro. 236p.
- Santos, M.A. L., Sol, N.A.A., Modena, C.M., 2020. Território e desterritorialização: o sofrimento social por desastre ambiental decorrente do rompimento de barragens de mineração. **Saúde em Debate.** v. 44, p. 262-271.
- Schaefer, C.E.G.R., Santos, E.E., Filho, E.I.F., Assis, I.R., 2016. **Paisagens de lama: Os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo deastre da barragem do Fundão, em Mariana**. In: A Ciência Do Solo e o Desastre de Mariana. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 18-23.
- Sousa, I.S.F., Cabral, J.R.F., 2009. Ciência como instrumento de inclusão social. **EMBRAPA Informação Tecnológica.** Brasília, DF. 390p.

- Tavares de Lima, J.R., Silva, José N., 2017. Agroecologia e espiritualidades, o reencontro necessário. **VI Congr. Latino-americano Agroecol. X Congr. Bras. Agroecol. V Semin. do DF e Entorno.** v. 13, n. 1.
- Toledo, V.M., Barrera-Bassols, N., 2008. **La memoria biocultural.** Icaria ed. Barcelona. 232p.
- van der Ploeg, J.D., 2014. Dez qualidades da agricultura familiar. *Agriculturas experiências em Agroecologia.* **Cad. para Debate.** p. 7-14.
- Vaseem, H., Banerjee, T.K., 2016. Evaluation of pollution of Ganga River water using fish as bioindicator. **Environ. Monit. Assess.** p.188.
- Viana, J.P., 2017. Os pescadores da bacia do rio Doce: subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da SAMARCO em Mariana, Minas Gerais. **Nota Técnica - IPEA.** p. 104-113.
- Vieira, Fábio; Gomes, João P.C.; Maia, Bruno P.; Silva, L.G.M., 2015. **Peixes do Quadrilátero Ferrífero; guia de identificação.** Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte. 208p.
- West, A.O., Nolan, J.M., Scott, J.T., 2016. Optical water quality e human perceptions of rivers: an ethnohydrology study. **Ecosyst. Heal. Sustain.** v. 2, p. 01230.
- Wilson, N.J., Walter, M.T., Waterhouse, J., 2015. Indigenous knowledge of hydrologic change in the Yukon River Basin: a case study of Ruby, Alaska. **Arctic.** v. 68, p. 93-106.

CAPÍTULO I

IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS ETNOINDICADORES

RESUMO

O rompimento da barragem de Fundão foi responsável pelo maior desastre ambiental mundial desde a década de 1960. As consequências para a fauna e para a flora foram imensuráveis, mas as pessoas também foram drasticamente prejudicadas com a ruptura dos ciclos, da paisagem e das relações que construíram, ao longo do tempo, no território do rio Doce. A ausência dessas pessoas nos processos de avaliação, monitoramento e recuperação do ecossistema gerou insatisfações, dúvidas e inseguranças, além de prejudicar a eficiência das medidas reparatórias e de recuperação do ambiente. Os saberes populares são construídos ao longo do tempo pelas pessoas, aprimorados pelas gerações e contribuem para o entendimento da complexidade do ecossistema. Esse capítulo objetivou identificar e sistematizar etnoindicadores ambientais com as comunidades atingidas, identificar e analisar a percepção dos atingidos/as sobre as mudanças ambientais relacionados à água, aos peixes, ao rio, ao solo, às plantas e aos animais domésticos e avaliar a contribuição dos etnoindicadores para a realização do monitoramento ambiental participativo. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas e caminhadas transversais com 12 famílias selecionadas nas comunidades existentes ao longo do rio Gualaxo do Norte. A análise de conteúdo permitiu identificar 30 etnoindicadores que podem ser utilizados para monitoramento ambiental da bacia hidrográfica do rio Doce e que estão ligados a seis diferentes temas conectados com o ambiente e o ecossistema. Concluiu-se que agricultores/as possuem amplo conhecimento sobre o território, os ciclos hidrológicos, os peixes, o solo, as plantas e sobre a dinâmica de mudança ambiental. Portanto, esse conhecimento é fundamental para auxiliar na tomada de decisões no território, bem como para empoderar as comunidades dos seus saberes e possibilitar que as pessoas sejam protagonistas no desenho das estratégias de recuperação ambiental.

Palavras-chave: Saberes populares. Etnociência. Monitoramento ambiental.

1. INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem do Fundão em Mariana, Minas Gerais, acarretou consequências desastrosas e, muitas delas, irreversíveis. O despejo do rejeito levou à contaminação dos corpos d'água, do solo, dos animais e de seres humanos (Pinto-Coelho, 2015; Milanez et al., 2015). O território atingido pelo desastre/crime foi o da bacia hidrográfica do rio Doce, a mais importante pertencente ao Sudeste do país (ANA, 2016; Milanez et al., 2015; 2016). A dinâmica das águas interfere e determina a adaptação das atividades humanas, as habilidades que serão desenvolvidas ao longo do tempo (como a pesca e a culinária) e está ligada ao manejo agrícola (Toledo e Barrera-Bassols, 2008).

Além disso, as formas de captação, avaliação e manejo da água são tidas como prioridade uma vez que a água é o elemento primordial à vida e pilar da existência coletiva (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Pires, 2020). No território do desastre/crime, estudar a água, rios e peixes é importante, não apenas porque foram extensamente atingidos e prejudicados, mas também pela importância que as relações com estes elementos têm para a construção da existência coletiva do território (Milanez et al., 2015). Entretanto, no ambiente os elementos estão conectados. Assim, a dinâmica do solo e da água estão estreitamente articuladas, pois o relevo influencia não só na infiltração da água, como também é influenciado por ela, o que pode alterar a disponibilidade da água superficial (Nogueira et al., 2012). Além disso, a hidrodinâmica do solo interfere diretamente na sua qualidade química, física e biológica (Souza et al., 2014).

A partir dos rios e ao redor de suas margens uma imensidão de saberes foram construídos (Milanez, 2015; 2016). Entretanto, estes saberes não foram mobilizados e as pessoas, em geral, não foram chamadas para contribuir com o monitoramento e avaliação dos danos provocados pelo rompimento da barragem, que ficaram a cargo dos cientistas e de técnicos de empresas contratadas para prestar serviços de reparação. A ausência das pessoas que foram atingidas por esse desastre/crime ambiental nos processos de avaliação e monitoramento do ambiente é responsável pela insatisfação quanto ao processo, dúvidas e incertezas que ainda persistem quanto a produção, consumo e comercialização de produtos no território atingido (Milanez et al., 2015).

A avaliação dos danos provocados pelo rompimento da barragem só será efetiva quando os diversos saberes presentes no território forem mobilizados e articulados com os conhecimentos científicos. A ciência moderna, em geral, considera que apenas os conhecimentos científicos são importantes e despreza os saberes populares. Entretanto, a

Agroecologia, uma ciência pós-moderna, tem como princípio epistemológico a articulação entre o conhecimento científico e a sabedoria popular (Laranjeiras et al., 2019). Enquanto ciência, a Agroecologia reconhece, estuda e considera a pluralidade, a subjetividade e o contexto relacionado a esses saberes, pois entende a necessidade de uma educação popular libertária que permita a emancipação das pessoas (Freire, 1985b, 1987; Laranjeira et al., 2019).

Segundo Barrios et al. (2006), o saber dos povos tradicionais e o conhecimento científico compartilham vários conceitos comuns. Contudo, cada sistema de conhecimento tem lacunas que, em muitos casos, podem ser interpenetrados umas pelas outras. Zabaniotou et al., 2020, corrobora esse preceito ao discutir sobre a importância da transdisciplinaridade para a resiliência dos ecossistemas e afirma que é possível desenhar estratégias mais eficientes para superar as vulnerabilidades sociais e ecológicas quando essa abordagem é adotada. Portanto, a complementariedade dos saberes é capaz de auxiliar a entender os problemas complexos e dinâmicos, como aqueles provocados pelo rompimento da barragem. Por isso, é preciso que o conhecimento técnico-científico seja posto em diálogo com o saber tradicional, sem que ocorra invalidação e/ou sobreposição deste ou daquele.

A articulação crítica entre o conhecimento científico e o popular é fundamental para garantir a construção de um conhecimento contextualizado e comprometido com a realidade social (Brandão, 2006). Essa articulação entre conhecimentos exige a construção de relações horizontais entre as pessoas, para que seja possível promover o diálogo entre pesquisadores e famílias agricultoras (Altieri, 1995; Lopes, 2018).

A etnociência, enquanto ciência, se ocupa do estudo dos saberes populares acumulados ao longo do tempo pelos povos tradicionais, indígenas camponeses e agricultores familiares (Sangkhamanee, 2007; Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Dessa forma, tem contribuído com a Agroecologia na construção do conhecimento contextualizado que garanta a regeneração e preservação da biodiversidade e dos bens naturais que são, por sua vez, princípios centrais dos saberes tradicionais e populares (Altieri, 1995; Altieri e Nicholls, 2000).

A sabedoria popular é complexa e produzida a partir da observação do local, dos elementos, a exemplo do solo, relevo, vegetação, água e animais que não são observados de forma isolada, mas imbricados nas relações e conexões que possuem entre si (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). A sistematização desses saberes pode apontar os etnoindicadores muito utilizados pela etnociência, e que são desenvolvidos pelas populações, ao longo do tempo, como estratégias para monitorar e avaliar (Barrios et al., 2006), de forma participativa, situações-problema como aquelas provocadas pelo rompimento de barragens.

Estudos em etnopedologia e etnohidrologia identificam etnoindicadores de qualidade do solo e da água que refletem a diversidade e dinamicidade do conhecimento das populações locais na avaliação do ambiente (Calixto, 2015; Castillo et. al. 2020; Pires, 2020). No caso do rompimento da barragem do Fundão, é fundamental que os saberes locais sejam mobilizados e que as pessoas que foram atingidas sejam protagonistas no desenho de estratégias de monitoramento e avaliação ambientais necessários para o entendimento das consequências provocadas pelo desastre/crime e para a busca de alternativas que transformem a realidade em que vivem.

Para a identificação e sistematização dos etnoindicadores, pode se recorrer aos princípios da pesquisa participante e as técnicas participativas propostas pelo Diagnóstico Rural Participativo (DRP). Na pesquisa participante, a sabedoria popular deve conduzir o processo de construção do conhecimento e da investigação científica (Rocha, 2004). As técnicas qualitativas do DRP, como a observação participante, entrevistas semiestruturadas, caminhadas transversais e oficinas de trabalho, quando utilizadas na pesquisa científica, colocam o pesquisador a serviço da prática política da comunidade (Brandão, 1987; Rocha, 2004) e não o contrário, ou seja, a comunidade a serviço do pesquisador. A pesquisa participante, como abordada por Freire (1985a) e Brandão (1987), está intimamente ligada com a educação libertadora e a prática como forma de aprendizado.

O objetivo geral da pesquisa foi identificar e sistematizar etnoindicadores ambientais com as comunidades atingidas, identificar e analisar a percepção dos/as atingidos/as sobre as mudanças ambientais relacionadas à água, aos peixes, ao rio, ao solo, às plantas e aos animais domésticos, e analisar a contribuição dos etnoindicadores para a realização do monitoramento ambiental participativo.

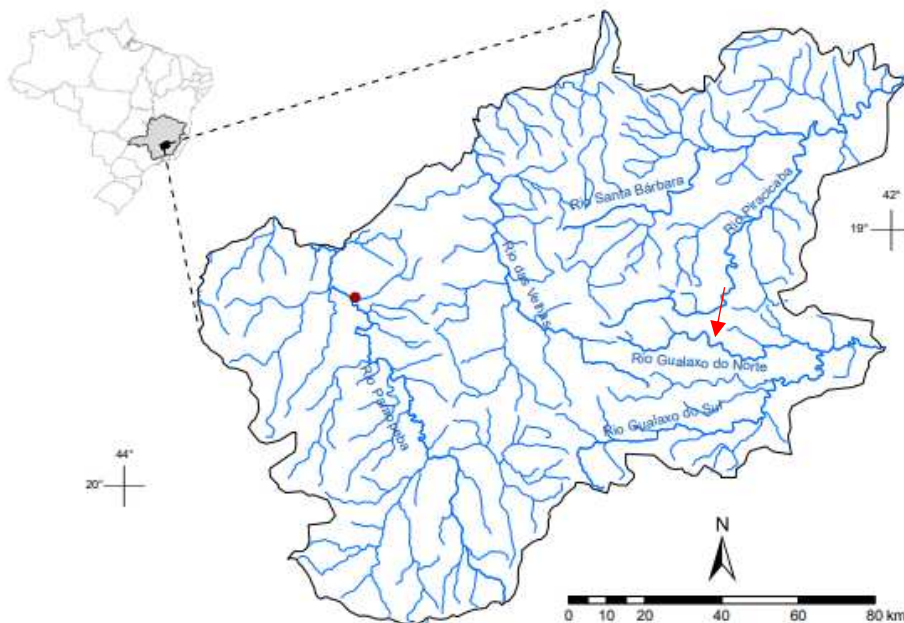
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida nos municípios de Mariana (comunidade de Campinas e Paracatu de Cima) e Barra Longa (comunidades de Barreto e Gesteira), Minas Gerais, situadas às margens do rio Gualaxo do Norte. Essas comunidades estão localizadas em um raio de 77 km a partir do local do rompimento da barragem e estão localizadas na região mais afetada pelo desastre/crime. A pesquisa envolveu 12 famílias, sendo quatro da comunidade de Barreto, três

da comunidade de Campinas, quatro da comunidade de Gesteira e uma da comunidade de Paracatu de Cima.

FIGURA 1. Mapa do Brasil com destaque em Minas Gerais e ampliado na parcela da bacia hidrográfica do rio Doce onde o estudo foi realizado. Fonte: Peixes do Quadrilátero Ferrífero -- Guia de Identificação (Vieira, et al. 2015, Fundação Biodiversitas).



2.2 Seleção das famílias

A seleção das famílias para participar da pesquisa foi realizada em parceria com a OCA (Organização Cooperativa de Agroecologia), com sede em Viçosa e em Acaiaca, Minas Gerais. A instituição desenvolve trabalhos na região desde 2019 e possui conhecimento do território e bom relacionamento com as famílias, o que facilitou a seleção, mobilização e participação das mesmas nas atividades desenvolvidas. Além disso, a apresentação da equipe de pesquisa para as famílias, a partir da intermediação da cooperativa, foi fundamental para a inserção amistosa

da equipe de pesquisa no território e ajudou a estabelecer relações de confiança com as comunidades, necessárias para o desenvolvimento da pesquisa participante realizada.

Os critérios de seleção das famílias para participar da pesquisa foram: ter sido atingida pelo desastre/crime; possuir quintal produtivo atingido pelo rejeito; ser morador das comunidades de Campinas, Paracatu de Cima, Barreto ou Gesteira; e aceitar assinar o Termo de consentimento livre e esclarecido.

2.3 Equipe de pesquisa

A equipe de pesquisa foi composta por duas estudantes de pós-graduação, sendo uma mestranda em Agroecologia e uma doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas. Participaram também técnicos da Organização Cooperativa de Agroecologia (OCA), alunos de graduação e professores do Departamento de Veterinária e do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

2.4 Identificação e sistematização dos etnoindicadores

2.4.1 Entrevista semiestruturada, caminhada transversal e observação participante

Com todas as famílias foram realizadas visitas, entrevistas semiestruturadas e caminhada transversal nas propriedades.

As visitas foram realizadas em dupla ou em trio, com duração média de 3h por família. Inicialmente, as pesquisadoras eram apresentadas às famílias por meio de um ou dois técnicos da OCA. O projeto e as pesquisadoras eram apresentados e perguntava-se se a família estava disposta a participar da pesquisa. Caso a família concordasse, a conversa se iniciava e era relatada em diários de campo pelas duas pesquisadoras e/ou por uma pesquisadora de graduação, bolsista do projeto.

Durante as visitas, foram realizadas as entrevistas semiestruturadas, com temas que são previamente estruturados em um roteiro (Anexo 1), que funciona como uma guia a ser utilizado para nortear a entrevista. O roteiro é memorizado previamente e não utilizado como um questionário, o que possibilita que as respostas sejam mais espontâneas, além de facilitar a interação entre os sujeitos (Boni e Quaresma, 2005; Geilfus, 2002). O roteiro foi adaptado ao longo das visitas, de acordo com a necessidade, percepção e sensibilidade das pesquisadoras, com o objetivo de facilitar o estabelecimento da relação de confiança e de incorporar os

principais temas da pesquisa. Quando se esgotavam os temas propostos pelo roteiro e as informações começavam a se repetir, a entrevista era finalizada e a família era convidada a realizar a caminhada transversal na propriedade.

Durante a caminhada eram confirmadas as falas e tomados exemplos das observações colhidas durante a entrevista. Estes momentos foram importantes para troca de conhecimento entre as pesquisadoras e as famílias.

Durante a visita, a equipe de pesquisadoras, interagiu com a família, estimulou comentários e interpretações mais espontâneos e conectados com a sua realidade, como preconizado pela observação participante (Geilfus, 2002; Marietto, 2018).

2.4.2 Organização das informações

Após o término das visitas, ao final do dia, as duas pesquisadoras (e outros participantes) repassavam todas as informações obtidas durante as entrevistas e estas eram transcritas integralmente em forma de texto.

2.4.3 Análise de conteúdo e identificação de etnoindicadores

As entrevistas foram analisadas seguindo os princípios análise de conteúdo proposta por Bardin (1977). A análise de conteúdo é descrita como uma técnica de investigação que utiliza um conjunto de práticas de análise das comunicações para obter indicadores (quantitativos ou não) que permitam inferir os conhecimentos imbricados a estas mensagens (Bardin, 1977).

A análise foi realizada em três etapas: (i) pré-análise, (ii) exploração do material e (iii) tratamento dos resultados. Na primeira etapa, durante as entrevistas e a coleta das informações, foram estabelecidos os critérios exaustividade, representatividade, homogeneidade, pertinência e exclusividade (Bardin, 1977; Santos, 2012), fundamentais para encerrar as entrevistas e para a categorização dos dados.

Na segunda etapa foi construído o *corpus textual*, que foi utilizado para leitura, categorização, interpretação e inferência. Para a categorização dos dados foram escolhidos seis temas centrais: (i) peixes (ii) rio, (iii) água, (iv) solo e/ou rejeito, (v) plantas e culturas, (vi) animais.

A terceira etapa, que consiste no tratamento dos resultados, foi ancorada no princípio da inferência. Para realizar esta etapa é necessário que este processo esteja ancorado ao referencial teórico que dê embasamento e sentido às interpretações, uma vez que o papel da inferência é

buscar o que está por trás dos significados das palavras e apresentar, em profundidade, o discurso dos enunciados (Bardin, 1977; Santos, 2012).

A interpretação aqui realizada foi discutida por meio dos conceitos de “saber de experiência feito”, cunhado por Paulo Freire e na indissociabilidade deste saber à memória biocultural (Freire, 1985b; Pereira, 2017; Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Este conceito, por sua vez, está imbricado ao tecido social e é fundamental para dar sentido não só à existência coletiva, como também aos aprendizados passados pelas gerações e à maneira com que agricultores e agricultoras tomam as decisões em relação ao ambiente em que estão inseridos (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). A análise do conteúdo permitiu a identificação dos etnoindicadores.

2.5 Normas de conduta para pesquisa com seres humanos

Esta pesquisa foi submetida e aprovada pela Plataforma Brasil e pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFV (parecer nº 4.721.042) e somente foi realizada após o parecer favorável das mesmas.

A pesquisa de campo foi desenvolvida ainda no contexto da pandemia do COVID 19, mas apenas quando as condições sanitárias permitiram e com toda precaução necessária (adoção de protocolo de segurança). Todas as entrevistas foram realizadas com o uso de máscara e álcool em gel, distanciamento social, com resultados negativos para o teste de COVID-19, apresentados pelas pesquisadoras, testes estes realizados anteriormente a todas as visitas. Os encontros presenciais só foram realizados após a deliberação e aprovação do Comitê Pós-Pandemia da UFV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total, 30 etnoindicadores foram encontrados que são úteis para a avaliação ambiental e percepção das mudanças do ecossistema. O eixo temático com maior diversidade de etnoindicadores está relacionado ao solo e/ou rejeito (Tabela 1). Os indicadores mais comumente apontados pelas famílias foram diversidade de peixes (11), qualidade do solo (11) e desenvolvimento das plantas (10).

TABELA 1. Etnoindicadores identificados e organizados por tema e frequência com que as famílias se referiram a eles.

EIXO TEMÁTICO	ETNOINDICADORES	Nº DE FAMÍLIAS QUE RELATARAM
Rio	Profundidade	3
	Cor e tempo e decantação dos sedimentos	8
	Morfologia do rio	4
Água	Proteção das nascentes	3
	Escolha da utilização da água	3
	Abundância	3
Solo/Rejeito	Qualidade das várzeas	3
	Dureza	4
	Consistência	4
	Cor	5
	Capacidade de retenção de água	4
	Qualidade	11
	Cobertura	1
	Erosão	2
	Textura	3
	Temperatura	5
	Fauna	2
Manejo	3	
Plantas e culturas	Desenvolvimento das plantas	10
	Qualidade	4
	Plantas espontâneas	3
	Cor	4
	Taxa de crescimento	1
	Produtividade	5
	Aparência	2
Peixes	Diversidade de peixes	11
	Sensibilidade	3
Animais	População	5
	Retorno	6
	Mudança de hábitos alimentares	1

3.1 Rio

Os etnoindicadores relacionados ao rio foram cor e tempo de decantação dos sedimentos, profundidade e morfologia do rio (Tabela 1). Para os entrevistados, o rompimento ocasionou mudanças na cor e no comportamento dos sedimentos presentes no rio e foi o indicador, relacionado ao rio, mais frequentemente identificado nas entrevistas (Tabela 1):

“A água só tem aparência de limpa. Quando você atravessa vem o barro vermelho. Antes levantava aquela areia, mas logo quietava, sumia”

(Mulher, família 2).

“A cor da água é diferente, suja, mas demora muito pra limpar”

(Homem, família 7).

“A água era até azul, hoje ela é vermelha”

(Mulher, família 11).

“O rio hoje é muito diferente. A água hoje só fica suja”

(Homem, 12).

Os relatos se referem à turbidez da água e as modificações na coloração do rio. O rio Doce é palco de depósito de sedimentos e contaminantes, principalmente devido as consequências das ações antrópicas praticadas, há muito tempo, no território (Freitas et al., 2016; Reis et al., 2020) e com o rompimento da barragem adicionou-se 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro. Os níveis de turbidez da água do rio atingiram patamares superiores a 6.000 vezes o valor máximo permitido pela legislação para corpos de água Classe 2 (606.200 NTU) (iGAM, 2015; Alves et al., 2021). No período de chuvas esses resíduos são suspensos e se misturam na água o que leva a mudanças na coloração do rio e de outros parâmetros físicos, como a turbidez, observadas pelos atingidos.

Com a adição das partículas do rejeito, o comportamento espectral da água do rio Doce foi afetado. Um estudo avaliou a reflectância da água do rio Doce por meio de imagens de satélite e seus resultados mostraram que a imagem, logo após o rompimento, apresentou a maior

reflectância, além de refletir na banda NIR (infravermelho), o que significa que a água continha elevado teor de sólidos suspensos e, conseqüentemente, alta turbidez (Almeida et al., 2019). Ainda segundo Almeida et al. (2019), apesar da reflectância ter se assemelhado às condições anteriores ao desastre, mesmo passado alguns meses do ocorrido, a água do rio ainda apresentava alta reflectância na banda do verde em comparação ao período de 2014 (anterior ao desastre). Isso revela que os sólidos suspensos na água interferem na sua turbidez e coloração. Outra consequência importante da diminuição da translucidez da água é a inibição da entrada de luz solar e de oxigênio dissolvido, que estão diretamente relacionados com as condições para manutenção da vida aquática (Almeida et al., 2019).

Os indicadores de mudança ambiental apontados pelas famílias participantes desta pesquisa estão de acordo com aqueles apontados por Pires (2020). Segundo esta autora, os indicadores classicamente utilizados pela ciência são muito similares àqueles que as pessoas utilizam para avaliar a qualidade da água. Estes indicadores descritos pela ciência moderna já eram também utilizados pelos Maias de Iucatã, no México, a exemplo do sabor, cor, odor e turbidez (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Neste estudo também foi possível perceber a utilização desses indicadores, principalmente no que diz respeito à água boa ser a água clara/limpa (cor e turbidez):

“Agora é que a água clareou, mas quando chove vira meleca. A água era limpinha, eu nunca tive noção que se uma barragem estourasse ia cair no rio. A cor do barro é muito diferente, parece um ferro. Pra mim agora que está clareando”
(Homem, família 4).

“Antes a água ficava clarinha, antes da enchente [passagem do rejeito] era da cor dessa água do litro aqui”
(Homem, família 8).

“Por isso a água hoje já tá bem limpa. Levou uns dois anos pra água limpar. Já dá pra ver os cascalhos, antes era só minério”
(Homem, família 11).

Apesar da percepção de melhora na coloração do rio e da aparente limpeza da mesma, a contaminação ainda está presente e houve mudanças no tempo de decantação dos sedimentos,

pois o rejeito alterou as características de turbidez do rio além de acrescentar uma grande quantidade de rejeito de minério de ferro (Almeida et al., 2019).

A utilização da memória é fundamental para estabelecer a relação de comparação e para a construção do saber (Toledo e Barrera-Bassols, 2008) e é estimulada quando os entrevistados fazem comparações ao longo do tempo, como é o caso da espera para a água “limpar” e quando se recordam de outros momentos nos quais o ambiente em que vivem sofreu distúrbios. Exemplo disto foi quando o entrevistado da família 3 se lembrou do tempo de criança, quando o primeiro cano de mineroduto foi construído na região. O entrevistado relatou que a primeira vez que o rio ficou sujo foi com o rompimento do mineroduto.

Assim como as barragens, os minerodutos utilizados para transporte do minério de ferro são comuns em Minas Gerais, principal palco da exploração de minério de ferro no Brasil. O estado tem um dos maiores e mais completos parques siderúrgicos do país, construídos à custa de drásticas mudanças paisagísticas e de contaminação de solo e das águas pelos sedimentos e resíduos gerados, dentre outras consequências (Espindola et al., 2012; Sobreira, 2014).

A “profundidade” e a “morfologia” do rio também são indicadores utilizados pela população para avaliar a qualidade do rio e expressam o conhecimento que as pessoas possuem do território e da paisagem, sendo utilizados para avaliar a situação pós-rompimento da barragem. Estes indicadores estão associados à pesca e ao lazer. Segundo os moradores:

“O rio ficou mais raso, mas tem lugar que ficou mais fundo”

(Homem, família 1).

“O rio afundou demais, a lama levou as pedras”

(Homem, família 3).

“Tem partes do rio que não tem nem fundura, no máximo 70cm. Tem lugares que ficaram muito rasos”

(Homem, família 4).

Segundo relatório feito por Milanez et al. (2015), um dos impactos gerados no rio Doce é o assoreamento do leito pelo depósito de lama. O rompimento ocorreu em um dos períodos de seca mais extrema do território e o sedimento não foi levado completamente para o mar e ficou depositado no fundo dos rios e às suas margens. Esse depósito no fundo dos rios e os

impactos físicos do rejeito nas margens são responsáveis pelas modificações no leito e no ambiente, na dinâmica local e na forma como as pessoas interagem com o rio. Segundo os atingidos:

“O rio ficou pra cá porque eles jogaram as pedras pro lado de lá. Tinha uma pedra no meio do rio, a gente ficava, tomava sol, banho. Agora não tem mais. Trocou a curva do rio. A beira do rio mudou, o rio está encostado para o lado de cá e não dá pra mudar de lado agora (...) O rio era cheio de pedras furadinhas, linda. O rio dava para ver as pedras, agora não dá mais”

(Homem, família 3).

“Antigamente tinha praia, pegava areia e usava pra construção”

(Homem, família 4).

A exemplo de outros povos, os agricultores e as agricultoras do rio Doce detêm amplo conhecimento relacionado à hidrologia e topografia do local. Eles e elas reconhecem a dinâmica de inundação, o limite das águas durante as cheias, as características dos sedimentos, dentre outros (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). No entanto, o desastre/crime causou distúrbio nesta dinâmica e o conhecimento associado à nova dinâmica precisa ser construído.

A presença de locais para lazer são citados com nostalgia, pois faziam parte da rotina das pessoas. Além disso, a paisagem fluvial foi modificada, como também é relatado por Mota et al. (2017). Segundo os autores, as mudanças na morfologia da calha fluvial do rio não indicam alteração das vazões, mas sim intensas modificações paisagísticas principalmente no rio Gualaxo do Norte (onde esta pesquisa foi realizada) e no rio Carmo. Para os pesquisadores, não houve modificação significativa capaz de alterar as características morfológicas da calha do rio, no entanto, é desconsiderado que a paisagem fluvial faz parte da morfologia do rio e que as mudanças nesse aspecto são identificadas pelos atingidos. Os relatos das alterações paisagísticas revelam impacto na vida dos/as atingidos/as que nem sempre identificados pelos cientistas. Muitas vezes, o deslocamento de uma pedra passa despercebido aos olhos dos pesquisadores, mas não dos moradores que a utilizavam para o descanso, o lazer e a pesca.

Não só isso, a lama carregou consigo o mundo comunitário, as práticas relacionadas ao lazer, a rotina, a reciprocidade e o arcabouço de saberes existentes na especificidade do mundo

que ali foi construído, com o passar dos anos. O universo imaterial passa a ser predominante nas perdas, como é relatado na fala de um dos entrevistados:

“Não está mais aquela lama, a natureza voltou. O invisível que é o que não consegue ver não volta ao normal, como era antes”
(Homem, família 7).

O mundo invisível é representado pelas relações construídas no território e por meio dele, como defendido por Santos (2001) ao afirmar que as explicações mecanicistas não são suficientes, mas “a maneira como, sobre essa base material, se produz a história humana que é a verdadeira responsável pela criação da torre de babel em que vive a nossa era globalizada”. A ampliação do olhar para além do que está posto na superfície é fundamental para entender que as modificações na paisagem estão intimamente conectadas com a ruptura dos modos de vida presentes no território.

Entre os invisíveis está a socialização que a pesca propiciava. A pesca não é importante só para a alimentação, pois representa parte importante do lazer e cultura local, como é o caso de uma entrevistada que relata o hábito de pesca diário, mas que não era utilizado para seu próprio consumo. Os peixes eram preparados e compartilhados com as pessoas, o que representa hábito cultural e de lazer marcante para a família.

Nas entrevistas foi possível perceber a influência da morfologia do rio sobre a pesca:

Debaixo daquela pedra ali era cada piaba”
Diz se referindo à pedra na frente da casa dele
(Homem, família 10).

“O maior peixe era a piaba, peguei detrás da pedra, era linda... A pedra virou, a lama virou ela”
(Homem, família 4).

A perda e diminuição dos *habitats* e *microhabitats* relacionados à alteração da morfologia do rio são esperadas e estão relacionadas com a dinâmica do rio. Estas micro alterações podem passar despercebidas pelos cientistas, mas não pelos olhos dos moradores. A pesquisa convencional não permite identificar as pequenas alterações provocadas pelo

deslocamento de uma pedra, apenas as grandes modificações. Segundo Alves et al. (2021), os leitos dos cursos d'água foram alterados com a deposição do rejeito de minério sobre os substratos de areia, cascalhos, lajes e matacões, causando ruptura nas condições de manutenção do ciclo de vida aquático.

Além disso, essas alterações foram percebidas na atividade faiscadora, que consiste na retirada artesanal de ouro pela população ribeirinha e que usa do conhecimento local para construir o saber dessa prática. Atividades como a extração de areia e cascalho foram comprometidas e o assoreamento do leito pela deposição do rejeito na calha do rio tornou possível a travessia dos animais e dificultou o estabelecimento das fronteiras entre as propriedades o que tem gerado conflitos no território.

Em seu conjunto, as modificações do território criaram imagens da paisagem que não estão na memória das pessoas e romperam com o modo de vida desenvolvido pelas famílias. As sociedades que se instalaram às margens da bacia do rio Doce teceram relações não só entre si, mas com o território em que estão inseridas. Esse território, portanto, representa o local de moradia, trabalho coletivo, individual e de construção de relações humanas com sentidos específicos que, por sua vez, garantem a expressão cultural e a reprodução social (Milanez et al., 2015; Santos, 2001).

3.2 Água

Os etnoindicadores relacionados à água foram: proteção das nascentes, uso da água e abundância (Tabela 1). A maior parte das famílias atingidas, que foram entrevistadas, utiliza água proveniente de nascentes, mas também existem aquelas que utilizam poços semi-artesianos como fonte de água. Alguns poços foram construídos pela fundação como parte das ações de reparação do território e as famílias atingidas passaram a utilizar esse tipo de abastecimento após o rompimento. Para os entrevistados, proteger a nascente tem como benefício a melhoria e garantia da qualidade e potabilidade da água para consumo:

“A água vem da nascente, depois que cercou melhorou muito”

(Homem, família 1).

“A água faltou na seca, pessoal cercou as nascentes e aí melhorou. Minha água é limpinha, 400m de cano, pode abrir a torneira ali e tomar”

(Homem, família 10).

“A água aqui é nascente. Nem sol bate nela não. Ela vem de dentro da mata mesmo”

(Homem, família 11).

Para seis das 12 famílias entrevistadas, o rompimento da barragem não impactou, negativamente, a água usada para o consumo humano, pois esta vem das nascentes. No entanto, duas famílias relataram que mudaram sua fonte de água após o rompimento. No meio rural, as nascentes são fundamentais para o atendimento das demandas de água da população: uso doméstico, para os animais e em atividades agrícolas. As medidas de conservação de nascentes e a preservação da mata ciliar interferem positivamente no aporte de água, na hidrologia do solo, favorece processos de infiltração, filtração, armazenamento da água no lençol freático e reduzem os processos de erosão (Amilton et al., 2013; Capellari e Capellari, 2018). Os entrevistados identificam melhorias na disponibilidade de água com o cercamento das nascentes, pois essa ação restringe o acesso dos animais e propicia condições para a recuperação e/ou preservação da mata, a partir do favorecimento do processo de sucessão das espécies da floresta. A ausência de animais ao redor das nascentes e da fonte de água da família também é importante para evitar a contaminação da água. Em geral, os/as agricultores/agricultoras familiares adotam mais facilmente a proteção das nascentes do que outras medidas de proteção ambiental, por verem benefícios diretos dessa ação na qualidade da água (Amilton et al., 2013).

As famílias também utilizam a água para outros fins, que não somente o humano. O uso dado à água é também um indicador de qualidade da água. Para os animais, em geral, é fornecida a água que os entrevistados avaliam como de menor qualidade, como a água do rio, cujo acesso é facilitado aos animais na maioria das propriedades. Este segundo indicador está presente em relatos como:

“A água mais suja a gente separava e dava para os animais. A mais limpa a gente usava para beber e cozinhar”

(Mulher, família 2).

“A água de mina vai pra criação. A água do poço pra casa, é mais limpa, 18m de profundidade”

(Homem, família 6).

O risco de contaminação é também utilizado como critério para definir a água utilizada para consumo da família. Um dos entrevistados relatou que cercou a nascente para os animais não pisarem e defecarem, e completa:

“Eu vou beber água de bosta de criação, aí não dá né”

(Homem, família 11).

As famílias consideram também a abundância para avaliar a nascente e a água. O orgulho ao dizer que a água é suficiente não só para sua família, como também para os filhos, irmãos e outras pessoas da comunidade foi identificado, como na seguinte fala:

“Aqui tem muita água, nascente aqui é boa. Tem duas cachoeiras. A água da casa vem duma grota, nasce ali em cima (...) essa que tá caindo ali no moinho é sobra da nascente. A nascente fornece água ‘praqui’, meu filho e pra casa que tá sendo construída”

(Homem, família 11).

A água é um bem natural primordial e indispensável para a vida, e práticas conservacionistas que permitam a manutenção de sua qualidade e quantidade são fundamentais para a construção de sociedades sustentáveis. Na agricultura familiar, esse bem não é entendido nem manejado separadamente, mas em conjunto com todos os outros elementos do ecossistema (Toledo e Barrera-Bassols, 2008).

Os etnoindicadores referentes à água estão relacionados com outros componentes do ecossistema ou agroecossistema, como a biodiversidade, a criação dos animais, o manejo do solo, a pesca, o lazer, entre outros. Estes componentes se relacionam com outros elementos, pois a natureza, para essas populações, ultrapassa seu valor de uso e adquire valor simbólico e espiritual, e assim tem uma abrangência além da dimensão econômica, torna-se uma representação identitária (Sousa e Cabral, 2009). Esse é o caso da fala do entrevistado que atribui valor espiritual a natureza:

“A natureza de Deus é uma coisa incrível, ninguém tira ela”

(Homem, família 3).

Portanto, esses saberes estão mergulhados nos significados que cada cultura estabelece e são fundamentais para aprimorar as estratégias de sobrevivência das populações (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). Por meio da observação, da prática e da transmissão entre gerações, os conhecimentos sobre o território são construídos e modificados pelos agricultores e pelas agricultoras (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Diegues e Arruda, 2001).

3.3 Solo e/ou rejeito e plantas cultivadas

Como forma de mitigar o desastre, a fundação responsável pelas ações de recuperação das áreas atingidas, realizou a mistura de solo ao rejeito. Isto não ocorreu em todas as propriedades das famílias atingidas que participaram da pesquisa. Dessa forma, em suas falas, rejeito pode se referir ao rejeito puro ou a solo-rejeito. Para fim de identificação dos indicadores, o solo, o solo misturado ao rejeito (solo-rejeito) e o rejeito foram considerados em conjunto. Houve uma pluralidade de indicadores relacionados ao solo ou solo-rejeito e às plantas e culturas. Esses temas estão muito relacionados e foram discutidos simultaneamente.

Do total de 30 indicadores identificados, 19 correspondem a esses dois temas (solo e/ou rejeito e plantas cultivadas), sendo que 12 indicadores são relacionados ao solo e/ou rejeito e sete as plantas e culturas (Tabela 1). Os principais indicadores encontrados foram “perda de qualidade” e “desenvolvimento das plantas”, respectivamente.

A predominância dos etnoindicadores nestes elementos pode ser devido à quantidade de perguntas dispostas no roteiro sobre essa temática e ao impacto negativo do desastre/crime sobre as plantações e solo, bens naturais fundamentais para as famílias agricultoras entrevistadas.

Para os atingidos, o desastre/crime acarretou em perda da qualidade do solo, da produtividade e da capacidade das plantas de sobreviverem a essas novas condições:

“O rejeito continua igual pra pior. Porque você planta o trem lá e na hora de dar morte”

(Homem, família 10).

“O rejeito não tem jeito, estraga a terra (...) a terra ficou como quando coloca ‘mata-mata’, pelo produto químico do minério”

(Homem, família 4).

O indicador “perda de qualidade” revelou que a observação atenta do ambiente e de seus processos ecológicos permitiu que os/as agricultores/as construíssem uma percepção sobre as mudanças sofridas pelo solo e como estas têm se comportado com o passar do tempo. Na percepção dos moradores das comunidades, o rejeito depositado sobre o solo o deixou na condição de ruim e improdutivo. No entanto, há relatos de que a mistura de solo no rejeito teve impacto positivo na qualidade e desenvolvimento das plantas, como exemplificado pela fala da entrevistada 5:

“Cana e o capim que a gente plantou na mistura [solo-rejeito] ficou bom. A cana está crescendo bem na mistura rejeito-solo. Até que no lugar do rejeito não ficou ruim não [mistura solo-rejeito]. Não sei se porque se o [filho] colocou esterco ou se o rejeito tem alguma coisa que ajuda”
(Mulher, família 5).

Independente da avaliação que fazem do solo, foi possível identificar que um dos principais indicadores de qualidade do solo é a produtividade do plantio (quanto é produzido na lavoura de milho, por exemplo).

Um dos entrevistados, ao ser perguntado: “Como você sabe que a terra é boa?”, responde: “*A terra é ruim uai. Se fosse terra boa dava*” (homem, família 8). A qualidade do solo, portanto, foi indicada pela produtividade e qualidade das plantas. Antes do rompimento da barragem, as características das plantas eram outras, segundo os/as atingidos/as.

Além da produtividade, os agricultores avaliam o desenvolvimento das plantas para indicar a qualidade do solo, como o desenvolvimento radicular, o crescimento das plantas e a cor das folhas:

:

“A raiz não aguenta isso tudo não [refere-se à quantidade de rejeito no solo]”
(Homem, família 1).

“A plantação não é igual agora. A plantação não está saindo. A terra não é como antes, uns produtos químicos que passou [do rejeito] e a plantação não sai mais” (Homem, família 3).

“O capim que planta não é igual. Com água fica bem, mas sem chuva, amarela”
(Homem, família 6).

“Nascer nasce, mas não vinga. A horta não vinga mais onde era [a horta ficava no local em que passou o rejeito]”
(Homem, família 7).

Castillo et al. (2020) ao sistematizar etnoindicadores de mudanças ambientais utilizados por pequenos produtores na Patagônia, encontrou que, não apenas a produtividade, mas as características visíveis das plantas, a ausência ou presença de espécies e a abundância das espécies são indicadores da qualidade e características dos ecossistemas e contribuem para a tomada de decisão sobre o manejo a ser adotado pelos/as agricultores/as. No caso das famílias entrevistadas, a relação entre as características do solo e das plantas também determina a alteração de manejo, como por exemplo a necessidade de adubação do solo que é feita, em sua maioria, por esterco bovino, como relatado pelo entrevistado da família 1, que o utiliza nas plantações da área atingida em sua propriedade.

A relação entre a característica do solo e o relevo é percebida pelos/as agricultores/as e pode estabelecer relação com outras características, como a capacidade de retenção de água no solo (Calixto, 2015). O entrevistado da família 1, em suas observações, compara a área de baixada (várzea) com as áreas de morro da propriedade. Ele relata que antes da chegada do rejeito, as melhores áreas da propriedade eram de várzea, pois as plantas produziam mais, fato relacionado à rebrota do capim que era melhor na região de baixada. No entanto, a dinâmica foi invertida depois do desastre/crime e os morros agora apresentam uma melhor produtividade, segundo os/as atingidos/as.

Além da produtividade das plantas e relevo, os agricultores utilizam a cor, a capacidade de retenção de umidade, a textura e o manejo para indicar a qualidade do solo.

“A terra ficou tipo uma areia [com a chegada do rejeito]”
(Homem, família 4).

“A cor ficou mais escura onde tem lama. Onde não teve rejeito é diferente. O solo fica com uma cor de café, amarronzada, mais escura”

(Homem, família 1).

“Era uma terra mais produtiva, mantinha a água. Agora seca muito”

(Homem, família 6).

Pelas falas dos entrevistados, fica claro que o desastre não impactou igualmente todos os lugares. Isto pode ser consequência da deposição desigual de rejeito de acordo com o relevo ou com a susceptibilidade das espécies, pois algumas espécies são mais rústicas, a exemplo de algumas gramíneas, e é também influenciado pelo manejo executado pelos agricultores/as (adubação, recuperação de matas ciliares, plantas espontâneas fixadoras de nitrogênio, entre outras) que interfere positivamente na recuperação ambiental.

Algumas das percepções dos/as agricultores/as estão de acordo com as características do rejeito, que apresenta baixo teor de nutrientes, o que dificulta a nutrição de plantas, baixo teor de carbono orgânico, que dificulta os processos físicos, químicos e biológicos do solo, granulometria fina, que dificulta a infiltração de água (Milanez et al., 2015; Figueiredo et al., 2019) e aumento dos teores de metais como ferro, manganês, cobre e cromo, que podem ser tóxicos para as plantas (Mariana et al., 2017; Coelho et al., 2020).

Estas características do rejeito comprometem o desenvolvimento das plantas (Mariana et al., 2017; Coelho et al., 2020) e isto é bastante percebido pelos agricultores/as. Portanto, o monitoramento dos efeitos do rejeito sobre o solo não pode ser feito sem levar em consideração o desenvolvimento das plantas, nativas ou cultivadas.

A tentativa de mitigar os efeitos do desastre/crime no ambiente envolveu o revolvimento da terra, a mistura com outros solos, a adubação, a correção do solo, dentre outras medidas reparatórias. No entanto, não existe uniformidade nas ações realizadas em cada propriedade. Os entrevistados não souberam informar sobre a mistura. Normalmente, eles se referem às ações reparatórias em terceira pessoa e, em geral, não têm muitos detalhes das consequências de cada ação em sua propriedade.

Independentemente das medidas mitigatórias, a própria natureza já dá sinais de recuperação, segundo os moradores:

“As plantas já recuperaram demais”

(Homem, família 3).

“A natureza é perfeita. Aqui mudou muito, tá tudo verdinho, a própria natureza né, vai mudando”

(Mulher, família 11).

3.4 Peixes

Os etnoindicadores relacionados aos peixes identificados foram “diversidade de peixes”, relacionada à multiplicidade de espécies encontradas no rio, e “sensibilidade” à qualidade da água. As informações relacionadas ao indicador “diversidade de peixes”, incluindo as espécies presentes no rio, antes e após o desastre, encontram-se na tabela 2.

TABELA 2. Peixes identificados pelas famílias antes do rompimento da barragem, que retornaram após o rompimento e que não retornaram/reduziram sua população após o rompimento.

FAMÍLIAS	ANTES	RETORNARAM	NÃO RETORNARAM OU REDUZIRAM
F1	Piaba, cascudo, traíra, bagre, acará, timboré	Traíra, bagre, acará	Piaba
F2	Piaba, timboré, lambari, cará, cascudo, bagre africano, cágado, barrigudinho		Bagre africano, cágado ¹ , barrigudinho
F3	Traíra preta do olho vermelho	Traíra bege	
F4	Bagre, traíra, piaba, timboré, pipitinga		
F5	Cascudo, piaba, timboré, acará, bagre, lambari, tucumaré (tucunaré)	Traíra	
F7	Traíra, bagre, acará, lambari		
F8	Bagre, traíra, lambari, cará e piaba	Traíra	Piaba
F9	Bagre	Bagre	
F10	Lambari, cará, bagre, piaba, traíra		
F11	Cascudo, piaba, dourado, lambari, traíra		
F12	Bagre, cará, lambari, piaba, traíra		

¹cágado não é peixe, mas foi incluído por estar presente na observação das pessoas. ²tucunaré.

As famílias indicaram a existência de 11 diferentes peixes antes do rompimento da barragem (Tabela 2). Na bacia do rio Doce, 181 espécies de peixes autóctones já foram identificadas, distribuídas em 46 famílias e 19 ordens (Alves et al., 2021). Apesar de parecer uma quantidade pequena de espécies, a ordem Siluriformes, à qual pertence o bagre, uma das mais citadas nas entrevistas, inclui 58 espécies diferentes (Alves et al., 2021). Esta ordem é seguida pela Characiformes que comporta 28 espécies diferentes, dentre elas três espécies de piaba e 10 espécies de lambari (Alves et al., 2021). Dessa forma, é possível que haja mais de uma espécie dentre os peixes citados, que podem ser identificadas a partir das características citadas como “traíra preta do olho vermelho”, “traíra bege” e “lambari bocarra”. Foram incluídos na pesquisa os nomes populares dos peixes, mas a identificação das espécies não foi realizada, pois esta ação não fazia parte do escopo do trabalho e dos objetivos da pesquisa.

Todos os peixes que foram identificados pelas famílias atingidas eram utilizados na alimentação. Segundo Alves et al. (2012), cerca de 89 das 181 espécies identificadas no rio Doce fazem parte da alimentação das famílias e estão presentes nos hábitos de pesca e comércio.

A diminuição da abundância de peixes foi citada por sete famílias entrevistadas, a exemplo da fala de uma moradora e pescadora da região:

“Pescava muito, desanimei agora. Não tinha um dia que não pegava peixe. Hoje eu desanimei. Não é a mesma coisa. A água era clarinha. Tinha muito peixe mesmo. Todos que pescavam apanhavam” (Mulher, família 5).

A traíra foi o peixe mais apontado como espécie que já retornou ao rio, seguida do bagre e do acará. A traíra é conhecida por viver em ambientes com água parada e pela sua resistência a baixos níveis de oxigênio dissolvido na água (hipóxia). Esta característica pode estar relacionada com o retorno primário e sobrevivência desses animais às condições pós-desastre (Ratin et al., 1992). Isto, por sua vez, dialoga com a observação das pessoas e está relacionado ao segundo indicador identificado, que é a “sensibilidade” dos peixes à qualidade da água:

“Timboré só dá na água limpa. Bagre, traíra, gosta de água suja”
(Homem, família 1).

“Peixe é uma coisa muito sensível. Então, acho que se não fosse tóxico não ia ter diminuído tanto. Piaba gosta de água limpa”

(Mulher, família 2).

“A traíra, ela é mais forte, ela consegue ficar atolada no barro um ‘cado’ de tempo” (Homem, família 4).

As falas das pessoas em relação ao indicador “sensibilidade” dos peixes à água refletem a relação com a prática e observação cotidiana, importantes na elaboração do conhecimento tradicional e que confere a ele característica local e específica (Toledo e Barrera-Bassols, 2008; Freire, 1985a, 1985b). Essas características fisiológicas são estudadas pela ciência moderna, mas já faziam parte do conhecimento acumulado pelas populações que se estabeleceram ao redor dos cursos d’água. Os aprendizados advindos da prática e da observação cotidianas são armazenados na memória das pessoas e transmitidos oralmente de geração em geração, o que perpetua e aprimora o saber com o passar do tempo (Barrios et al., 2006; Toledo e Barrera-Bassols, 2008). A memória ‘atua como arcabouço para comparação’, como também é discutido por Toledo e Barrera-Bassols (2008), ao afirmar que lembrar é fundamental para “compreender o presente e, portanto, fornece elementos para o planejamento do futuro, bem como serve para reconstituir eventos semelhantes que ocorreram anteriormente e até mesmo eventos inesperados”.

A lembrança remete a um período de fartura de peixes e os relatos são carregados de nostalgia de um passado que representava uma realidade melhor do que a que é encontrada agora:

“O rio era bom, nós ‘pescava’, mas agora acabou tudo”
(Homem, família 12).

Não há observação de retorno da maioria das espécies como piaba, bagre africano, barrigudinho, timboré, cascudo, tucumaré (Tabela 2). Simulações matemáticas apontam que com o rompimento, provavelmente, ocorrerá uma homogeneização da biota e redução da diversidade taxonômica na bacia, o que está diretamente relacionado com as taxas de extinção provocadas pelo desastre (Alves et al., 2021). Assim, ainda não se sabe como se dará a recuperação da biodiversidade aquática da bacia hidrográfica do rio Doce, o que torna a observação e o conhecimento local essenciais para o acompanhamento da evolução do ecossistema frente as consequências causadas pelo desastre.

Cada espécie tende a ter sensibilidade específica aos contaminantes, a depender de suas características morfofisiológicas. A exposição a metais causa efeitos diversos nos diferentes organismos, como é o caso da *Ceriodaphnia dubia*, a pulga d'água, para a qual os metais cádmio e zinco geram efeitos tóxicos, crônicos e reduzem a taxa reprodutiva dessa espécie (Carvalho et al., 2017). Dessa forma, o monitoramento da volta destas espécies, a ampliação da diversidade das mesmas e o acompanhamento da sua sobrevivência pode ser um indicador de retorno ou não da qualidade da água e da recuperação biológica dos rios.

Com a diminuição e desaparecimento de muitas espécies de peixes, a pesca foi uma das atividades intensamente impactadas pelo desastre. Existiam pelo menos 1.249 pescadores cadastrados nas áreas atingidas pelo rejeito em Minas Gerais e no Espírito Santo, além dos ribeirinhos, agricultores/as e populações tradicionais na zona rural que também foram impactados e tiveram a pesca interrompida (Milanez et al., 2015). Os pescadores locais dispunham de amplo conhecimento sobre os *habitats* das espécies e os lugares utilizados para a pesca.

Como o peixe é um bioindicador muito sensível as modificações ambientais, efeitos deletérios a esses organismos podem ser mensurados pela análise de biomarcadores que avaliam a alteração das características morfofisiológicas desses animais. Essa possibilidade de utilização de peixes como bioindicadores de mudança ambiental foi realizada no capítulo II dessa dissertação.

3.5 Animais

Os etnoindicadores relacionados aos animais referem-se à percepção das pessoas sobre os efeitos do desastre/crime na fauna, principalmente a silvestre, excetuando os peixes, cujos etnoindicadores foram identificados separadamente. Os etnoindicadores relacionados à fauna foram população, retorno e mudança nos hábitos alimentares (Tabela 1). Os animais, como parte integrante do ecossistema, interagem e reagem de maneiras diversas frente aos impactos sofridos. Na área estudada, o mais frequentemente citado foi o retorno dos animais, que compreende a volta de espécies ao ambiente após o desastre:

“Peixe, borboleta, sapo, tudo voltou”

(Mulher, família 2).

“Demorou para escutar sapo de novo. Senti falta”

(Mulher, família 5).

“Os pássaros, bichos, estão voltando tudo. Capivara ali na ponte você vê 5, 6 juntas.

Acredito que elas não têm nada, tá tudo sadia, gorda”

(Homem, família 10).

O distúrbio causado, no ambiente, com o rompimento da barragem destruiu e modificou o *habitat* dos animais para além da vida aquática, que foi diretamente afetada. O conjunto de informações levantados por meio das entrevistas deriva de anos de conhecimento dos hábitos dos animais e do ciclo de vida dos mesmos.

O retorno de capivaras, sapos, borboletas, como observado pelos agricultores/as, pode indicar a recuperação da fauna e os esforços adaptativos dos ciclos da natureza frente as mudanças.

No entanto, apesar de existir uma hipótese de que a restauração leva ao retorno dos animais domésticos de cadeias tróficas superiores (macacos e onças, por exemplo) (Hilderbrand et al., 2005), nas regiões de Mata Atlântica há de se ter a preocupação com os mamíferos de grande porte, como as onças, que podem ser efetivamente extintas mesmo após tentativas de recuperação dos danos ambientais (Jorge et al., 2013, Galetti et al., 2017). A ausência de espécies dos níveis tróficos superiores pode comprometer a autonomia e sustentabilidade desses ecossistemas, levando ao distúrbio e desequilíbrio ecológico (Silva et al., 2015, Galetti et al., 2017).

Um desses distúrbios é a superpopulação de certas espécies, que pode causar problemas de manejo, controle e até mesmo de transmissão de zoonoses, como é o caso das capivaras. Nas entrevistas o retorno e aumento das capivaras foi citado pelas famílias, como na fala do entrevistado 9, que ao ser perguntado sobre a população de animais, respondeu:

“Aumentou, mas foi a capivara. Elas sumiram e voltaram. E agora tem mais ainda”

(Homem, família 9).

O aumento da população de capivaras gera problemas relacionados ao ataque das lavouras e pastagens e a infestação das margens dos rios por carrapatos que eleva o risco de

transmissão de febre maculosa - doença conhecida por infectar carrapatos e que tem a capivara como hospedeiro primário (Nunes et al., 2020).

A observação dos vertebrados domésticos e selvagens pelos/as atingidos/as são importantes para interpretação do ambiente natural e para antecipação de processos de mudança ambiental e social de curto e longo prazos (Castillo e Ladio, 2018). Portanto, na bacia hidrográfica do rio Doce, os animais podem ser indicadores do processo de recuperação ambiental que a própria natureza realiza.

4. CONCLUSÕES

O rompimento da barragem do Fundão representou a ruptura brutal de ciclos conhecidos e monitorados pelas famílias, a partir de suas experiências e observação. Para a busca de ações que mitiguem os impactos causados pelo desastre/crime no ambiente e na vida das pessoas é necessária uma ciência dialógica, ampla e política, que respeite a sabedoria dos agricultores e das agricultoras locais.

Embora os saberes sejam amplos, ainda são poucos os que consideram suas contribuições nos processos de monitoramento e recuperação ambiental na bacia, o que pode ser feito com o uso de etnoindicadores. Os 30 etnoindicadores identificados estão articulados entre si, e juntos formam um sistema complexo de avaliação e monitoramento que pode ser útil para o monitoramento ambiental participativo, que incorpore os saberes locais na construção de estratégias de superação do desastre e recuperação desses ecossistemas.

Dentre os etnoindicadores estão o retorno das espécies animais e vegetais, as mudanças morfológicas do rio (expressas nas alterações da paisagem) e as características do rejeito no solo que comprometem o desenvolvimento das plantas.

Além do monitoramento, estes etnoindicadores podem ser usados para reflexão e construção de novos conhecimentos no território, necessários para a emancipação das pessoas, superação do desastre e recuperação do ecossistema.

Outras pesquisas, a exemplo daquelas que relacionem os etnoindicadores e a espiritualidade, podem contribuir para fortalecer a importância dos saberes populares no monitoramento ambiental dos territórios feridos pelo rompimento da barragem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.T., Silva, F.B., Fraga, M.S., Ribeiro, R.B., Ramos, M.C.A., Cecílio, R.A., 2019. Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce, Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO. **Rev. Tecnol. em Marcha**. v. 32, p. 36-42.
- Altieri, M.A., 1995. **Agroecology: the science of sustainable agriculture**. Taylor & Francis Group. 448p.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2000. Agroecology e the Search for a Truly Sustainable Agriculture. **United Nations Environment Programme**. 290p.
- Alves, C.B.M., Gomes, J.P.C., Pessali, T.C., Gasparini, J., 2021. Peixes ameaçados de extinção na bacia do rio Doce. **Livro vermelho da biota aquática do rio Doce ameaçada de extinção pós rompimento da barragem de Fundão: Mariana, Minas Gerais**. p 290.
- ANA, Agência Nacional das Águas, 2016. Encarte especial sobre a Bacia do rio Doce: rompimento da barragem em Mariana/MG, **Ministério do Meio Ambiente**. p 1-50.
- Amilton, J.B., Carpanezzi, A.A., Felizari, S.R., Ruffato, A., 2013. **Recuperação e proteção de nascentes em propriedades rurais de Machadinho, RS**. EMBRAPA. 1ª ed. 26p.
- Bardin, L., 1977. **Análise de conteúdo**. Persona. 288p.
- Barrios, E., Delve, R.J., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., Trejo, M.T., Thomas, R.J., 2006. Indicators of soil quality: A south-south development of a methodological guide for linking local e technical knowledge. **Geoderma**. v. 135, p. 248-259.
- Boni, V., Quaresma, J., 2005. Aprendendo a entrevistar como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Rev. Eletrônica dos Pós-Graduandos em Sociol. Política da UFSC**. v. 2, p. 68-80.
- Brandão, C.R., 1987. **Repensando a pesquisa participante**. Editora Brasiliense. 249p.
- Brandão, C.R., 2006. **A pesquisa participante e a participação da pesquisa: um olhar entre tempos e espaços a partir da América Latina**. In: Escritos Da Rosa Dos Ventos. p. 21-54.
- Calixto, J.S., 2015. **De palmo em palmo a terra muda de jeito: diálogos sobre qualidade do solo**. Tese ded doutorado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 173p.
- Capellari, A., Capellari, M.B., 2018. A água como bem jurídico, econômico e social. **Cid. Comunidades e Territ.** p.0-16.
- Castillo, L., Ladio, A., 2018. Mammals e birds as ethno-indicators of change: their importance to livestock farmers in Arid Patagonia (Argentina). **Environ. Dev. Sustain.** v. 20, p. 2161-2179.
- Castillo, L., Ladio, A., 2017. Traditional veterinary solutions for herders living in limited e changing conditions: A case study of “crianceros” of Central Northern Patagonia, Argentina. **J. Arid Environ.** v. 145, p. 90-101.
- Castillo, L., Rostagno, C.M., Ladio, A., 2020. Ethnoindicators of environmental change: Local knowledge used for rangele management among smallholders of Patagonia. **Rangel. Ecol. Manag.** v. 73, p. 594-606.
- Coelho, D.G., Marinato, C.S., Matos, L.P., de Erade, H.M., Silva, V.M., Neves, P.H.S.,

- Oliveira, J.A., 2020. Evaluation of metals in soil e tissues of economic-interest plants grown in sites affected by the Fundão dam failure in Mariana, Brazil. **Integr. Environ. Assess. Manag.** v. 16, p. 596-607.
- Diegues, A.C., Aruda, R.S.V., 2001. **Biodiversidade e comunidades tradicionais no Brasil.** Ministério do Meio Ambiente, dos recursos hídricos e da amazônia legal, São Paulo. 176p.
- Espindola, H., Guimarães, D., Siqueira, N., 2012. Esse rio do ferro e da floresta tem nome de Doce: poder, capital e apropriação da natureza. **XVIII Encontro Reg.** 10p.
- Figueiredo, M.D., Lameiras, F.S., Ardisson, J.D., Araujo, M.H., Teixeira, A.P.C., 2019. Tailings from Fundão tragedy: Physical-Chemical properties of the material that remains by Ceonga dam. **Integr. Environ. Assess. Manag.** v. 16, 636-642.
- Freire, P., 1987. **Pedagogia do oprimido.** Editora Paz e Terra. 129p.
- Freire, P., 1985a. **Extensão ou comunicação?** Editora Paz e Terra. 93p.
- Freire, P., 1985b. **Por uma pedagogia da pergunta.** Editora Paz e Terra. 84p.
- Freitas, C.M., Silva, M.A., Menezes, F.C., 2016. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Cienc. Cult.** v. 68, p. 25-30.
- Galetti, M., Pires, A.S., Bracalioni, P.H.S., Fernandez, F.A.S., 2017. Reversing defaunation by trophic rewilding in empty forests. **Biotropica.** v. 49, p. 5-8.
- Geilfus, F., 2002. **80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación.** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica.
- Hilderbrand, R.H., Watts, A.C., Randle, A.M., 2005. The myths of restoration ecology. **Ecol.Soc.** v. 10, p. 19.
- Homma, A.K.O., Medeiros, C.A.B., Neto, C.P.C.T., Scopel, E., Freitas, F.O., Silva, F.A.M., Alcântara, F.A., Melo, F.B., Rocha, F.E.C., Sousa, I.S.F., Gomes, J.C.C., Santos, J.A.T., Silva, J.S., Rocha, J.D., Xavier, J.H.V., Araújo, J.M., Silva, J.P., Cabral, J.R.F., Figueiredo, L.P.F., Gastal, M.L., Oliveira, M.N., Carmona, M., Martins, M.A.G., Banco, M.C., Balsadi, O.V., Bustamante, P.G., Melo, P.E., Zarur, S.B.B.C., Dias, T.A.B., Fronzaglia, T., Guedes, V.G.F., 2009. **Ciência como instrumento de inclusão social.** 1st ed. EMBRAPA. 390p.
- Jorge, M.L.S.P., Galetti, M., Ribeiro, M.C., Ferraz, K.M.P.M.B., 2013. Mammal defaunation as surrogate of trophic cascades in a biodiversity hotspot. **Biol. Conserv.** v. 163, p. 49-57.
- Laranjeira, N.P., Carcelle, S., Mirea, D., Sá, T.D.A., Trento, L.G., Souza, T.S., Cardoso, I.M., 2019. Para uma ecologia de saberes: Trajetória da construção do conhecimento agroecológico na associação brasileira de agroecologia. **Rev. Bras. Agroecol.** v. 14, p. 65-79.
- Lopes, A.S., 2018. **Diálogos sobre as funções do solo: a especificidade dos olhares das agricultoras.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 134p.
- Mariana, D., Gerais, M., Monteiro, A., Paulo, M., Pereira, R., Marco, I., Horta, F., 2017. Qualidade física e química de solos de uma propriedade rural atingida. IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, in: Anais do Simpósio Mineiro de Ciência do Solo. **Simpósio Mineiro de Ciência do Solo**, p. 332-334.

- Marietto, M.L., 2018. Observação participante e não participante: contextualização teórica e sugestão de roteiro para aplicação dos métodos. **Rev. Ibero-Americana Estratégia**. v. 17, p. 05-18.
- Mota, T.U., Silva, F., Lima, A., 2017. Análise comparativa de levantamentos topobatimétricos no rio Doce para avaliação das alterações morfológicas ocorridas na calha fluvial. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. p 1-8.
- Nogueira, M.L., Augustin, C.H.R.R., Aranha, P.R.A., 2012. Estudo da dinâmica de percolação da água no solo - Gouveia, Minas Gerais, Brasil. **Rev. Bras. Geomorfol**. v. 12, p. 75-82.
- Pereira, T.I., 2017. A vida ensina: o “saber de experiência feito” em Paulo Freire. **Rev. Eletrônica Mestr. em Educ. Ambient.** p. 112-125.
- Pinto-Coelho, R.M., 2015. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). **Arq. Mus. História Nat. Jard. Botânico da UFMG**. v 24. p. 16-43.
- Pires, L.G., 2020. **A água não está para peixe: etnohidrologia e os indicadores de qualidade da água**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. Universidade Federal de Viçosa. 78p.
- Milanez, B., Santos, R.S.P., Weerley, L.J.M., Mansur, M.S., Pinto, R.G., Gonçalves, R.J.A.F., Coelho, T.P., 2015. Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG). **Mimeo**.
- Nunes, F.B.P., Nunes, A.Z., Nunes, M.P., Labruna, M.B., Pizzutto, C.S., 2020. Reproductive control of capybaras through sterilization in areas at risk of transmission of brazilian spotted fever. **Cienc. Rural**, v. 50. p. 1-9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr2020053>
- Ratin, F.T., Kalinin, A.L., Glasst, M.L., Fernees, M.N., 1992. Respiratory responses to hypoxia in relation to mode of life of two erythrinid species (*Hoplias malabaricus* e *Hoplias lacerdae*). **J. Fish Biol.** v. 42, p. 805-812.
- Reis, D.A., Roeser, H.M.P., Santiago, A. da F., 2020. Environmental impacts at the bottom sediments in a Doce River tributary after the Fundão dam rupture. **Res. Soc. Dev.** V. 9, p. 22.
- Rocha, E.E.R.B., 2004. A pesquisa participante e seus desdobramentos - Experiências em organizações populares. **2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária**. Belo Horizonte, MG.
- Santos, M., 2001. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 5ª. ed. Record, Rio de Janeiro. 236p.
- Santos, F.M., 2012. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. **Rev. Eletrônica Educ.** p. 383-387.
- Sobreira, F., 2014. Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. **Quat. Environ. Geosci.** v. 5, 55-65.
- Souza, F.G., Farias, M.S.S., Silva, T.T.S., Ferreira, J.G.A., Luciano, F., 2014. Hidrodinâmica do solo em uma área destinada à agricultura familiar no cariri paraibano. **Rev. Verde Agroecol. e Desenv. Sustentável**. v. 9, 13-17.
- Toledo, V.M., Barrera-Bassols, N., 2008. La Memoria Biocultural. **Cuadernos de biodiversidad**. Barcelona. 232p.

Zabaniotou, A., Syrgiannis, C., Gasperin, D., Guevera, A.J. de H., Fazenda, I., Huisingh, D., 2020. From multidisciplinary to transdisciplinarity and from local to global foci: Integrative approaches to systemic resilience based upon the value of life in the context of environmental and gender vulnerabilities with a special focus upon the brazilian amazon biome. **Sustain.** v. 12. p. 1-32. <https://doi.org/10.3390/su12208407>

CAPÍTULO II

UTILIZAÇÃO DE PEIXES PARA AVALIAÇÃO DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

RESUMO

O monitoramento da bacia hidrográfica do rio Doce, pós-desastre ambiental de 2015, devido ao rompimento da barragem de Fundão, tem sido realizado por diversas equipes de pesquisa, mas ainda não se sabem os reais efeitos dos contaminantes para o ecossistema a longo prazo. As consequências para a vida aquática podem ser desde a bioacumulação de metais pesados até o prejuízo para a sobrevivência das espécies. Por isso, é preciso que o monitoramento seja feito periodicamente e que se utilizem diferentes métodos qualitativos e quantitativos para elucidar os possíveis danos aos peixes, à vida aquática e ao ecossistema. Neste capítulo são apresentados os resultados da avaliação da contaminação ambiental por meio da utilização de peixes como bioindicadores. Foram avaliados biomarcadores histológicos das brânquias de lambaris (*Astyanax altiparanae*), para mensurar os efeitos subletais dos contaminantes nos peixes, e parâmetros físico-químicos da água, como a presença de metais pesados, para avaliar a qualidade da mesma. Foi realizado um experimento ecotoxicológico crônico com duração de 15 dias. Os aquários foram preenchidos com a água de três pontos do rio Gualaxo do Norte e com a água da rede de abastecimento da Universidade Federal de Viçosa para o grupo controle. Lambaris (*Astyanax altiparanae*) foram utilizados como bioindicadores e as brânquias destes animais foram avaliadas pela utilização de biomarcadores histológicos. Além disso, foi realizada análise para quantificação de metais pesados em amostras de água dos pontos do rio e da água utilizada para o grupo controle. A presença de metais pesados na água pode ser responsável pela alteração dos parâmetros histológicos avaliados nas brânquias dos peixes, como a espessura de lamela primária e diâmetro do vaso central da lamela primária. Dessa forma, é preciso dar continuidade ao monitoramento da qualidade da água no Rio Gualaxo do Norte e à avaliação de potenciais riscos à sobrevivência dos peixes e de outros animais.

Palavras-chave: Bioindicadores. Metais pesados. Histologia. Ecotoxicologia.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Doce historicamente foi ocupada por atividades garimpeiras e de mineração. Essas atividades contaminaram os rios e o solo ao longo do tempo (Milanez et al., 2015). Em novembro de 2015, o maior desastre ambiental mundial dos últimos anos foi responsável por despejar 62 milhões de toneladas de rejeito de mineração na bacia hidrográfica do rio Doce, que alteraram a qualidade da água e trouxeram prejuízos ao ecossistema aquático (Ferreira et al., 2020). A lama, além de incluir contaminantes na água, foi responsável pela suspensão de materiais que estavam sedimentados no fundo dos rios (Dias et al., 2018). Foram encontrados valores elevados de metais pesados na água, como cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, arsênio, crômio, ferro, manganês, níquel e alumínio (Freitas et al., 2016; Sá et al., 2021).

Houve também consequências desastrosas à ictiofauna, com a morte expressiva de peixes e a possível bioacumulação de metais pesados nos organismos aquáticos. Até o momento, 181 espécies de peixes autóctones, distribuídas em 46 famílias e 19 ordens e catalogadas na bacia hidrográfica do rio Doce foram prejudicadas com o despejo do rejeito no leito dos rios (Alves et al. 2021). Estima-se que houve extinção de espécies e que, as que sobreviveram, foram prejudicadas e/ou enquadradas como ameaçadas de extinção (Bertolin, 2018; Alves et al., 2021).

Algumas pesquisas mostraram metais pesados, como arsênio e mercúrio, em maiores concentrações, em peixes de locais afetados em comparação com aqueles de locais não afetados, o que alerta para a continuidade da avaliação da ictiofauna ao longo dos anos, pois ainda não se sabe os efeitos da bioacumulação nos organismos e como isso poderia contribuir para a contaminação de seres humanos (Ferreira et al., 2020). A bioacumulação dos contaminantes, além de causar prejuízos a essas espécies, alertam também para o perigo potencial desses metais para os seres humanos, já que os peixes se encontram em cadeias tróficas superiores e fazem parte da alimentação das pessoas que os pescam ou os adquirem no comércio local (Viana, 2017).

A contaminação de seres humanos pelos metais pesados causa uma série de prejuízos ao organismo, à segurança alimentar e à saúde das pessoas e, portanto, precisam ser consideradas ao avaliar os efeitos da bioacumulação. O arsênio, por exemplo, deposita-se na queratina e a intoxicação por esse metal leva ao aumento do risco de câncer de pele, pulmão e

figado (Dias et al., 2018). O chumbo e o manganês têm capacidade de bioacumulação e podem causar danos neurológicos (Capitani, 2009; Hedayati et al., 2014).

Para a avaliação e interpretação das consequências do crime ambiental é preciso entender a natureza mineralógica do local. Segundo Mendes (2012) e Carvalho et al. (2017), por exemplo, quando ocorre a mineralização sulfetada de regiões auríferas, elementos-traço, como o arsênio, são liberados para águas subterrâneas e superficiais. Minas Gerais é caracterizada pela significativa extração de minério de ferro e as consequências dessa história de exploração dos recursos naturais estão disseminadas por todo ecossistema, nas alterações drásticas de paisagem e vegetação, e contaminação de rios, pessoas e animais (Milanez et al., 2015; Sobreira, 2014). O desastre ocorrido em novembro de 2015 disseminou rejeito de minério de ferro pela calha e margens do rio e ainda não se tem dimensão de todas as consequências, a longo prazo, que o impacto pode causar.

No entanto, sabe-se que o meio ambiente é dinâmico e se altera no tempo e no espaço. A presença ou ausência de metais na água e nos animais aquáticos se modificam com o tempo (Merçon et. al., 2022) e, por isto, há necessidade de se utilizar indicadores para a avaliação efetiva das consequências do desastre na qualidade da água e nos organismos vivos. Para isto, utilizam-se de diferentes análises quantitativas e qualitativas que, em conjunto, oferecem informações mais precisas sobre a qualidade da água.

A área de estudos que combina essas análises é a ecotoxicologia, bastante utilizada para fins de monitoramento ambiental. A ecotoxicologia se dedica a entender os efeitos e mecanismos de ação dos contaminantes nos organismos vivos (Walker et al., 2001; Magalhães and Ferrão-Filho, 2008). Estudos em ecotoxicologia aquática, por exemplo, utilizam as análises físico-químicas da água (pH, turbidez, condutividade, demanda biológica de oxigênio, demanda química de oxigênio, análise de metais pesados, entre outros parâmetros) e bioindicadores, a fim de se obter uma resposta mais precisa e confiável sobre a contaminação ambiental (Arias et al., 2007; Magalhães e Ferrão-Filho, 2008; Lins et al., 2010).

Bioindicadores são definidos como organismos que são capazes de fornecer informações sobre as condições ambientais de seu *habitat* pela sua presença ou ausência, comportamento, respostas fisiológicas, bioquímicas, dentre outras, que podem ser quantificadas e/ou qualificadas (van der Oost et al., 2003). Os peixes são considerados bons bioindicadores por apresentarem características que permitem avaliar as suas interações com os contaminantes e possibilitarem a mensuração de efeitos subletais (van der Oost et al., 2003; Arias et al., 2007).

Dentre os peixes, o lambari (*Astyanax altiparanae*), presente na bacia hidrográfica do rio Doce, pode ser utilizado como bioindicador. O lambari tem ampla distribuição, é abundante na bacia e se destaca por ser uma espécie de hábitos migratórios e de grande capacidade adaptativa, tanto a ambientes lóticos quanto lênticos (Paiva, 2001). A espécie é bastante utilizada em estudos ecotoxicológicos e pode fornecer informações valiosas quanto à bioacumulação de xenobióticos e quanto aos efeitos morfológicos derivados da exposição a esses compostos (Costa-Silva et al., 2015; Marcon et al., 2015). A espécie é também fonte de alimento de animais aquáticos de níveis tróficos superiores da cadeia alimentar, o que pode representar risco para todo ecossistema devido à bioacumulação dessas substâncias (Torres et al., 2017; Viana et al., 2018). Os efeitos de bioacumulação de metais pesados alertam também para o risco à saúde pública, pois os peixes fazem parte da alimentação das pessoas (Paiva, 2001). As alterações morfológicas, por sua vez, representam possível dano ao equilíbrio do ecossistema, caso haja comprometimento da sobrevivência desses animais, bem como de sua reprodução (Costa-Silva et al., 2015; Viana et al., 2018).

Para elucidar os efeitos dos contaminantes no ambiente, os efeitos subletais podem ser mensurados pelo uso de biomarcadores histológicos em diferentes órgãos de peixes, como brânquias, ovários, testículos e fígado (Marcon et al., 2015). As brânquias são órgãos excelentes para serem avaliados devido à sua ampla superfície de contato que está diretamente exposta aos contaminantes presentes nos ambientes aquáticos, além de ser uma das primeiras vias de absorção do animal (Lins et al., 2010). Dentre os exemplos de biomarcadores histológicos das brânquias, encontram-se a espessura e comprimento das lamelas primárias e secundárias, diâmetro de vaso, quantidade de células de muco e cloreto e observação de alterações, como fusão lamelar, aneurisma e necrose tecidual (Marcon et al., 2015; Jesus et al., 2020; Macêdo et al., 2020). A quantificação e qualificação de alguns dos indicadores de saúde das brânquias e as avaliações de qualidade da água podem trazer informações sensíveis sobre os efeitos dos possíveis contaminantes presentes na bacia hidrográfica do rio Doce e ajudar a elucidar os efeitos dos mesmos nos organismos vivos.

Os objetivos deste capítulo foram avaliar a contaminação ambiental utilizando peixes como bioindicadores, avaliar biomarcadores histológicos em brânquias para mensurar os efeitos subletais dos contaminantes nos peixes, analisar parâmetros físico-químicos da qualidade da água, além da determinação e quantificação de metais pesados na água dos aquários dos diferentes grupos experimentais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostragem de água do rio Gualaxo do Norte

Foram realizadas coletas de água em três diferentes pontos do rio. Ao total foram coletados, aproximadamente, 720 litros de água, suficientes para montar o experimento em laboratório (aproximadamente 240L por ponto). Separadamente, foram coletados 5L de água em cada ponto para determinação da presença de metal pesado.

Os pontos de coleta foram escolhidos, estrategicamente, de acordo com a moradia das famílias que foram entrevistadas, levando-se também em consideração o acesso da equipe para realização da coleta. Assim, os pontos de coleta foram: ponto 1 ($20^{\circ}18'12.9''\text{S } 43^{\circ}14'56.5''\text{W}$), ponto 2 ($20^{\circ}16'28.6''\text{S } 43^{\circ}09'13.9''\text{W}$) e ponto 3 ($20^{\circ}16'04.3''\text{S } 43^{\circ}06'02.3''\text{W}$).

FIGURA 1. Pontos de coleta de amostras de água (1, 2 e 3). km: distância aproximada entre os pontos. (Google Earth. Acessado em junho de 2021).



2.2 Comissão de Ética no Uso de Animais da UFV - CEUA

Para realização do experimento, o projeto foi submetido à avaliação pela CEUA e, somente posterior aprovação, o experimento foi iniciado (Processo 14/2021). Todas as normas

e recomendações estabelecidas pela Comissão foram seguidas, com o intuito de resguardar a ética na pesquisa e o bem-estar dos animais durante a realização do experimento.

2.3 Experimento laboratorial

Para o experimento ecotoxicológico, a água coletada em cada um dos três pontos do rio foi utilizada para preencher aquários de 50L, sendo três repetições para cada ponto, totalizando nove aquários. A água tratada da rede de abastecimento da Universidade Federal de Viçosa foi utilizada para montar outros três aquários de 50L, utilizados como grupo controle. Dessa forma, o experimento contou com 12 aquários, sendo três tratamentos (pontos de coleta), e o grupo controle, com três repetições para cada. A água coletada dos pontos do rio e a água da rede de abastecimento foram mantidas no laboratório sob oxigenação para reposição dos aquários, sendo realizada no sétimo dia do experimento, com troca de 20% da água do aquário e reposição com a água do respectivo tratamento (ponto do rio ou controle).

Os aquários foram montados contendo termostato, termômetro e bomba para circulação e oxigenação da água. Os termostatos foram ajustados em 24°C, para garantir temperatura adequada para a espécie em estudo. Foram realizadas aferições de temperatura, nitrato total, nitrito e amônia antes do início do experimento. Após 48h, com a água nos aquários em oxigenação constante, 10 exemplares de lambari (*Astyanax altiparanae*) foram colocados em cada aquário. O experimento foi conduzido por 15 dias, caracterizando um ensaio crônico, e os peixes foram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial adequada para a espécie.

2.4 Parâmetros físico-químicos da água

A temperatura da água foi aferida, duas vezes ao dia (pela manhã e pela tarde), com o auxílio de termômetros de vidro colocados nos aquários. O pH e o oxigênio dissolvido foram aferidos uma vez ao dia, pela manhã, com o auxílio de equipamento multiparâmetro específico e calibrado para tal medição. O oxímetro utilizado foi o modelo DM-4P Digimed[®]. Além disso, duas vezes por semana, foram aferidos nitrito e amônia. Ao final do experimento, foi realizada a análise de nitrato total final. Para a determinação de nitrito, amônia e nitrato, as leituras das amostras foram conduzidas em espectrofotômetro.

2.5 Determinação de metais pesados na água

A quantificação da concentração de metais pesados na água foi realizada em três pontos do rio Gualaxo do Norte, cerca de seis anos após o rompimento e no período de seca (maio de 2021). Os metais pesados foram analisados em amostras de água coletadas no rio Gualaxo do Norte nos três pontos, no mesmo momento das coletas das amostras de água para a realização de experimento laboratorial com peixes em aquários. As mesmas análises foram realizadas com a amostra de água coletada em torneira de abastecimento da Universidade Federal de Viçosa, representando o grupo controle do experimento.

Ao final do experimento, foram coletadas amostras de água dos 12 aquários, para avaliar o comportamento dos metais na água após a introdução de peixes no sistema. Esta análise foi realizada para avaliar a dinâmica dos metais na água, a capacidade de sedimentação e a bioacumulação.

Para a coleta das amostras de água, foram utilizados vasilhames de polietileno com capacidade de 5 L, previamente lavados com solução 1:1 de ácido clorídrico, para retirada de vestígios de matéria orgânica ou outro contaminante. De cada vasilhame foi obtida uma amostra de 500 mL. Ao final do experimento, 500 mL de água foram coletados de cada aquário. Todas as amostras de água foram acidificadas com ácido nítrico a 10% em seguida à coleta, e mantidas sob refrigeração. As amostras foram enviadas acondicionadas em caixa de isopor, com gelo, para o Laboratório Água e Terra (Av. Marabá, 3737 - Bela Vista, Patos de Minas - MG, 38703-236), certificado para realização de análises para quantificação dos metais pesados (chumbo, manganês, ferro e arsênio). A metodologia adotada para a realização das análises seguiu o guia “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 23rd Edition.

2.6 Dados biométricos

Para a padronização dos lotes empregados no experimento, dados biométricos dos peixes foram coletados no início do experimento. No D0 (primeiro dia do experimento), os peixes foram pesados em lotes, em balança digital. Para o peso dos lotes, no D0, a média e erro padrão encontrados foram de $42,31\text{g} \pm 0,34$ e não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$).

No D15 (último dia do experimento), além dos pesos dos lotes, também foram aferidos os pesos individuais de cada indivíduo, além do comprimento padrão, realizado com o auxílio de paquímetro. Para o D15, a média encontrada para os lotes foi de $39,08\text{g} \pm 4,25$, não sendo encontrada diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Para os pesos individuais e comprimento padrão, no D15, também não foram encontradas diferenças estatísticas, entre os tratamentos. O peso dos peixes, a média e erro-padrão encontrados foram de $4,04\text{g} \pm 1,39$ e de $5,42\text{cm} \pm 3,25$ para a média de comprimento e erro padrão. Assim, o experimento contou com a padronização dos indivíduos nos diferentes tratamentos.

2.7 Processamento do material histológico

Ao final do período experimental de 15 dias, 48 peixes, sendo quatro de cada aquário, foram eutanasiados seguindo as Normas da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFV, bem como as orientações para garantia do bem-estar animal do Conselho Federal de Medicina Veterinária (Resolução Normativa nº 13 de 2013) e recomendações do CONCEA (2018). Os animais foram eutanasiados por imersão em solução de eugenol por, aproximadamente, 10 minutos até que se observasse o cessar do movimento opercular e a postura lateral dos peixes na solução anestésica, indicando o óbito do animal.

Imediatamente após a eutanásia, foram coletadas amostras de fígado e brânquias e as carcaças dos animais foram preservadas por congelamento para futura análise de metal pesado. As amostras histológicas foram fixadas em solução de paraformaldeído, a 4% em tampão fosfato, e preservadas em álcool 70%. As brânquias foram o objeto deste estudo e as amostras de fígado estão preservadas para futuros estudos.

Após a fixação do material, as amostras foram processadas seguindo os protocolos de rotina utilizados no Laboratório de Biologia de Peixes do Departamento de Veterinária da Universidade Federal de Viçosa. Para isso, as amostras de tecido foram lavadas em três banhos de álcool 70% e mantidas em álcool 90% por 4 horas. Após isso, o material foi transferido para solução de resina:álcool na proporção 1:1 onde permaneceu por 24h. Em seguida, o mesmo foi colocado em imersão, em resina pura para infiltração, por 48h. Em sequência, o material foi colocado em moldes com resina pura e endurecedor (proporção de 20mL de resina e 1,4mL de endurecedor). Para a polimerização da historesina, os moldes contendo os fragmentos de

brânquias foram colocados em estufa a 60°C por 24h. Após este procedimento, o material foi retirado dos moldes e colados em pequenos blocos de madeira.

Em seguida, o material foi utilizado para a realização de cortes semisseriados de 3 µm de espessura em micrótomo LEICA 2055 Multicut, por meio da navalha de vidro. Os cortes foram colocados em lâminas histológicas, coradas com azul de toluidina e finalizadas com a colocação das lamínulas, utilizando Entellan®.

Após esse procedimento, imagens digitais no aumento de 10x e de 40x foram capturadas com câmera acoplada a fotomicroscópio Olympus BX60, por meio do software Q-Color 3 Olympus. Em seguida, foram realizadas as análises histomorfométricas por meio do software ImageJ.

2.8 Análise histomorfométrica

Devido à possibilidade dos metais pesados serem absorvidos pelo organismo e sua presença na água ser capaz de causar danos subletais aos peixes, foram conduzidas análises histomorfométricas do tecido branquial. A avaliação histológica das brânquias, neste estudo, foi realizada por meio dos seguintes biomarcadores: comprimento de lamelas secundárias, diâmetro do vaso central da lamela primária, espessura da lamela primária e celularidade. A celularidade é uma forma de mensurar a proliferação celular e foi obtida pela diferença dos valores de espessura das lamelas primárias e diâmetros de vasos sanguíneos.

Para isso, as imagens dos tecidos foram capturadas com a objetiva de 10x e utilizadas para medições de comprimento de lamela secundária, espessura de lamela primária e diâmetro do vaso central da lamela primária. Para estas avaliações, foram utilizados dois peixes de cada aquário, representando 24 animais analisados, oito para cada grupo experimental. A imagem digital de cinco lamelas primárias completas (da base ao ápice) foram obtidas para cada animal. Além disso, foram medidas cinco espessuras de lamelas primárias, cinco diâmetros de vaso e dez comprimentos de lamelas secundárias, em cada região da lamela primária (terços basal, médio e apical).

A celularidade foi calculada subtraindo-se, da espessura de lamela primária, o diâmetro do vaso central da mesma.

2.9 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando paramétricos, foram submetidos ao teste Tukey. Quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis. O software utilizado para realização das análises foi o INFOstat.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros físico-químicos da água

Os resultados encontrados nas análises dos parâmetros físico-químicos da água durante o experimento estão apresentados na tabela 1.

TABELA 1. Médias \pm desvios-padrão de parâmetros físico-químicos da qualidade da água coletada nos três pontos de estudo do rio Gualaxo do Norte, próximos às comunidades entrevistadas (Gesteira, Campinas e Barreto).

Parâmetro	Controle	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Valor de referência ¹
Temperatura	24,00 \pm 0,79	24,00 \pm 1,42	24,18 \pm 1,75	24,00 \pm 0,79	24- 26
pH	7,53 \pm 0,14a	7,83 \pm 0,19 b	7,74 \pm 0,24 b	7,70 \pm 1,18 b	6 - 9
Oxigênio dissolvido	7,00 \pm 0,98a	7,82 \pm 0,66 b	7,82 \pm 0,56 b	7,96 \pm 0,58 b	>5mg/L
Nitrito	0,64 \pm 0,08a	0,79 \pm 0,06b	0,79 \pm 0,06b	0,80 \pm 0,09b	1 mg/L
Amônia	0,67 \pm 0,66	0,23 \pm 0,19	0,18 \pm 0,07	0,23 \pm 0,19	0,4 a 2 mg/L ²
Nitrato inicial (rio) ³	6,95 \pm 0,38	5,21 \pm 1,69	6,22 \pm 0,80	5,92 \pm 0,84	10 mg/L
Nitrato final (aquário) ³	4,96 \pm 4,05	19,55 \pm 23,53	35,56 \pm 10,53	48,04 \pm 13,96	10 mg/L

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis. Letras diferentes diferem estatisticamente entre si nas linhas ($p < 0,05$). ¹Valores de referência de acordo com Conama, (2005); ²valor de referência para amônia de acordo com Boyd e Tucker (1998), e ³nitrato foi considerado como valor inicial e final por se tratar de parâmetro acumulativo.

Os resultados mostram que os valores de temperatura, amônia, nitrito e nitrato inicial e final não difeririam entre os pontos de coleta e o controle. Os valores de pH, oxigênio dissolvido e nitrito foram inferiores na água controle em comparação aos demais grupos experimentais.

Todos os valores, à exceção do nitrato final, estão dentro dos valores de referência utilizados. Os valores de referência foram obtidos em consulta à Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que estabelece os parâmetros de qualidade da água doce classe 2, ou seja, aquelas que são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca (CONAMA, 2005). O valor de referência para amônia está em acordo com os estudos apresentados por Boyd e Tucker (1998) e pela nota técnica da EMBRAPA (2007), que consideram o padrão de qualidade da água para a criação de peixes.

No ambiente aquático, o nitrogênio pode ser encontrado sob diferentes formas como nitrito, nitrato, amônia, óxido nitroso e amoníaco (Pereira e Mercante, 2016). Em geral, os compostos nitrogenados em sistemas fechados de criação de peixes provêm, principalmente, da alimentação (Boyd e Tucker, 1987; EMBRAPA, 2007; Pereira e Mercante, 2016; Souza, 2021). O nitrato é acumulativo no sistema e, normalmente, não representa riscos aos peixes, se suas concentrações forem monitoradas (Souza, 2021). Alguns autores afirmam que a concentração letal de nitrato para a maioria das espécies aquáticas varia de 1000 a 3000 mg/L, ou seja, em geral os organismos tendem a apresentar certa resistência a esse composto (Arana, 1997; Leonardo et al., 2011). Em condições aeróbicas, há intenso processo de nitrificação, onde grande parte do nitrato é consumido e pode ser encontrado nas formas de nitrito, havendo possibilidade de alteração da osmorregulação devido à toxicidade do composto nitrificado para os organismos aquáticos (Pereira e Mercante, 2016). Além disso, os compostos amoniacais são representados principalmente por NH_4^+ , forma ionizada, denominada íon amônio, e a forma não ionizada, NH_3 ou amônia e se relacionam por uma reação ácido básica (Lucas et al., 2010). Essa relação é dependente do pH e, em situações de alcalinidade da água ($\text{pH} > 8,5$), a amônia, forma tóxica, é encontrada em maior porcentagem (Pereira and Mercante, 2016).

No caso deste estudo, a concentração de nitrato encontrada foi inferior ao menor limiar proposto pelos autores e, portanto, não seria capaz de causar intoxicação nos indivíduos. Além disso, a amônia e o nitrito, formas conhecidamente tóxicas para os peixes, foram encontradas dentro dos limites estabelecidos, o que garante a funcionalidade do sistema (Boyd e Tucker, 1998; Queiroz e Boeira, 2007). Apesar disso, houve diferença significativa apresentada pelo grupo controle em relação aos outros tratamentos (pontos do rio).

O pH do grupo controle estabeleceu relação de diferença significativa em relação aos demais grupos, que apresentaram pH mais elevado. No entanto, essa elevação do pH não refletiu na conversão de amônia, que seria um dos principais efeitos negativos, uma vez que todos os grupos experimentais se mantiveram dentro dos valores de referência. O mesmo aconteceu com o oxigênio dissolvido, que no grupo controle foi inferior aos demais, mas com níveis superiores aos recomendados para criação de peixes (Boyd e Tucker, 1998).

Além disso, diferenças nos valores de turbidez, DBO, sólidos dissolvidos e sólidos totais no período de seca e de chuva foram encontradas por Andrietti et al. (2015). Essa diferença pode ser explicada devido ao fato de no período de seca os rios serem abastecidos majoritariamente pelo escoamento sub superficial, o que diminui a quantidade de sólidos e moléculas poluentes que adentram os recursos hídricos (Andrietti et al., 2015). Nesta pesquisa, o período avaliado foi a estação seca, o que pode alertar para a possibilidade de níveis mais elevados na estação de chuvas.

3.2 Metais pesados na água

Os teores de metais pesados encontrados na água do rio Gualaxo do Norte e os limites de concentrações estabelecidos pela Resolução n° 357/2005 do CONAMA, que regulamenta os parâmetros físico-químicos e níveis de metais pesados para as águas superficiais Classe 2, encontram-se na tabela 2. Cabe ressaltar que a legislação utilizada “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. No entanto, grande parte das bacias hidrográficas ainda não está enquadrada, nesta legislação, pelos órgãos vigentes (Brasil, 2005).

TABELA 2. Concentração de metais pesados em amostras de água coletadas em três diferentes pontos no rio Gualaxo do Norte, atingido pelo rompimento da barragem do Fundão, e em água tratada para abastecimento da Universidade Federal de Viçosa (controle), e valores médios presentes nas águas dos aquários ao final do experimento.

METAL (mg/L)	CONTROLE	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	VALOR DE REFERÊNCIA¹
Arsênio	<0,0100	0,0220	0,0357	0,0223	0,01 mg/L
Chumbo	0,0245	0,0312	0,0186	0,0202	0,01 mg/L
Manganês	0,0176	0,0724	0,0559	0,0507	0,1 mg/L
Ferro	<0,0250	0,0505	0,1430	0,1890	0,3 mg/L
Aquários					
Arsênio	0,0190	0,0181	0,0153	0,0173	0,01 mg/L
Chumbo	0,0267	0,0195	0,0359	0,0308	0,01 mg/L
Manganês	0,0182	0,0180	0,0171	0,0192	0,1 mg/L
Ferro	<0,0250	<0,0250	<0,0250*	0,0250	0,3 mg/L

¹Conama 2005. Data da coleta dos pontos do rio e controle: 22/05/2021. Data da coleta dos aquários: 09/06/2021.

A concentração de arsênio se encontra duas a três vezes acima do limite permitido, de acordo com o CONAMA (2005), em todos os pontos do rio, com o grupo controle apresentando valor abaixo do estabelecido pela legislação (Tabela 2). A mesma legislação, no entanto, estabelece que para “corpos de água onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo” o nível de arsênio permitido é de 0,14 µg/L, ou seja, 0,00014mg/L (Brasil, 2005). Assim, ao considerar qualquer um dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, as amostras de água do rio Gualaxo do Norte ultrapassam os limites permitidos.

Em relação ao arsênio, os resultados apresentados por Costa et. al. (2018) mostraram que no ponto do rio Carmo, onde não houve passagem do rejeito, foram encontrados níveis de arsênio superiores aos permitidos pela legislação, no período antes e depois do rompimento da barragem de Fundão. No entanto, na porção do rio que foi atingida após o desastre, nenhuma análise apresentou níveis de arsênio superiores ao limite estabelecido (Costa et al., 2018). Este estudo foi realizado comparando-se os resultados de análise de metais pesados feita pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) em dois pontos do rio Carmo: um ponto atingido pelo

rejeito e outro não atingido. As amostras consideradas foram obtidas entre 2013 e 2017 e, portanto, houve comparação temporal.

Outros resultados foram apresentados por meio de pesquisa realizada no Departamento de Solos da UFV, onde foram coletadas amostras de água e sedimentos, em 12 pontos nos rios Piranga, Carmo e Doce, em junho de 2016. Os limites para arsênio no rio Carmo e no rio Doce não excederam o limite de 0,01mg/L (Maia, 2017), mas apresentaram concentrações superiores que impedem a pesca, cultivo e consumo, uma vez que o CONAMA estabelece concentração máxima de 0,00014 mg/L (Brasil, 2005) para estes fins.

Historicamente, a ocupação do Quadrilátero Ferrífero se deu pela mineração de ouro e, no geral, em locais onde há depósito desse metal, é comum a presença de enriquecimento das rochas mineralizadas com arsênio e outros elementos como prata, antimônio, boro, cobre, chumbo, zinco (Borba et al., 2000). A mineração disponibiliza no ambiente o arsênio e estima-se que, em três séculos de mineração na região do Quadrilátero Ferrífero, foram lançadas cerca de 300 mil toneladas de arsênio em tributários dos rios Doce e das Velhas (Borba et al., 2000; Maia, 2017). Dessa forma, a composição mineralógica da região, unida as atividades de exploração, pode explicar os níveis de arsênio que já eram encontrados na região e que com a passagem do rejeito foram suspendidos na água, além do recebimento de uma nova carga de metais.

Em relação ao chumbo, todas as amostras ultrapassaram o limite de concentração. O ponto 1 apresentou concentração três vezes acima do permitido pelo CONAMA (0,312 mg/L). A água usada para abastecimento da Universidade Federal de Viçosa também apresentou nível elevado, estando duas vezes acima do estabelecido pela legislação (Tabela 2), o que representa potencial risco para consumo humano.

Para manganês e ferro, todas as amostras avaliadas estavam dentro do padrão estabelecido pela legislação, apesar dos pontos do rio Gualaxo do Norte apresentarem índices mais elevados que aqueles observados na água utilizada para o tratamento controle (Tabela 2).

O monitoramento das concentrações de metais pesados na bacia hidrográfica do rio Doce tem sido feito por diversos órgãos e pesquisas e os resultados mostram a dinamicidade da água e como os efeitos da contaminação dos cursos d'água ainda precisam ser investigados. Logo após o rompimento, com o despejo do rejeito de mineração na calha do rio, foram encontrados níveis elevados de metais como ferro, chumbo, manganês, arsênio, alumínio e mercúrio, o que mostraram tendência de diminuição de concentração ao longo do tempo (Costa et al., 2018; Dias et al., 2018; Sá et al., 2021). Uma pesquisa que monitorou o comportamento

da concentração de metal, em relação ao tempo, concluiu que a maior parte dos metais apresentou significativa diminuição de concentração na água. No entanto, alguns elementos (ferro, alumínio, níquel e zinco) permaneceram com concentrações mais elevadas, ao longo do tempo, em comparação com o pré-impacto (Sá et al., 2021). Por isso, o monitoramento contínuo pós-desastre é fundamental para avaliar a qualidade da água e como as concentrações de metais têm se comportado nos diferentes pontos da bacia.

Em contraste, amostras coletadas em três diferentes pontos do rio Doce, em agosto de 2016 (um ponto não afetado e dois pontos atingidos pelo rejeito), mostraram concentrações de arsênio até nove vezes superiores à legislação, apenas nos locais afetados (Carvalho et al., 2017). O ferro não foi avaliado pela pesquisa, mas outros metais foram analisados e as concentrações encontradas de chumbo, manganês, níquel, cobre e alumínio foram superiores às permitidas. Chumbo e manganês excederam em até nove vezes o limite estabelecido pela legislação (Carvalho et al., 2017).

Os resultados encontrados por Maia (2017) nos dois pontos analisados do rio Doce encontraram concentrações de manganês dez vezes maiores que o limite estabelecido pelo CONAMA (2005), e as concentrações de ferro estavam acima do limite nos rios Doce e Carmo, afetados pelo rejeito de mineração. Os dois pontos do rio Carmo comparados por Costa et. al. (2018), um afetado e outro não afetado, não apresentaram concentrações de ferro e chumbo acima dos limites estabelecidos, mas as concentrações de manganês no local afetado foram encontradas em níveis até dez vezes maiores.

A análise de sedimentos constitui parte importante da análise das concentrações de metal pesado. Neste sentido, durante os anos de 2016 e 2017, foram realizadas análises para determinação das concentrações de metal pesado no sedimento do rio Gualaxo do Norte, em pontos atingidos e não atingidos pelo rejeito, observando-se que todas as amostras coletadas à jusante do desastre (pontos atingidos) extrapolaram os limites de ferro. Entretanto, as amostras coletadas à montante (pontos não atingidos pelo rejeito) revelaram valores superiores de ferro e de outros metais como manganês, arsênio, bário, níquel e zinco (Reis et al., 2020). Apenas um ponto de coleta na porção do rio, que foi afetada pelo rejeito da barragem de Fundão, apresentou nível de manganês, bário e zinco acima do *background* regional. (Reis et al., 2020). A hipótese levantada é que o rejeito possa ter coberto o fundo natural do rio Gualaxo do Norte.

O comportamento dos metais na água foi investigado, em uma pesquisa realizada no Espírito Santo, e os resultados encontrados por Sá et. al. (2021) mostraram que, após o impacto, o manganês passou a predominar na fração particulada em relação ao ferro e ao alumínio, o que

explicaria a tendência de sedimentação do manganês e maior disponibilidade do ferro na água, resultados compatíveis com os encontrados na presente pesquisa. Sá et. al. (2021) chegaram à conclusão que alumínio, arsênio, cádmio, crômio, cobre, ferro, vanádio e zinco, podem ser marcadores associados aos rejeitos da barragem de Fundão, sendo responsáveis pelo aumento de concentrações de metais pesados na água e pelas mudanças nas características de partição das mesmas.

A disponibilidade e concentração de metais pesados na água do rio são apenas parte do monitoramento ambiental. É importante, ainda, aprofundar os estudos dos processos biodinâmicos e biofísicos para entender os efeitos da contaminação, a longo prazo, como os metais podem se comportar em relação aos organismos aquáticos e quais os possíveis riscos para os seres humanos e para o ecossistema aquático.

Os resultados obtidos com o presente estudo mostram que nos pontos 1, 2 e 3, os níveis de arsênio, ferro e manganês diminuíram, após os 15 dias de experimento e, exceto para o ferro, os valores continuaram acima do permitido pela legislação (Brasil, 2005). A redução das concentrações de metais pesados evidencia a possibilidade de captação desses metais pelos peixes e, ou sedimentação nos aquários. A concentração de chumbo nos pontos 2 e 3 esteve superior àquela encontrada na primeira coleta realizada e todas as concentrações encontradas continuaram acima do permitido pela legislação (Brasil, 2005). Esse aumento pode estar relacionado à suspensão das partículas na água, pela oxigenação realizada pelas bombas, ou pela troca de 20% da água dos aquários, realizada no dia 7 do experimento. No tratamento controle, as concentrações foram superiores ou iguais às encontradas na primeira coleta, sendo que Pb e As ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação (Conama, 2005).

Nos organismos vivos, os metais podem trazer diferentes consequências. O arsênio, por exemplo (Tabela 3), é conhecido por ser uma substância tóxica que pode provocar diferentes manifestações clínicas dependendo da espécie química envolvida, dose e duração da exposição (Costa et al., 2018). Quando a exposição é oral e a longo prazo, o arsênio é capaz de conduzir manifestações sistêmicas em diversos órgãos, como o fígado, e pode levar a lesões irreversíveis como cirrose (Brenard et al., 1996). A intoxicação humana pode causar doenças cardiovasculares, distúrbios nos sistemas nervoso central, deficiência intelectual em crianças, além de alterações carcinogênicas (von Ehrenstein, 2007; Silvera e Rohan, 2007; Whitfield et al., 2010).

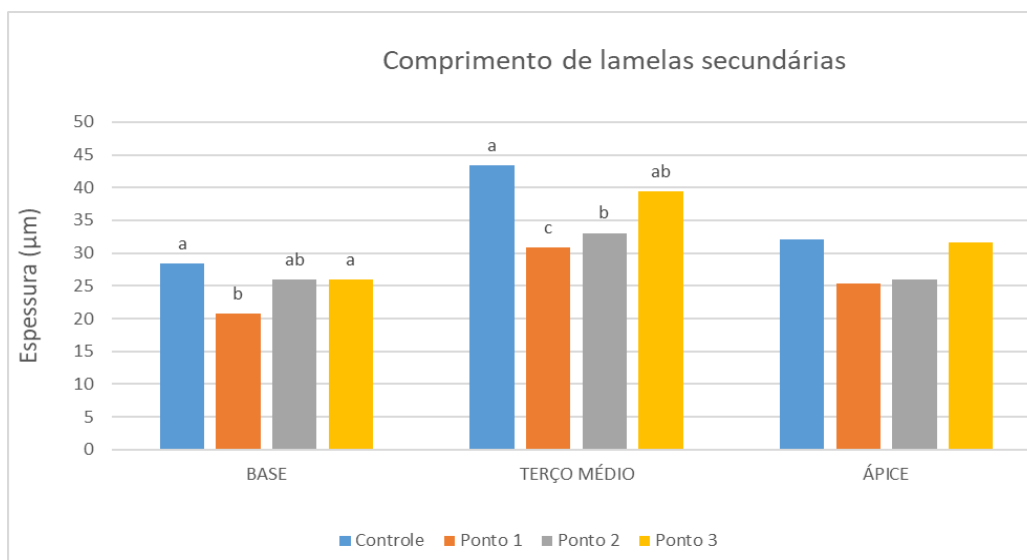
O chumbo, por sua vez, está relacionado a sintomas neurológicos, podendo causar danos intelectuais em crianças, no sistema cognitivo de adultos e está associado a doenças vasculares periféricas (Schwartz e Hu, 2007; Navas-Acien et al., 2007).

Os metais de transição, como manganês e ferro, são considerados essenciais para a manutenção de funções fisiológicas da fauna e da flora, bem como formam componentes integrais das proteínas, envolvidas nas funções biológicas (Bury et al., 2003; Carvalho et al., 2017).

3.3 Análise histomorfométrica

Os resultados das análises histomorfométricas das brânquias estão dispostos nas figuras. O comprimento de lamelas secundárias na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambaris encontra-se na figura 2.

FIGURA 2. Valores médios do comprimento de lamelas secundárias na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambari (*Astyanax altiparanae*) expostas à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle), em ensaio experimental de 15 dias.



Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferenças estatísticas.

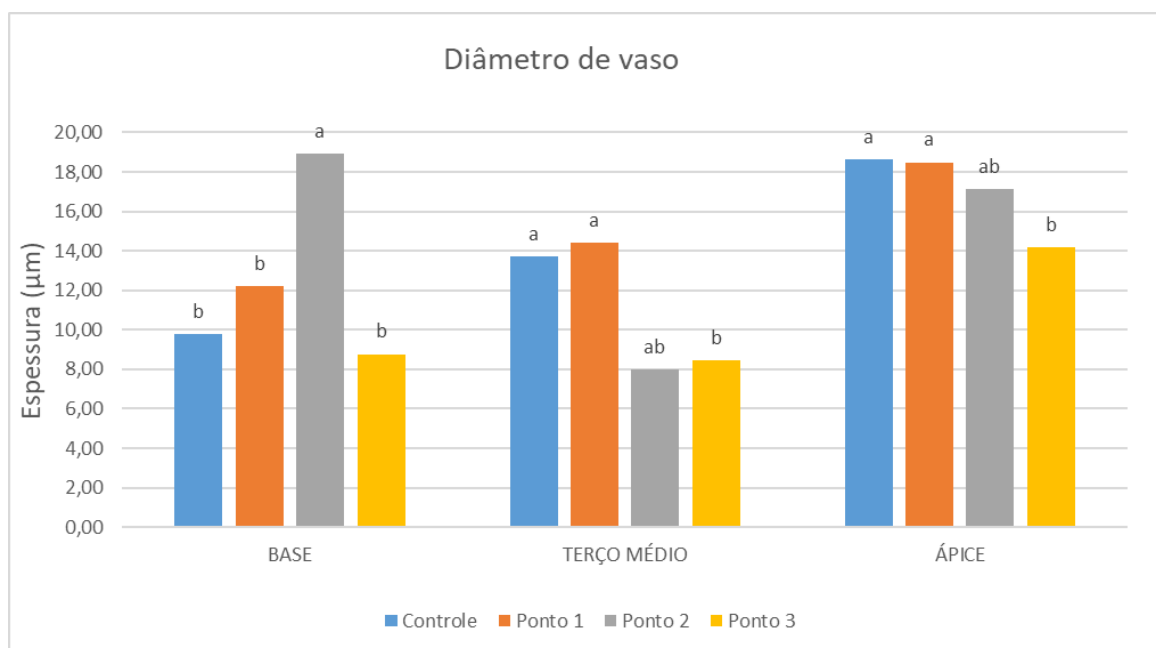
Os comprimentos de lamelas secundárias, na base e no terço médio foram, em geral, maiores no tratamento controle. No ponto 1 (P1), a lamela secundária, na base e terço médio, apresentou valores menores do que no ponto 2 (P2) e no ponto 3 (P3), que foram, em geral, semelhantes entre si. Na base da lamela houve tendência dos grupos controle, P2 e P3, apresentarem comprimentos semelhantes. P1 foi o único grupo que diferiu significativamente do controle, por apresentar comprimento menor de lamelas secundárias.

No terço médio, este comportamento de diferenciação por menor comprimento de lamelas foi encontrado também no P1 em relação ao controle.

No ápice, não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos.

As medidas de diâmetro do vaso central na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambaris encontram-se na figura 3.

FIGURA 3. Valores médios de diâmetro do vaso central da lamela primária na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambari (*Astyanax altiparanae*) expostas à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias.



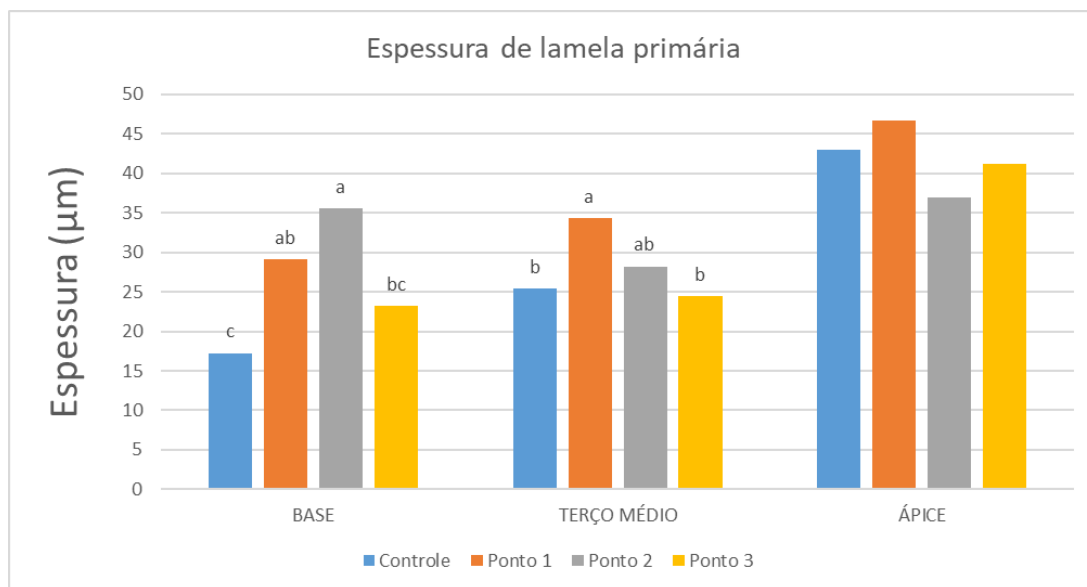
Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferenças estatísticas.

O grupo controle e o P1 apresentaram resultados semelhantes em todos os seguimentos da lamela e, em geral, exceto na base, valores maiores do que P2 e P3. Em relação aos demais, o P2 apresentou maior diâmetro do vaso na base. No terço médio, P2 e P3 apresentaram

menores diâmetros do vaso central da lamela primária, sem diferença entre eles. No ápice, o P3 apresentou o menor diâmetro de vaso, mas sem diferença para P2. Novamente, controle e P1 apresentaram valores maiores para diâmetro de vaso, diferindo do P3.

As medidas para espessura da lamela primária na base, terço médio e ápice das brânquias de lambaris encontram-se na figura 4.

FIGURA 4. Valores médios de espessura da lamela primária na base, terço médio e ápice das lamelas primárias de brânquias de lambari (*Astyanax altiparanae*) expostas à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte) e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias.



Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferenças estatísticas.

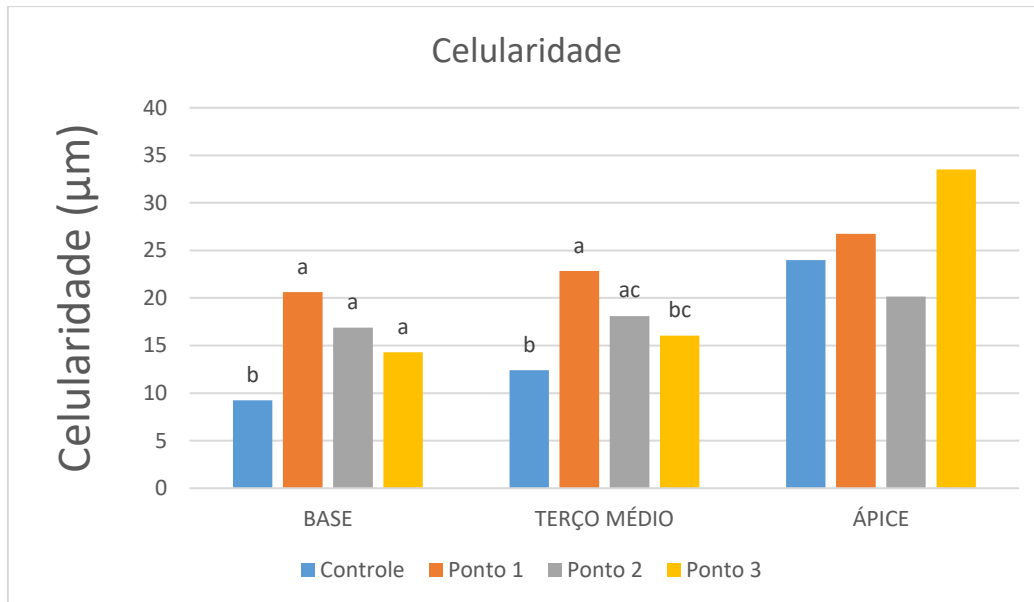
Em relação à espessura da lamela primária, na base da brânquia, o grupo controle difere dos demais tratamentos, à exceção do P3 e tem menor espessura, entre todos os grupos experimentais. O P2 mostra comportamento de diferença em relação ao controle e ao P3 e foi o grupo com maior espessura de lamela primária.

No terço médio, o único grupo que se diferenciou do grupo controle foi o P1, que por sua vez é semelhante ao P2.

No ápice não foram encontradas diferenças entre os tratamentos.

A celularidade na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambaris encontra-se na figura 5.

FIGURA 5. Valores médios de celularidade na base, terço médio e ápice das lamelas primárias das brânquias de lambari (*Astyanax altiparanae*) expostas à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias.



Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras diferentes representam diferenças estatísticas.

Em relação à celularidade na base das lamelas, o grupo controle difere dos demais e apresenta o menor valor entre os tratamentos.

No terço médio, o grupo controle não difere do P3. Porém, se difere dos demais, além de apresentar o menor valor entre os tratamentos.

No ápice não foram encontradas diferenças entre os tratamentos.

Estudos histopatológicos das brânquias mostram que este órgão tem capacidade de prevenir que os poluentes entrem em contato direto com os vasos sanguíneos branquiais e sejam absorvidos. Isso ocorre por meio de modificações da estrutura branquial, como a fusão de lamelas secundárias, hiperplasia de epitélio lamelar, aumento do diâmetro do vaso sanguíneo e hiperplasia e hipertrofia das células de muco e cloreto (Poleksic and Mitrovic-Tutundzic, 1994; Lopes, 2015; Marcon et al., 2016;).

A hiperplasia tecidual pode levar a menores valores de comprimento para as lamelas secundárias (Figura 2) e maiores valores de espessura de lamela primária (Figura 4). A hiperplasia tecidual tende a diminuir o comprimento das lamelas secundárias pela fusão celular, na tentativa de diminuir a superfície de contato com a água, ao formar um agrupamento de células entre as lamelas (Poleksic and Mitrovic-Tutundzic, 1994; Martinez et al., 2004; Marcon

et al., 2016; Sales et al., 2017). Essa alteração, para impedir a passagem de água compromete a difusão de oxigênio e está ligada à contaminação aguda (Rossi, 2008). Os menores valores de comprimento da lamela secundária apresentados pelo P1 refletem nos valores de espessura de lamela primária, que são maiores que os outros tratamentos e pode indicar esse processo de fusão tecidual com aumento da espessura lamelar.

O valor encontrado para a celularidade do grupo controle em relação aos outros grupos experimentais (figura 5) é discrepante e está relacionado à menor espessura de lamela primária com diâmetro de vaso maior, principalmente no terço médio. No ápice, essa tendência não pode ser observada como nas outras porções da brânquia. Essa diminuição de celularidade, em geral, está relacionada com a dilatação do vaso que pode levar à congestão sanguínea, aneurisma e ruptura do epitélio branquial, com consequente hemorragia e alterações sistêmicas ligadas à osmorregulação (Paulino et al., 2014; Marcon et al., 2016; Macêdo et al., 2020).

Os metais pesados têm potencial para causar alterações nos tecidos branquiais de animais aquáticos (Martinez et al., 2004; Hedayati et al. 2015). A ingestão/absorção/adsorção de arsênio, por peixes e outros animais marinhos, têm sido investigadas e pesquisadores encontraram que a intoxicação por esse metal está relacionada a danos oxidativos em peixes e outros animais aquáticos (Cui et al., 2020). O chumbo está relacionado a alterações histológicas nas brânquias de peixes, como hiperplasia celular, destacamento do epitélio branquial, aneurisma, fusão lamelar (Martinez et al., 2004). A exposição a altas concentrações de manganês pode causar danos nas brânquias dos peixes, que incluem elevação epitelial, hiperplasia, fusão lamelar, aneurisma e ondulação lamelar (Hedayati et al., 2014). O ferro, por sua vez, quando presente na água, apresenta flexibilidade de redução e produz radicais livres de oxigênio que são tóxicos para as células (Bury et al., 2003). Além disso, em excesso na água, pode formar flocos de ferro nas brânquias, resultando na sua obstrução e outros distúrbios respiratórios (Bury et al., 2003).

A menor celularidade do controle (base e terço médio) pode estar relacionada com alterações do diâmetro de vasos sanguíneos que foi encontrado em maiores valores no terço médio e ápice do grupo controle e na base das lamelas em P2, pontos que apresentaram elevadas concentrações de chumbo, metal que pode afetar sistemas vasculares (Navas-Acien, 2007).

As alterações encontradas são bastante diversas e pontuais, dependendo da região da lamela. P3 foi o grupo que demonstrou menor variação na tendência do comportamento dos biomarcadores analisados. Em geral, este ponto se aproxima do grupo controle e apresenta também arsênio e chumbo com valores semelhantes a esse tratamento. Esses dois metais, por

estarem em concentrações acima daquelas permitidas, podem ser alguns dos responsáveis por essa tendência.

Esses achados dialogam diretamente com a fala dos/as atingidos/as, ao relatarem a diminuição da população de peixes e ao fazerem conclusões sobre o rejeito, como as da entrevistada 2:

“Peixe é uma coisa muito sensível. Então, acho que se não fosse tóxico não ia ter diminuído tanto”

(Mulher, família 2).

Sendo assim, fica claro que a população de peixes e diversidade de espécies foi afetada pelo rejeito e que esses organismos podem ainda ser prejudicados a longo prazo. Os metais pesados lançados na calha do rio são os principais responsáveis pelos prejuízos e outros estudos têm demonstrado desorganização tecidual, aumento das células de cloreto, aneurismas e hemorragias, na presença de metal pesado (Hedayati et al., 2014; Jesus et al., 2020; Macêdo et al., 2020), parâmetros não avaliados na presente pesquisa. Para melhor avaliação destes parâmetros, mais estudos precisarão ser realizados a fim de se estabelecer maior abrangência da avaliação histológica.

4. CONCLUSÕES

As concentrações de metais pesados registradas nesse estudo foram superiores aos limites estabelecidos na legislação. A concentração de arsênio, na água do rio Gualaxo do Norte é preocupante, pois é um metal considerado prejudicial para seres humanos e com potencial de bioacumulação nos organismos aquáticos.

As alterações histológicas avaliadas permitem inferir sobre a possibilidade de os metais pesados estarem causando alteração na estrutura branquial. O tempo de acumulação do metal em peixes é maior do que o utilizado experimento realizado. Entretanto, apesar do curto período experimental, os dados indicam a possibilidade de danos.

O contínuo monitoramento da bacia do Rio Doce é fundamental. Além de estudos mais detalhados para elucidar melhor os efeitos das condições de qualidade da água sobre os organismos aquáticos, é preciso também garantir a segurança das pessoas que utilizam a água e fazem consumo dos peixes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, C.B.M., Gomes, J.P.C., Pessali, T.C., Gasparini, J., 2021. Peixes ameaçados de extinção na Bacia do rio Doce. **Livro vermelho da biota aquática do Rio Doce ameaçada de extinção pós rompimento da barragem de Fundão**. Mariana, Minas Gerais. p. 204-266.
- Andrietti, G., Freire, R., Amaral, A.G., Almeida, F.T., Bongiovani, M.C., Schneider, R.M., 2015. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Rev. Ambient. e Agua**. v. 11, p. 445-458.
- Arana, L.V., 1997. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura - uma revisão para peixes e camarões**. Ed. UFSC. Florianópolis. 166p.
- Arias, A.R.L., Buss, D.F., Albuquerque, C., Inácio, A.F., Freire, M.M., Egler, M., Mugnai, R., Baptista, D.F., 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Cienc. e Saude Coletiva**. v. 12, p. 61-72.
- Ballotin, L.V., 2019. **Níveis de metais pesados e histopatologias nas brânquias de duas espécies de peixes da bacia do rio Doce após rompimento da barragem em Mariana-MG**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal. Universidade Federal de Viçosa. 77p.
- Barra, C.M., Santelli, R.E., Abrão, J.J., La Guardia, M., 2000. Especificação de arsênio - Uma revisão. **Quim. Nova**. v. 23, p.58-70.
- Bertolin, M., 2018. **Resíduos de desastres ambientais: um olhar diferenciado sobre o rompimento da Barragem do Fundão (Mineradora Samarco), em Mariana-MG**. Monografia. Universidade de São Paulo. 74p.
- Borba, R.P., Figueiredo, B.R., Rawlins, B., Matschullat, J., 2000. Arsenic in water and sediment in the iron quadrangle, State of Minas Gerais, Brazil. **Rev. Bras. Geociências**. v. 30, p. 558-561.
- Brasil, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357/2005, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- Brenard, R., Laterre, P.F., Reynaert, M., Hantson, P., Mahieu, P., Buchet, J.P., Geubel, A., Rahier, J., 1996. Increased hepatocytic mitotic activity as a diagnostic marker of acute arsenic intoxication. A report of two cases. **J. Hepatol**. v. 25, p. 218-220.
- Bury, N.R., Walker, P.A., Glover, C.N., 2003. Nutritive metal uptake in teleost fish. **J. Exp. Biol**. v. 206, p. 11-23.
- Capitani, E.M., 2009. Diagnóstico e tratamento da intoxicação por chumbo em crianças e adultos. **Rev. Med**. v. 42, p. 309-319.
- Carvalho, M.S., Ribeiro, K.D., Moreira, R.M., Almeida, A.M., 2017. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil. **Acta Bras**. v. 1, p. 37.
- Coelho, D.G., Marinato, C.S., Matos, L.P., Andrade, H.M., Silva, V.M., Neves, P.H.S., Oliveira, J.A., 2020. Evaluation of metals in soil and tissues of economic-interest plants grown in sites affected by the Fundão dam failure in Mariana, Brazil. **Integr. Environ. Assess. Manag**. v. 16, p. 596-607.

- Costa-Silva, D.G., Nunes, M.E.M., Wallau, G.L., Martins, I.K., Zemolin, A.P.P., Cruz, L.C., Rodrigues, N.R., Lopes, A.R., Posser, T., Franco, J.L., 2015. Oxidative stress markers in fish (*Astyanax* sp. and *Danio rerio*) exposed to urban and agricultural effluents in the Brazilian Pampa biome. **Environ. Sci. Pollut. Res.** v. 22, p. 15526-15535.
- Costa, A.S.V., Vasconcellos, C.D.O., Bravin, T.C., 2018. Análise das alterações dos parâmetros de qualidade do rio do Carmo, afluente do rio Doce, após o rompimento da barragem de Funndão, em Mariana-MG. **Holos.** v. 18, p. 160-176.
- Cui, D., Zhang, P., Li, H., Zhang, Z., Luo, W., Yang, Z., 2020. Biotransformation of dietary inorganic arsenic in a freshwater fish *Carassius auratus* and the unique association between arsenic dimethylation and oxidative damage. **J. Hazard. Mater.** v. 391, p. 122153.
- Dias, C.A., Costa, A.S.V., Guedes, G.R., Umbelino, G.J.M., Sousa, L.G., Alves, J.H., Silva, T.G.M., 2018. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do rio Doce. **Rev. Espinhaço.** v 7, p. 21-35.
- Ferreira, F.F., Freitas, M.B.D., Szinwelski, N., Vicente, N., Medeiros, L.C.C., Reynaud Schaefer, C.E.G., Dergam, J.A., Sperber, C.F., 2020. Impacts of the Samarco tailing dam collapse on metals and arsenic concentration in freshwater fish muscle from Doce River, southeastern Brazil. **BioRxiv.** v. 16, p. 622-630.
- Freitas, C.M., Silva, M.A., Menezes, F. carvalho de, 2016. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Cienc. Cult.** v. 68, p. 25-30.
- Hedayati, A., Hoseini, S.M., Ghelichpour, M., 2014. Acute toxicity of waterborne manganese to *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) - gill histopathology, immune indices, oxidative condition, and saltwater resistance. **Toxicol. Environ. Chem.** v. 96, p. 1535-1545.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., 1998. **Pond aquaculture water quality management.** Kluwer, Boston. 700p.
- Jesus, W.B., Andrade, T.S. O.M., Soares, S.H., Pinheiro-Sousa, D.B., Oliveira, S.R.S., Torres, H.S.T., Protazio, G. S., Silva, D.S., Santos, D.M.S., Neta, A.V.C., Benjamin, L.A., Neta, R.N.F.C., 2020. Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. **Chemosphere.** v. 271, p. 129444.
- Leonardo, A.F., Corrêa, C.F., Baccarin, A.E., 2011. Qualidade da água de um reservatório submetido à criação de tilápias em tanques-rede, no sul de São Paulo, Brasil. **Bol. do Inst. Pesca.** v. 37, p. 341-354.
- Lins, J.A.P.N., Kirschnik, P.G., Queiroz, V.S., Cirio, S.M., 2010. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. **Rev. Acad. Ciênc. Anim.** v. 8, p. 469-484.
- Lopes, D.S., 2015. **Efeitos do inseticida Dimilin® na morfologia de brânquias de machos e fêmeas de *Hyphessobrycon eques* adultos.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal de Viçosa. 60p.
- Lucas, A.A.T., Folegatti, M. V., Duarte, S.N., 2010. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.** v. 14, p. 937-943.
- Macêdo, A.K.S., Santos, K.P.E. dos, Brighenti, L.S., Windmüller, C.C., Barbosa, F.A.R., Ribeiro, R.I.M.A., Santos, H.B., Thomé, R.G., 2020. Histological and molecular changes in gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lütken, 1875) exposed to water from the Doce basin after

- the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Sci. Total Environ.** v 735, p. 139505.
- Magalhães, D.P., Ferrão-Filho, A.S., 2008. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Aust.** p. 355-381.
- Maia, F.F., 2017. **Elementos traços em sedimentos e qualidade da água de rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 44p.
- Marcon, L., Bazzoli, N., Mounteer, A.H., Benjamin, L.A., 2015. Histological and histometric evaluation of the liver in *Astyanax bimaculatus* (Teleostei: Characidae), exposed to different concentrations of an organochlorine insecticide. **Anat. Rec.** v. 298, p. 1754-1764.
- Marcon, L., Lopes, D.S., Mounteer, A.H., Goulart, A.M.A., Leandro, M.V., Benjamin, L.A., 2016. Pathological and histometric analysis of the gills of female *Hyphessobrycon eques* (Teleostei:Characidae) exposed to different concentrations of the insecticide Dimilin®. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** v. 131, 135-142.
- Martinez, C.B., Nagae, M.Y., Zaia, C.T., Zaia, D.A., 2004. Acute morphological and physiological effects of lead in the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Braz. J. Biol.** v. 64, p. 797-807.
- Mendes, L.A. 2012. **Avaliação da exposição da população de Passagem de Mariana (MG) aos elementos-traço, com ênfase ao arsênio.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. 147p.
- Merçon, J., Cabral, D.S., Teixeira, B.C., Pereira, T.M., Bona, A.M., Armini, C.V.L., Agostinho, S.G.N., Vasconcelos, C.M., Gomes, L.C., 2022. Seasonality effects on the metal concentration and biochemical changes in *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characiformes) from Doce River after the collapse of the Fundão dam in Mariana, Brazil. **Environ. Toxicol. Pharmacol.** v. 89. p. 1382-6689.
- Milanez, B., Santos, R.S.P., Weerley, L.J.M., Mansur, M.S., Pinto, R.G., Gonçalves, R.J.A.F., Coelho, T.P., 2015. **Antes fosse mais leve a carga: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG).** Mimeo. 103p.
- Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E.K., Rothenberg, S.J., 2007. Lead exposure and cardiovascular disease - A systematic review. **Environ. Health Perspect.** v. 115, p. 472-482.
- Paiva, S.R., 2001. **Influência dos obstáculos naturais na divergência de populações de *Astyanax bimaculatus* na bacia do rio Doce-MG.** Universidade Federal de Viçosa. 66p.
- Paulino, M.G., Benze, T.P., Sadauskas-Henrique, H., Sakuragui, M.M., Fernandes, J.B., Fernandes, M.N., 2014. The impact of organochlorines and metals on wild fish living in a tropical hydroelectric reservoir: Bioaccumulation and histopathological biomarkers. **Sci. Total Environ.** p. 497-498.
- Pereira, L.P.F., Mercante, C.T.J., 2016. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **Bol. Inst. da Pesca.** v. 31, p. 81-88.
- Poleksic, V., Mitrovic-Tutundzic, V., 1994. Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution, in: **Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish.** p. 339-352.
- Queiroz, J.F., Boeira, R.C., 2007. **Boas práticas de manejo (BPMs) para reduzir o acúmulo de amônia em viveiros de aquicultura.** EMBRAPA. p. 1-5.

- Reis, D.A., Roeser, H.M.P., Santiago, A.F., 2020. Environmental impacts at the bottom sediments in a Doce River tributary after the Fundão dam rupture. **Res. Soc. Dev.** v. 9, p. 22.
- Rossi, S. **Uso de biomarcadores para a detecção de efeitos subletais dos pesticidas Roundup® e Hexaton® em *Astyanax sp.* (Pisces, Teleostei).** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 64p.
- Sá, F., Longhini, C.M., Costa, E.S., Silva, C.A., Cagnin, R.C., Gomes, L.E.O., Lima, A.T., Bernardino, A.F., Neto, R.R., 2021. Time-sequence development of metal(loid)s following the 2015 dam failure in the Doce river estuary, Brazil. **Sci. Total Environ.** v. 769, p. 144532.
- Sales, C.F., Santos, K.P.E., Rizzo, E., Ribeiro, R.I.M.A., Santos, H.B., Thomé, R.G., 2017. Proliferation, survival and cell death in fish gills remodeling: From injury to recovery. **Fish Shellfish Immunol.** v. 68, p. 10-18.
- Silvera, S.A.N., Rohan, T.E., 2007. Trace elements and cancer risk: A review of the epidemiologic evidence. **Cancer Causes Control.** v. 18, p. 7-27.
- Sobreira, F., 2014. Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. **Quat. Environ. Geosci.** v 05, p. 55-65.
- Souza, J.D.S., 2021. **Fontes de carbono na produção de juvenis de tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de bioflocos.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal de Viçosa. 98p.
- Torres, J.P.M., Souza, J., Padilha, J., Oliveira, G., Paiva, T., 2017. Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce. 37p.
- van der Oost, R., Beyer, J., Vermeulen, N.P.E., 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. **Environ. Toxicol. Pharmacol.** v 13, p. 57-149.
- Viana, J.P., 2017. Os pescadores da Bacia do rio Doce: Subsídios para a mitigação dos impactos socioambientais do desastre da Samarco em Mariana, Minas Gerais. **Nota Técnica - IPEA.**
- Viana, L.F., Suárez, Y.R., Cardoso, C.A.L., Crispim, B. do A., Cavalcante, D.N. de C., Grisolia, A.B., Lima-Junior, S.E., 2018. The response of neotropical fish species (Brazil) on the water pollution: Metal bioaccumulation and genotoxicity. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** v 75, p. 476-485.
- Von Ehrenstein, O.S., Poddar, S., Yuan, Y., Mazumder, D.G., Eskenazi, B., Basu, A., Hira-Smith, M., Ghosh, N., Lahiri, S., Haque, R., Ghosh, A., Kalman, D., Das, S., Smith, A.H., 2007. Children's intellectual function in relation to arsenic exposure. **Epidemiology.** v. 18, p. 44-51.
- Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M., Peakall, D.B., 2001. **Principles of ecotoxicology.** 326p.
- Whitfield, J.B., Dy, V., Mcquilty, R., Zhu, G., Heath, A.C., Montgomery, G.W., Martin, N.G., 2010. Genetic effects on toxic and essential elements in humans: Arsenic, cadmium, copper, lead, mercury, selenium, and zinc in erythrocytes. **Environ. Health Perspect.** v. 118, p. 776-782.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os etnoindicadores identificados nas entrevistas e caminhadas transversais mostraram que as populações locais detêm saberes complexos e amplos sobre o território atingido, bem como sobre as mudanças ambientais e sociais decorrentes do desastre/crime. Esses saberes estão relacionados a diversos elementos do ecossistema (água, solo, plantas, peixes e animais) estão conectados entre si e com os indicadores científicos. O conhecimento das espécies de peixes, suas peculiaridades e mudanças na população desses animais são percebidos pela sensível observação dos/as agricultores/as e dialoga com as mudanças morfológicas encontradas nos peixes utilizados no experimento ecotoxicológico realizado nesta pesquisa. A presença de metais pesados na água confirma o prejuízo ao ecossistema aquático e coloca em risco a segurança alimentar das pessoas cuja pesca e consumo de peixes são atividades que fazem parte da rotina da comunidade. É possível que as alterações causadas nas brânquias dos peixes, e possivelmente em outros órgãos, sejam as responsáveis pela diminuição das espécies e pode afetar diretamente a sobrevivência das mesmas.

Além disso, a presença dos metais na água alerta para o risco de bioacumulação e efeitos crônicos ao longo do tempo, pois sabe-se que a população construiu laços no entorno da bacia do rio Doce. Ainda assim, apesar da legislação do CONAMA estabelecer os limites de concentrações de metal pesado para as diferentes classes, não houve, até hoje, o enquadramento da bacia hidrográfica, o que acarreta em dificuldades e divergências para estabelecer medidas de mitigação e até mesmo de orientação à população. Por isso, unir diferentes metodologias de pesquisa e de levantamento de dados e informação é fundamental para o êxito das estratégias de reparação.

A sabedoria dos/das agricultores/as, expressa nos indicadores de percepção dos efeitos do desastre/crime em seus territórios, dialoga com Paulo Freire (1985a; 1985b) ao afirmar que a vida nos ensina pelo “saber de experiência feito”. O reconhecimento destes saberes advindos da prática não visa sua idealização, mas a legitimidade dos mesmos em termos epistemológicos (Freire, 1985a). Dessa forma, com esse estudo foi possível perceber que os etnoindicadores utilizados pelos/as atingidos/as, para avaliar o ambiente, são sensíveis às modificações não consideradas pelos métodos científicos tradicionais, além de trazer a especificidade local necessária para o monitoramento mais efetivo dos efeitos do desastre/crime a longo prazo. Essa especificidade está representada nos principais etnoindicadores identificados: alterações na cor e tempo de decantação dos sedimentos, retorno das espécies animais e vegetais, mudanças

morfológicas do rio (alterações de paisagem), características do rejeito no solo que comprometem o desenvolvimento das plantas, e diversidade de peixes presentes no rio.

Estes saberes são importantes na mitigação dos impactos provocados no território pelo desastre/crime, pois a reconstrução do ecossistema atingido requer um manejo integrado que considere a conexão e a relação dos elementos entre si. Assim, o uso dos etnoindicadores advindos das observações e práticas dos agricultores/as, aprimorados ao longo do tempo (Castillo et al., 2020; Castillo e Ladio, 2018, 2017), articulados com os indicadores científicos pode auxiliar na implantação de estratégias mais eficazes de manejo integrado do solo, água e biodiversidade do território. Além disso, os etnoindicadores podem contribuir para minimizar as sensações de insatisfação e insegurança presentes no território.

Outra dimensão dos etnoindicadores, segundo Toledo e Barrera-Bassols (2008), está refletida na conexão entre os conhecimentos tradicionais e outros fenômenos humanos, como sua crença. Enquanto a prática permite a satisfação material das pessoas, a crença está direcionada à satisfação espiritual e é responsável por ordenar a prática (Toledo e Barrera-Bassols, 2008). A pesquisa não tratou desta outra dimensão dos etnoindicadores, que precisa ser aprofundada em trabalhos futuros.

Portanto, o diálogo de saberes entre os etnoindicadores de mudança ambiental e os bioindicadores proposto nesta pesquisa, é uma estratégia que possibilita uma avaliação e monitoramento mais abrangentes e contextualizados, além de proporcionar maiores benefícios para as pessoas e para que as mesmas se apropriem dos seus saberes.

ANEXO I

Roteiro entrevista semiestruturada

1. Identificação (levantamento prévio com a OCA)

Quantas pessoas residem na propriedade?

Nomes das pessoas:

Quantas mulheres? _____. Quantos homens? _____. Quantas crianças? _____

Idade das pessoas:

2. Trajetória de vida

- Onde você nasceu? Quando veio morar em Campinas/Barretos? O que fazem/faziam seus pais? Você deu continuidade à atividade que eles desempenhavam? E hoje? Sempre teve acesso a alguma área de cultivo? O que e como produziam? Qual era a sua relação com o rio?

- Como é sua relação com os vizinhos e com a comunidade? Você participa de algum mutirão, trocas de dias de serviço, trocas de produtos, participa de reuniões ou alguma outra atividade coletiva?

3. Depois da lama

- Como você ficou sabendo do rompimento da barragem de Fundão? Qual foi o seu sentimento naquele momento? Como você foi atingido? Você chegou a perder algum bem material? Como a lama afetou a sua vida? Quais foram as suas estratégias para obtenção de renda?

- Que tipo de relação você tinha com o rio Doce na época do rompimento? Você costumava pescar no rio? Como a pesca foi interrompida depois do rompimento da barragem? Quais peixes costumava pegar? Como isto modificou sua vida?

4. Significado do quintal e do solo

O que seu quintal significa para você? Qual a importância que ele tem na sua vida?

4.1. Qualidade do solo e do ambiente

- Como vocês sabem que a terra está saudável/boa/forte?

- Que informações eram usadas por seus pais e avós para escolher as áreas de plantio?

- Produz vegetais? Quais? São para consumo próprio ou comercialização?

- Utiliza agrotóxicos ou adubo químico na produção? Há quanto tempo utiliza/não utiliza?

- Como era o solo antes do rompimento? O que produzia antes do rompimento da barragem?

Quais plantas existiam? Quais não existem mais?

- Como vocês podem acompanhar as mudanças na terra e no quintal de vocês em longo prazo?

- Quais bichos vocês observam em seus quintais? Nas plantas? Na terra?

5. Significado do rio Doce

O que o rio Doce significa pra você? Qual a importância que ele tem na sua vida?

5.1. Qualidade da água

- Da onde vem a água que consomem? Há quanto tempo? Houve mudança?
- Como é a captação da água? () Bomba () Manual () Outros _____.
- A água da sua casa é boa para beber?
- Já teve problemas com a falta de água em alguma ocasião? Quando?
- Já deixou de usar a água da sua casa por algum motivo? Qual?
- Qual o destino do esgoto da casa? Há quanto tempo utiliza essa forma de destino?

6. Perspectiva de futuro

- Quais as suas expectativas em relação ao futuro? Você acha que vai conseguir voltar a pescar no rio? Você acha que vai conseguir voltar a plantar e consumir os produtos do quintal? Você espera que seus filhos/netos continuem com as atividades que você faz? Que continuem morando nesse lugar?
- O que você acha que pode ser feito para melhorar a qualidade de vida dos atingidos?

ANEXO II

TABELA 1. Valores médios \pm erro padrão de peso de (10/peixes por aquário) lambaris (*Astyanax altiparanae*) expostos à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias no início do experimento (D0).

TRATAMENTO	MÉDIA \pm ERRO PADRÃO
CONTROLE	42,09 \pm 0,22
P1	42,27 \pm 0,22
P2	42,24 \pm 0,22
P3	42,24 \pm 0,22

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

TABELA 2. Valores médios \pm erro padrão de peso de (10/peixes por aquário) lambaris (*Astyanax altiparanae*) expostos à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias no final do experimento (D15).

TRATAMENTO	MÉDIA \pm ERRO PADRÃO
CONTROLE	42,40 \pm 2,13
P1	36,71 \pm 2,13
P2	36,04 \pm 2,13
P3	41,16 \pm 2,13

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

TABELA 3. Valores médios \pm desvio padrão de peso individual dos peixes (*Astyanax altiparanae*) expostos à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias ao final do experimento (D15).

TRATAMENTO	MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO
CONTROLE	4,05 \pm 1,45
P1	4,00 \pm 1,50
P2	4,16 \pm 1,37
P3	3,97 \pm 1,29

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças ($p < 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis.

TABELA 4. Valores médios \pm desvio padrão do comprimento padrão dos peixes (*Astyanax altiparanae*) expostos à água de três diferentes pontos do rio Gualaxo do Norte e à água da rede de abastecimento da UFV (controle) em ensaio experimental de 15 dias ao final do experimento (D15).

TRATAMENTO	MÉDIA \pm DESVIO PADRÃO
CONTROLE	5,13 \pm 0,55
P1	6,31 \pm 6,55
P2	5,15 \pm 0,54
P3	5,12 \pm 0,51

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças ($p < 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis.

TABELA 5. Valores médios \pm desvio padrão de comprimento de lamelas secundárias na base, terço médio e ápice das brânquias.

TRATAMENTO	BASE	TERÇO MÉDIO	ÁPICE
CONTROLE	28,42 \pm 13,11b	43,35 \pm 14,38c	32,05 \pm 20,08
PONTO 1	20,75 \pm 9,46a	30,85 \pm 13,15a	25,28 \pm 15,18
PONTO 2	25,91 \pm 13,25ab	33,04 \pm 12,98b	25,93 \pm 17,73
PONTO 3	25,94 \pm 10,68b	39,45 \pm 10,60bc	31,57 \pm 14,81

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças.

TABELA 6. Valores médios \pm desvio padrão de diâmetro de vaso na base, terço médio e ápice das brânquias.

TRATAMENTO	BASE	TERÇO MÉDIO	ÁPICE
CONTROLE	9,80 \pm 8,45a	13,69 \pm 7,82b	18,61 \pm 5,64b
PONTO 1	12,22 \pm 7,43a	14,39 \pm 7,17b	18,48 \pm 7,03b
PONTO 2	18,92 \pm 6,77b	7,98 \pm 10,85ab	17,11 \pm 5,29ab
PONTO 3	8,76 \pm 7,13a	8,45 \pm 6,29a	14,17 \pm 5,20a

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças.

TABELA 7. Valores médios \pm desvio padrão de espessura de lamela primária na base, terço médio e ápice das brânquias.

TRATAMENTO	BASE	TERÇO MÉDIO	ÁPICE
CONTROLE	17,25 \pm 16,33a	25,41 \pm 13,46a	42,92 \pm 10,62
PONTO 1	29,15 \pm 15,33bc	34,33 \pm 15,01b	46,64 \pm 15,79
PONTO 2	35,59 \pm 16,15c	28,21 \pm 15,73ab	37,00 \pm 12,72
PONTO 3	23,21 \pm 14,12ab	24,44 \pm 11,28a	41,21 \pm 14,11

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças.

TABELA 8. Valores médios \pm desvio padrão de celularidade na base, terço médio e ápice das brânquias.

TRATAMENTO	BASE	TERÇO MÉDIO	ÁPICE
CONTROLE	9,25 \pm 9,43a	12,41 \pm 8,33a	23,99 \pm 8,25
PONTO 1	20,61 \pm 10,23b	22,83 \pm 10,82c	26,73 \pm 13,69
PONTO 2	16,88 \pm 13,20b	18,11 \pm 8,46bc	20,16 \pm 9,97
PONTO 3	14,31 \pm 11,20b	16,04 \pm 9,54ab	33,50 \pm 13,08

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e, quando não paramétricos, foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferenças.