

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Rompimento, rejeito e resistência: monitoramento participativo da qualidade do solo em territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba

Maria Nascimento Oliveira
Doctor Scientiae

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026

MARIA NASCIMENTO OLIVEIRA

Rompimento, rejeito e resistência: monitoramento participativo da qualidade do solo em territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Raphael B. Alves Fernandes

Coorientadores: Dener M. da S. Oliveira
Irene Maria Cardoso
Maria E. Paula de Souza

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

T

Oliveira, Maria Nascimento, 1990-
O48r Rompimento, rejeito e resistência: monitoramento
2026 participativo da qualidade do solo em territórios atingidos por
 mineração na Bacia do Rio Paraopeba / Maria Nascimento
 Oliveira. – Viçosa, MG, 2026.

1 tese eletrônica (184 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2026.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.496>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solos - Poluição. 2. Metais pesados. 3. Barragens de
rejeitos. 4. Solos - Conservação. 5. Meio ambiente -
Conservação. I. Fernandes, Raphael Bragança Alves, 1969-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de
Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 631.4

MARIA NASCIMENTO OLIVEIRA

Rompimento, rejeito e resistência: monitoramento participativo da qualidade do solo em territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de janeiro de 2026.

Assentimento:

Maria Nascimento Oliveira
Autora

Raphael Braganca Alves Fernandes
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 28/08/2026 às 11:47:49 e pelo orientador em 28/08/2026 às 11:49:52. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **0778.MELN.HQA7** e clique no botão 'Validar documento'.

*Aos meus pais,
que, mesmo privados do acesso à educação, nunca deixaram de acreditar nela
como o caminho mais digno e justo para transformar a vida. Com eles aprendi que
persistir é seguir em frente, descansar quando necessário e recomeçar sempre com
coragem e esperança.*

*Às pessoas atingidas da bacia do Paraopeba,
que me acolheram, compartilharam suas histórias e caminharam comigo ao longo
desta pesquisa. Este trabalho também lhes pertence, pois foi construído a partir dos
encontros, dos aprendizados e da confiança que depositaram em mim. Que ele
honre, ainda que modestamente, a memória, a resistência e a luta de cada
comunidade por justiça e reparação.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos meus guias espirituais, que me sustentaram quando tudo parecia pesado demais. Foi a espiritualidade que me guiou até aqui — inteira, firme e bem.

Aos meus pais, José Patricio (Seu Dedé) e Francisca Nascimento (Dona Francisca) por tudo e por tanto. Com eles aprendi a nunca desistir da luta, mas descansar e retomar mais forte; e que sempre existe um lar para onde voltar. Aprendi que o estudo é a maior ferramenta de transformação para quem teve direitos negados. Este título de doutora carrega a história de vocês e se torna ainda mais valioso por saber o quanto essa conquista os faz felizes. Hoje, compartilhamos deste “grau alto”: nós conseguimos!

Às minhas irmãs, Daiane, Renata e Amanda, e aos meus irmãos, Maciel e Marcos (in memoriam), obrigada pelas memórias compartilhadas, parceria, amizade, carinho e presença constante em minha vida. Às minhas sobrinhas, que são pura alegria, meu amor imenso, amo ser tia de vocês! Obrigada pela compreensão diante das ausências, pelo cuidado e por acreditarem neste sonho junto comigo.

Este trabalho, só foi possível porque muitas mãos, vozes e caminhos se encontraram ao longo dessa trajetória.

Agradeço profundamente às famílias atingidas da Região 3 da bacia do Rio Paraopeba. Obrigada por me receberem tão bem! Cada visita, cada conversa no quintal ou na cozinha, cada caderneta preenchida, em cada intercâmbio e cada gesto de confiança e carinho, vocês sustentaram essa pesquisa e foram fundamentais nessa jornada.

Ao Núcleo de Assessoria as Comunidades Atingidas por Barragens, pela parceria e apoio incondicional que permitiram que esta pesquisa fosse realizada. Aos colegas da ATI Paraopeba, especialmente à equipe de Pará de Minas e aos queridos Gabriel e Oséias, em Esmeraldas, pela parceria no campo, pelo acolhimento e suporte!

À Dr.^a Maria Eunice, pela sensibilidade, amizade, acolhimento e por todos os ensinamentos, obrigada por tudo e por tanto.

À Prof.^a Irene Cardoso, pela generosidade firme, pela ética inegociável e por me ensinar que uma ciência verdadeiramente comprometida exige coragem, posicionamento e responsabilidade, muito obrigada!

Ao meu orientador, Prof. Raphael Fernandes, pelo acolhimento, compreensão e por oferecer segurança técnica, científica e humana em todas as etapas desta jornada.

Ao Prof. Dener Oliveira, e toda a sua equipe pela parceria e suporte ao longo da pesquisa.

As minhas amigas e as mulheres que caminham comigo, mesmo a

distância e nos momentos de incerteza, lembrarmos juntas que, no fim, tudo dá certo. Em especial, à Jeani Sandin e Clara Soares, cuja presença tornou esta caminhada possível.

Ao Renato, pelo carinho e por ter compartilhado comigo parte importante dessa caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação e a todo corpo técnico do Departamento de Solos pelo apoio e suporte.

Por fim, agradeço ao presidente Luiz Inácio Lula da Silva, pela coragem de descentralizar o ensino público e ampliar o acesso à educação a partir de políticas públicas que transformaram e transforma a minha vida. Graças a essas políticas, a filha de agricultores familiares nordestinos, pôde sonhar, permanecer na escola e chegar ao doutorado, em uma das melhores universidades deste país.

Nada foi fácil, mas esta conquista é fruto de muita luta, apoio coletivo e profunda GRATIDÃO!

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

*“Hoje não se vê mais passarinhos na beira do rio cantando, está sem graça, triste, o rio morreu. A gente sofre com a natureza, está tudo triste.”
— J., agricultora atingida da bacia do rio Paraopeba, 2024.*

RESUMO

OLIVEIRA, Maria Nascimento, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2026. **Rompimento, rejeito e resistência: monitoramento participativo da qualidade do solo em territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba.** Orientador: Raphael Braganca Alves Fernandes. Coorientadores: Dener Marcio da Silva Oliveira, Irene Maria Cardoso e Maria Eunice Paula de Souza.

O rompimento da barragem B1 da Mina Córrego do Feijão de propriedade da empresa Vale S.A., em 2019, em Brumadinho (MG), foi um desastre-crime socioambiental de grande magnitude, com efeitos que ainda persistem nos solos, águas, agroecossistemas e nos modos de vida das populações da bacia do rio Paraopeba. Apesar dos vários estudos realizados após o desastre, as famílias atingidas seguem inseguras quanto ao uso do solo e da água, bem como ao consumo de alimentos produzidos nas áreas afetadas e quando poderão voltar a cultivar com segurança nesses locais. Os conhecimentos das famílias atingidas seguem marginalizados nos processos formais de avaliação e tomada de decisão que estão em curso no processo de reparação ambiental e socioeconômica. Neste cenário, o presente estudo teve por objetivo compreender os efeitos da deposição do rejeito sobre a qualidade física, química e funcional dos solos de propriedades da agricultura familiar afetadas na bacia, focando no fortalecimento da autonomia das famílias nas decisões sobre o manejo dos seus agroecossistemas. O estudo adotou a abordagem da pesquisa-ação, integrando entrevistas, análises físicas e químicas de solos e plantas, experimento em casa de vegetação e instrumentos participativos de monitoramento. A percepção das famílias atingidas resultou na identificação de 37 etnoindicadores de qualidade ambiental e social que podem ser usados para se avaliar os impactos causados pelo rejeito depositado. Esses etnoindicadores foram organizados em seis categorias (plantas, terra, águas, peixes, animais, e saúde, renda e convivência) e sistematizados na proposição de uma Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo. As análises conduzidas indicaram que os solos afetados pelo rejeito da mineração apresentaram maior teor de silte, maior densidade de partículas, aumento da microporosidade com consequente redução da macroporosidade funcional e menor condutividade hidráulica, além de enriquecimento em oito dos doze elementos químicos avaliados (Ni, Cr, Zn, V, Co, Fe, Mn e Cd). Os elementos químicos Ni, Cr, Zn e V foram considerados como os melhores indicadores do impacto ambiental nos solos atingidos, segundo os índices geoquímicos CF e PLI. Em experimento em casa de vegetação com plantas de milho crescendo em solos afetados pelos rejeitos, a

adubação orgânica foi o fator de maior efeito em favorecer o crescimento das plantas, e o uso do milho crioulo nessas condições igualou ou superou o milho híbrido, sobretudo na produção de raízes. Três intercâmbios agroecológicos com as famílias atingidas foram realizados visando constituir o eixo participativo da presente pesquisa. Nesses eventos, as famílias e a equipe envolvida construíram coletivamente os etnoindicadores, validaram a Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo e dialogaram e trocaram experiências sobre os resultados obtidos nas análises de laboratório, produzindo conhecimento compartilhado sobre o território e os efeitos do rompimento da barragem de rejeitos nos agroecossistemas. As percepções das famílias quanto aos solos afetados pelos rejeitos terem se tornado "finos, poeirentos, sem força e sem vida" convergem com os resultados de laboratório e, em vários casos. A consolidação dos diferentes resultados obtidos permite concluir que houve perda significativa da qualidade dos solos afetados pelos rejeitos e que sua avaliação e a recuperação exigem monitoramento contínuo a partir da integração entre ciência e o conhecimento das famílias atingidas. Essa integração é fundamental para a efetiva reparação ambiental e soberania alimentar, bem como para a reconstrução dos modos de vida no território.

Palavras-chave: etnoindicadores; pesquisa-ação; reparação socioambiental; elementos potencialmente tóxicos; Brumadinho

ABSTRACT

OLIVEIRA, Maria Nascimento, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2026. **Failure, tailings, and resistance: participatory monitoring of soil quality in territories affected by mining in the Paraopeba River Basin.** Adviser: Raphael Braganca Alves Fernandes. Co-advisers: Dener Marcio da Silva Oliveira, Irene Maria Cardoso and Maria Eunice Paula de Souza.

The failure of tailings dam B1 at Vale S.A.'s Córrego do Feijão mine in Brumadinho, Minas Gerais, in 2019 constituted a large-scale socio-environmental disaster-crime, with effects that persist in soils, water, agroecosystems, and the livelihoods of communities in the Paraopeba River basin. Despite numerous studies conducted since the disaster, affected families remain uncertain about the safe use of land and water, the consumption of food produced in affected areas, and when they will be able to restart cultivation in these locations without risk. The knowledge of affected families continues to be marginalized in formal assessment and decision-making processes underway in the environmental and socio-economic reparations framework. In this context, this study aimed to understand the effects of tailings deposition on the physical, chemical, and functional quality of soils on family farms affected in the basin, with a focus on strengthening household autonomy in decisions about managing their agroecosystems. The study adopted an action-research approach, integrating interviews, physical and chemical analyses of soils and plants, a greenhouse experiment, and participatory monitoring tools. Affected families' perceptions led to the identification of 37 ethno-indicators of environmental and social quality that can be used to assess the impacts caused by the deposited tailings. These ethno-indicators were organized into six categories (plants, soil, water, fish, animals, health, income, and social relations) and systematized into a Participatory Environmental Monitoring Notebook (Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo). Laboratory analyses indicated that soils affected by mining tailings exhibited higher silt content, greater particle density, increased microporosity with a consequent reduction in functional macroporosity and lower hydraulic conductivity. These soils were also enriched in eight of the twelve evaluated chemical elements (Ni, Cr, Zn, V, Co, Fe, Mn, and Cd). Among these, Ni, Cr, Zn, and V were identified as the most effective indicators of environmental impact in affected soils, according to the geochemical indices CF (Contamination Factor) and PLI (Pollution Load Index). In a greenhouse experiment with maize grown in tailings-affected soils, organic fertilization promoted the strongest positive effect on plant growth. Under these conditions, the use of landrace maize matched or

outperformed hybrid maize, particularly in root production. Three agroecological exchange events with affected families were conducted to establish the participatory core of this research. In these meetings, families and the research team collectively constructed the ethno-indicators, validated the Participatory Environmental Monitoring Notebook, and discussed and exchanged experiences on the laboratory results, generating shared knowledge about the territory and the effects of the tailings dam failure on agroecosystems. Families' perceptions that soils affected by tailings had become "fine, dusty, lacking strength and life" converged with laboratory findings and, in several cases, extended their interpretive reach. Taken together, the results allow us to conclude that there was a significant loss of quality in soils affected by tailings, and that their assessment and recovery require continuous monitoring based on the integration of scientific data and the knowledge of affected families. This integration is essential for effective environmental reparations and food sovereignty, as well as for the reconstruction of livelihoods in the territory.

Keywords: ethnoindicators; action-research; socio-environmental reparation; potentially toxic elements; Brumadinho

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Região 3 da bacia do rio Paraopeba, MG. Fonte: NACAB	40
Figura 2- Rio Paraopeba e lama de rejeitos depositada com as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale, em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.	53
Figura 3- Solo das áreas de baixadas, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.....	56
Figura 4- Solo trincado esbranquiçado após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.....	57
Figura 5- Área da baixada cercada, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho; e área não afetada com declividade e presença de materiais rochosos na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.....	59
Figura 6- Plantas de feijão e milho “mirrados”, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.	60
Figura 7- Plantas indicadoras (Mamona e Assapeixe) após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.	62
Figura 8- Quintais produtivos após as cheias contaminadas pelo rejeito do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.....	64
Figura 9- Síntese da Caderneta de Monitoramento Ambiental e Social, com as médias média das notas dos indicadores dados pelos atingidos.	68
Figura 10- Teores totais de elementos potencialmente tóxicos no solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, ordenados pelo valor de F. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11). Os X indicam as médias. Fe ¹ : valores semiquantitativos.	97
Figura 11- Composição granulométrica de solos de áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11). Os X indicam as médias. Significância pelo teste F do modelo DBC fixo.	102
Figura 12- Atributos físico-hídricos do solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11); oz X indicam as médias.	103
Figura 13- Resistência mecânica do solo à penetração em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração. (a) Perfil de resistência por profundidade em campo, expressos em termos de área sob a curva de resistência (AUC) por meio de análise de modelo misto (a),	

comparação da resistência média ao longo dos 40 cm de profundidade (b), perfil de resistência à penetração considerando a interação (profundidade × impacto) (c) e curvas de regressão entre profundidade e resistência à penetração (d).	105
Figura 14- Análise integrada dos dados de resistência do solo à penetração em laboratório em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pela enchente da lama de rejeitos da barragem de Brumadinho, na bacia do rio Paraopeba. Resultados apresentados em termos de curvas de resistência médias por profundidade para áreas afetadas (AF) e não afetadas (NF= NA) (a) e comparação dos índices sintéticos (área sob a curva de resistência – AUC e resistência à penetração média) entre grupos (b). Valores de p do teste U de Mann-Whitney indicam ausência de diferenças significativas.....	105
Figura 15- Altura (H), diâmetro do colmo (D), largura (LF) e comprimento da folha (CF) de plantas de milho crioulo e híbrido cultivadas por 30 dias em solo afetado (AF) e não afetado (NA) por rejeito de mineração, na ausência e presença de adubação orgânica (esterco). Valores indicados são médias e barras indicam erro-padrão (n = 5). * e ** indicam superioridade do milho crioulo sobre o híbrido na mesma condição (contraste planejado, ajuste de Holm), a 5% e a 1%, respectivamente.	123
Figura 16- Massa seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST) de plantas de milho crioulo e híbrido cultivadas por 30 dias, em solo afetado (AF) e não afetado (NA) por rejeito de mineração, na ausência e presença de adubação orgânica (esterco). Valores indicados são médias e barras indicam erro-padrão (n = 5). * e ** indicam superioridade do milho crioulo sobre o híbrido na mesma condição (contraste planejado, ajuste de Holm), a 5% e a 1%, respectivamente.	124
Figura 17- Mística de abertura do intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento), com caminhada até o afluente do rio Paraopeba, na Fazenda Ciclos, Esmeraldas, MG; 2024. Imagens: NACAB.	140
Figura 18- Instalação Artístico-Pedagógica representando o rio antes e depois do rompimento; e participante expondo o elemento escolhido. Intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento). Imagens: NACAB/Arquivo pessoal	140
Figura 19- Instalação Artístico-Pedagógica e caminhada na propriedade no intercâmbio “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba-MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/NACAB.	145
Figura 20- Socialização dos grupos (plantas, água, solo) na caminhada pelo agroecossistema em transição, socializadas no círculo de cultura do intercâmbio "Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. Imagens: NACAB	145

Figura 21 – Apresentação da Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo, instrumento elaborado como parte desta pesquisa, na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal.....	147
Figura 22 - Mística de abertura no terceiro intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: PH Reinaux/NACAB	148
Figura 23 - Caminhada na Instalação Artístico-Pedagógica e grupos de diálogo durante o intercâmbio “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: PH Reinaux/NACAB	148
Figura 24 - Socialização dos elementos simbólicos coletados durante a caminhada pela Instalação Artístico-Pedagógica, realizada no intercâmbio “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024.....	149
Figura 25 - Perfil de solo de uma das áreas analisadas na pesquisa, com solo afetado (esquerda) e solo não afetado (direita) por rejeito de mineração na bacia do Rio Paraopeba – MG.	152
Figura 26 - Participantes observando o painel com os dados de química e física do solo, no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: NACAB	153
Figura 27 – Socialização dos resultados de desenvolvimento dos genótipos de milho em solos afetados e não afetados pelo rejeito no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: NACAB.....	154
Figura 28 - Troca de sementes e mudas realizadas nos diferentes intercâmbios agroecológicos realizados na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/ NACAB	155
Figura 29 - Mesa da partilha e encerramento dos intercâmbios agroecológicos como parte da pesquisa "Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba”, na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/ NACAB	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Etnoindicadores socioeconômicos, organizados de acordo com a categoria analítica, identificados com famílias atingidas pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho (Minas Gerais), em 2024.	45
Tabela 2- Etnoindicadores ambientais, organizados de acordo com as categorias analíticas, identificados com as famílias atingidas pelo rejeito oriundo do rompimento da barragem da Vale S.A em Brumadinho (Minas Gerais) em 2024.	45
Tabela 3- Síntese das anotações pelas famílias em cada categoria de monitoramento e uma interpretação integrada dos resultados	70
Tabela 4- Valores médios e resultado da análise de variância (Teste F) e análise estatística dos elementos químicos de rotina do solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba, 2024.	94
Tabela 5- Valores médios e resultado de análise estatística dos teores totais de elementos potencialmente tóxicos no solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba, ordenados pelo valor de F (capacidade discriminante), 2024.	96
Tabela 6- Fator de Contaminação (CF) dos solos afetados (AF) por rejeitos de mineração na bacia do rio Paraopeba, calculado com base no valor de referência (média dos solos não afetados, NA).	100
Tabela 7- Análise química de rotina dos solos utilizados no experimento de cultivo de milho em solos afetados (AF) e não afetados (NA) pelo rejeito de mineração na ausência e presença (AFAO e NAAO) de adubação orgânica, 2024.	119
Tabela 8- Crescimento e desenvolvimento de plantas de milho híbrido e crioulo cultivadas por 30 dias em solo afetado (AF) e não afetado (NA) pelo rejeito de mineração, sem e com adubação orgânica; 2024.	122
Tabela 9- Intercâmbios agroecológicos realizados como parte da pesquisa de "Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba", na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024	135
Tabela 10- Percurso metodológico comum aos intercâmbios agroecológicos como parte da pesquisa de "Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba", na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024.	137

Tabela 11- Síntese do círculo de cultura do intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. _____ 141

Tabela 13- Observações e interpretações dos grupos (plantas, água, solo) na caminhada pelo agroecossistema em transição, socializadas no círculo de cultura do intercâmbio “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2025. 146

Tabela 14- Síntese dos etnoindicadores percebidos pelas famílias no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. _ 150

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	20
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 1	36
ETNOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DAS MUDANÇAS SOCIOAMBIENTAIS EM TERRITÓRIOS ATINGIDOS POR MINERAÇÃO.....	36
INTRODUÇÃO	37
MATERIAL E MÉTODOS	39
Local de estudo	39
Desenvolvimento da pesquisa	40
Análise de conteúdo e identificação dos etnoindicadores	42
Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo	43
Utilização de ferramentas de IA	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
Etnoindicadores	44
Etnoindicadores socioeconômicos: modos de vida, rupturas e continuidades	46
Etnoindicadores Socioambientais: instrumentos de leitura do ambiente	48
O rio como eixo de vida e território	48
A água como etnoindicador de vida, risco e dependência.....	51
Peixes e segurança alimentar: ruptura ecológica e cultural	54
Solo–rejeito: leitura camponesa da degradação.....	55
Vegetação natural e culturas agrícolas	60
Quintais: etnoindicadores da perda biocultural	63
Animais domésticos e silvestres como etnoindicadores da desestruturação socioecológica ...	65
Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo	67
Qualidade do solo:	69
Qualidade das águas:	71
Qualidade das plantas:	72
Qualidade dos peixes:	73
Qualidade dos animais.....	74
Saúde, Renda e Convivência:	74
A caderneta como instrumento de monitoramento e produção de conhecimento	75

CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	77

CAPÍTULO 2.....	87
MARCAS DO REJEITO NA TERRA: ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO SOLO APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO	87
INTRODUÇÃO.....	88
MATERIAL E MÉTODOS.....	89
Local de estudo e amostragem	89
Amostragem do solo.....	89
Análises químicas do solo	90
Análises físicas do solo	92
Análises estatísticas	92
Utilização de ferramentas de IA	93
RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
Caracterização química dos solos.....	93
Elementos potencialmente tóxicos	95
Índices geoquímicos de contaminação dos solos afetados	99
Qualidade física do solo	101
Granulometria do solo	101
Estrutura do solo.....	102
Resistência do solo à penetração em campo e em laboratório	104
CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS	108

CAPÍTULO 3.....	116
DESEMPENHO DE MILHO CRIOULO E HÍBRIDO EM SOLOS IMPACTADOS POR REJEITO DE MINERAÇÃO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA.....	116
INTRODUÇÃO.....	117
MATERIAL E MÉTODOS.....	118
Solo utilizado no experimento.....	118
Experimento	119
Análises estatísticas	120

Utilização de ferramentas de IA	120
RESULTADOS E DISCUSSÃO	121
Crescimento e produção de biomassa do milho	121
CONCLUSÕES	127
REFERÊNCIAS	128

CAPÍTULO 4..... 132

PESQUISA PARTICIPATIVA EM TERRITÓRIOS ATINGIDOS: INTERCÂMBIOS AGROECOLÓGICOS COMO METODOLOGIA CIENTÍFICA 132

INTRODUÇÃO.....	133
METODOLOGIA.....	135
A pesquisa e os três intercâmbios agroecológicos	135
Estrutura metodológica dos intercâmbios.....	136
Participantes	138
Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo	138
Registros e análise de conteúdo.....	138
Utilização de ferramentas de IA	139
RESULTADOS	139
Sinais da Terra	139
Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo	143
Como está a terra que você pisa?.....	147
Troca de sementes e mudas e a mesa da partilha	154
Encerramento.....	156
Síntese dos etnoindicadores.....	157
DISCUSSÃO.....	158
CONCLUSÕES	160
REFERÊNCIAS	160

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 163

APÊNDICES 166

APÊNDICE A – Carta convite enviada para as famílias participarem da pesquisa.....	166
APÊNDICE B– Questionário aplicado às famílias agricultoras	168
APÊNDICE C- Caderneta de Monitoramento Ambiental Coletiva (Participativa)	169

Figura C2- Introdução e identificação das famílias.....	170
Figura C3- Instrução para o preenchimento da caderneta	171
Figuras C4- Páginas de registro das observações das Plantas.	172
Figuras C5- Páginas de registro das observações dos Solos	173
Figuras C6- Páginas de registro das observações das Águas	174
Figuras C7- Páginas de registro das observações dos Peixes.....	175
Figuras C8- Páginas de registro das observações dos Animais domésticos e silvestres	176
Figuras C9- Páginas de registro das observações de qualidade da saúde, convivência e renda	177
Figuras C10- Páginas para anotações ou desenhos que as pessoas atingidas achassem pertinente registrar e compartilhar.....	178
APÊNDICE D- PROPOSTA- CADERNETA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARTICIPATIVO GUARDIÕES DA NATUREZA E DO SAGRADO	179
APÊNDICE E- Química dos solos afetados (AF) e não afetados (NA) pela lama contaminada com rejeito de mineração.....	180
APÊNDICE F- Teores de metais pesados nos solos afetados (AF) e não afetados (NA) pela lama contaminada com rejeito de mineração	181
APÊNDICE G- Médias do desenvolvimento morfológico e produção de massa seca do milho crioulo em solos afetados (AFMC) e não afetados (NAMC) e com esterco (AO) e do milho híbrido em solo afetado (AFMH) e não afetados (NAMH) e com esterco (AO).....	184

INTRODUÇÃO GERAL

A expansão da mineração no Brasil é marcada por um modelo de exploração intensiva dos bens naturais, orientada prioritariamente para a geração de lucros e, por isto, produzido um conjunto de conflitos socioambientais, que reforça as desigualdades, marginaliza populações tradicionais (GUDYNAS, 2015; FONTOURA et al., 2019; LOPES et al., 2022) e reconfigura profundamente os territórios, as consequências extrapolam as áreas diretamente exploradas, altera relações ecológicas, políticas, sociais (ESPÍNDOLA et al., 2018) e afeta diretamente as comunidades que dependem dos bens naturais para garantir sua sobrevivência e seus modos de vida (WANDERLEY et al., 2016).

Em 2023, foram registradas 786 localidades em conflito com a mineração no Brasil, envolvendo ao menos 2.810.230 pessoas. Esse quantitativo representa um aumento de 308,1% em relação ao ano de 2022. O estado de Minas Gerais concentra aproximadamente 32% das localidades e 52% das pessoas afetadas, evidenciando a centralidade do estado no cenário nacional dos conflitos minerários. Ao longo de quatro anos de monitoramento, o município de Brumadinho destaca-se como aquele com maior número de registros, contabilizando 22 áreas e 28 ocorrências de conflitos, majoritariamente associadas ao desastre-crime do rompimento da barragem da Vale S.A., ocorrido em janeiro de 2019 (OBSERVATÓRIO DOS CONFLITOS DA MINERAÇÃO NO BRASIL, 2023).

Desastres-crimes como o rompimento das barragens da SAMARCO e Vale S.A em Mariana (2015) e Brumadinho (2019) são exemplos dos impactos provocados por atividades minerárias de grande escala e dos limites das políticas de controle ambiental frente às ações de grandes empresas. O rompimento de barragem revela falhas das empresas e do Estado que, possui legislação específica, mas, muitas vezes não fiscaliza e não regula efetivamente as barragens, que externaliza riscos socioambientais e viola direitos humanos (FREITAS; SILVA, 2019). A própria atuação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o IBAMA, reforça a gravidade da situação, visto que a autarquia multou a Vale S.A em R\$ 250 milhões pelo desastre em Brumadinho, reconhecendo responsabilidade institucional e ambiental da empresa (IBAMA, 2019).

O rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho foi um dos mais graves já registrados no Brasil, com mais de 12 milhões de metros cúbicos de rejeito liberados. Ao todo, o desastre matou 273 pessoas, e duas pessoas ainda continuam desaparecidas; além disso, a bacia do rio Paraopeba recebeu aproximadamente 2 milhões de metros cúbicos de rejeitos. O rejeito chegou à Usina Hidrelétrica (UHE) de Retiro Baixo entre os municípios de Curvelo e

Pompeu, impactou 26 municípios e destruiu mais de 200 hectares de áreas de proteção permanente (PEREIRA et al., 2019; MINAS GERAIS, 2024). O desastre-crime agrava desigualdades sociais e institucionais. A suspensão do uso da água para abastecimento humano em diversas comunidades, a mortalidade da ictiofauna, a perda de áreas agricultáveis, a contaminação dos solos e a desestruturação das atividades produtivas tradicionais geram rupturas profundas na economia e na saúde coletiva dos territórios atingidos (NACAB, 2022; CARVALHO et al., 2022; COMITÊ PRÓ-BRUMADINHO, 2024a).

Dada a dimensão dos danos, o Tribunal de Justiça de Minas Gerais impôs bloqueios judiciais bilionários à empresa Vale S.A. (AGÊNCIA BRASIL, 2019; AGU, 2020) e foram criadas as Assessorias Técnicas Independentes (ATIs) como instrumento de garantia da participação informada das pessoas atingidas no processo de reparação. Para organizar a atuação das ATIs ao longo do território atingido, a bacia do rio Paraopeba e o Lago de Três Marias foram divididos em cinco regiões, com entidades diferentes contratadas pelas Instituições de Justiça (MPMG, MPF, DPMG etc.), para assessorar cada uma delas (MPF, 2025). A Região 1 compreende o município de Brumadinho; a Região 2 abrange Betim, Igarapé, Juatuba, Mário Campos, Mateus Leme e São Joaquim de Bicas; a Região 3 é composta por Pará de Minas, Fortuna de Minas, Esmeraldas, Florestal, Pequi, São José da Varginha, Caetanópolis, Paraopeba, Papagaios e Maravilhas e as Regiões 4 e 5 abrangem os municípios mais a jusante, até o Lago de Três Marias (GUAICUY, 2024).

No processo de implementação das ATIs, o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens (NACAB) foi escolhido pelas pessoas atingidas para atuar na Região 3 da bacia do rio Paraopeba, reafirmando o princípio da participação direta no processo de reparação e o acesso à informação e à justiça para as populações.

No entanto, apesar da previsão legal, diversas decisões sobre a reparação foram tomadas sem a participação efetiva das comunidades atingidas, como o próprio Acordo Judicial de Reparação, negociado em sigilo e firmado em fevereiro de 2021 entre a Vale S.A, Instituições de Justiça e o Governo do Estado de Minas, no valor de R\$ 37, 68 bilhões, segundo a Ação Civil Pública nº 5010709-36.2019.8.13.0024 (MINAS GERAIS; VALE; INSTITUIÇÕES DE JUSTIÇA, 2021; CNJ, 2021). Além disso, o Plano de Recuperação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba e da Represa de Três Marias (PRSABP), denominado Anexo II.1 do Acordo Judicial de Reparação, foi elaborado pela consultoria Arcadis, contratada pela Vale S.A., com auditoria da Aecom do Brasil Ltda. e acompanhamento do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (SISEMA). Trata-se de uma obrigação de reparação integral, sem limite financeiro previamente estabelecido, cuja elaboração ocorreu sem a

participação efetiva das comunidades atingidas (COMITÊ PRÓ-BRUMADINHO, 2024a). Embora uma versão atualizada do plano tenha sido divulgada em 2024, sua implementação permanece pendente de homologação, retardando a recuperação socioambiental (COMITÊ PRÓ-BRUMADINHO, 2024a; 2024b).

A morosidade na implementação do PRSABP e a limitada participação social têm sido criticadas pelas comunidades atingidas e pelas Assessorias Técnicas Independentes, que apontam a necessidade de maior transparência, controle social e celeridade na execução das ações, destacando que esses atrasos prolongam os danos socioambientais e à saúde (AEDAS, 2025; MILANEZ et al., 2019).

Nesse contexto, as pessoas atingidas passaram a questionar a legitimidade de atribuir à própria empresa responsável pelo rompimento da barragem a execução das ações de reparação socioambiental. Essa contradição evidencia as tensões inerentes ao modelo de governança da reparação e é reforçada pelas críticas ao Acordo de Reparação, marcado pela morosidade, assimetria de informações e exclusão das populações atingidas dos processos decisórios (DOTTA, 2021; MENDONÇA, 2021). A ausência de mecanismos efetivos de participação e controle social, aliada às estratégias das empresas de mineração para desarticular redes da sociedade civil, estimular negociações individualizadas e construir narrativas que minimizam sua responsabilidade, contribui para fragilizar a participação dos atingidos e comprometer a legitimidade do processo reparatório (DE MELO; DE OLIVEIRA GUIMARÃES; CORTESE, 2024).

Estudos revelam que os atingidos enfrentam grandes dificuldades no reconhecimento de seus direitos e no acesso à justiça. Por exemplo, em 75% dos recursos julgados em segunda instância pelo Tribunal de Justiça de Minas Gerais (TJMG), as decisões foram favoráveis à Vale S.A., mesmo quando havia sentenças favoráveis às vítimas na primeira instância (NACAB, 2023). Essas dificuldades são ainda maiores para as pessoas que estão fora da Zona de Autossalvamento (ZAS), definida como o trecho do vale a jusante da barragem onde não há tempo suficiente para a intervenção do poder público em emergências, conforme estabelecido no mapa de inundação (BRASIL, 2020). Nessas áreas, a exclusão dos processos formais de reconhecimento e reparação aprofunda a desigualdade no acesso a direitos e à justiça, em contradição direta com os princípios da Lei nº 14.755, de 2023, que institui a Política Nacional de Direitos das Populações Atingidas por Barragens (PNAB) e reconhece o direito das populações expostas a riscos de barragens de serem integralmente reparadas (BRASIL, 2023). Isso reforça o que alguns autores indicam como o poder de influência da empresa sobre os órgãos de controle e fiscalização e demonstra fragilidades no modelo brasileiro de prevenção

de desastres (LIMA, 2025; ASSI, 2021; SILVA, TOSSI & VIGELLA, 2021), comprometendo seriamente a efetividade e a urgência de estratégias que poderiam atender de fato às necessidades das comunidades atingidas.

Para o Comitê Pró-Brumadinho (2024a), a reparação deve reconhecer que “os danos são múltiplos, interdependentes e atravessam a totalidade da vida nos territórios”, incluindo perdas culturais, econômicas e ambientais. Entretanto, a garantia dos direitos e a participação das populações atingidas só aconteceu dois anos após o rompimento, com a criação da Política Estadual dos Atingidos por Barragens (PEAB – Lei nº 23.795/2021) e, no plano nacional, da Política Nacional dos Atingidos por Barragens (PNAB – Lei nº 14.755/2023), após quatro anos do rompimento. Essas normas estabelecem que a reparação deve ser integral, com a participação das comunidades atingidas, reconhecidas como "sujeitos de direitos". A PNAB assegura às pessoas atingidas o direito ao acesso às Assessorias Técnicas Independentes (ATIs) continuada, instrumento importante para garantir a participação informada, qualificada e autônoma nos processos de reparação, além de estabelecer que medidas de proteção e auxílio devem ser mantidas até a reparação total, nos territórios.

Para compreender “quem são” os sujeitos atingidos no contexto deste estudo, adotou-se como recorte as comunidades rurais localizadas na bacia do rio Paraopeba, atingidas pelo rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho. Este trabalho compreende o conceito de “atingido” como resultado de disputas sociais e políticas proposto por Vainer (2008), e a partir das definições e discussões do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), que incluem sujeitos impactados direta e indiretamente por grandes empreendimentos. Também precede do autorreconhecimento por parte dos sujeitos. A consciência coletiva em relação à alteração involuntária de suas relações socioespaciais, assim como a construção e compreensão de direitos coletivos, são instrumentos para a luta organizada. Inclusive os marcos institucionais, como a PEAB (Lei nº 23.795/2021) e a PNAB (Lei nº 14.755/2023), que estabelecem diretrizes para identificação e garantia de direitos, reforçam essa perspectiva.

Esse recorte permite demonstrar formas de atingimento que se manifestam de maneira contínua e territorializada, especialmente relacionadas à contaminação ambiental, às mudanças nos agroecossistemas e à ruptura dos modos de vida, revelando uma dinâmica que reproduz padrões históricos de invisibilização e negação de direitos às populações atingidas, onde os conflitos institucionais persistem e a disputa por narrativas e responsabilidades molda a leitura pública da tragédia (DOTTA, 2021; FONTOURA et al., 2019).

Impactos ambientais na bacia do rio Paraopeba

O rompimento da barragem em Brumadinho alterou profundamente o sistema fluvial e a dinâmica ecológica da bacia do rio Paraopeba, comprometeu a qualidade das águas, dos sedimentos e dos solos, gerando impactos que se prolongam por anos. De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 2008, e a Resolução CONAMA nº 357/2005 em Minas Gerais, o rio Paraopeba foi classificado como um rio Classe 2, e suas águas deveriam ser destinadas ao consumo humano e à irrigação após tratamento adequado. Entretanto, os impactos do rompimento, dentre outras consequências, aumentaram a turbidez das águas. Dados da CPRM (2019) mostraram que, em 26 de janeiro de 2019, a turbidez atingiu até 2.000 NTU. Esse valor em termos de unidade de medida de turbidez revela que a água se encontra muito opaca, com elevada concentração de partículas em suspensão. Dias depois, os valores alcançaram picos superiores a 20.000 NTU durante os eventos de chuvas intensas de fevereiro. Entre fevereiro e abril, os valores de turbidez permaneceram entre 3.000 e 10.000 NTU, indicando a persistência de lama em suspensão segue para além do momento inicial, o que intensifica consequências futuras e a vulnerabilidade socioambiental já existente.

Monitoramentos realizados por organizações públicas e privadas, bem como em alguns estudos científicos revelaram elevação abrupta de turbidez, redução de oxigênio dissolvido e concentrações de elementos potencialmente tóxicos (Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, In, La, Mn, P, Pb, Y e Zn) acima dos limites estabelecidos de normalidade, nos compartimentos águas, sedimentos e organismos aquáticos, indicando bioacumulação e risco ecotoxicológico (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019; IGAM, 2024; THOMPSON et al., 2020; TERAMOTO et al., 2021; VERGÍLIO et al., 2020). Assim como observado em outras situações semelhantes de ruptura de barragens de mineração, a liberação de elementos traços na água e sedimentos pode causar contaminação, com implicações de longo prazo sobre a saúde humana e ambiental (SILVA et al., 2018).

Todas essas alterações no meio decorrentes do rompimento comprometem em especial a vida aquática. A mortandade de peixes e a inviabilização do abastecimento público de água agravam os problemas sociais e econômicos das comunidades agricultoras (CARVALHO et al., 2022). Em condições de laboratório, foram verificados danos sérios e bioacumulação de metais (Fe > Al > Mn) nos tecidos musculares de peixes que foram colocados em contato com sedimentos do rio Paraopeba, resultando em 20% de mortalidade (VERGÍLIO et al., 2020). Dados como esse revelam a potencial transferência trófica e o risco ao consumo humano de peixes contaminados.

A bacia do rio Paraopeba foi organizada em três zonas com diferentes níveis de contaminação: anômala, transição e natural. Na estação chuvosa, a contaminação ocupa a zona natural, devido à maior vazão, enquanto na estação seca ela permanece até a zona anômala, com queda gradual a jusante (PACHECO et al., 2022). A remobilização dos contaminantes no fundo dos cursos d'água ocorre porque os sedimentos podem atuar como reservatório de elementos tóxicos com alto potencial de liberação para a coluna d'água. Entretanto, enquanto a ressuspensão desse material depositado no fundo eleva os teores totais na época das cheias, a forma mais disponível à biota aparece mais intensamente na seca, favorecendo processos geoquímicos e biogeoquímicos, como dessorção, redução de óxidos de Fe e Mn, variações de pH e atividade microbiana (ARAÚJO et al., 2021; TERAMOTO et al., 2021).

Mapeamentos hidrogeoquímicos recentes reforçam a continuidade dos impactos do rompimento. Concentrações elevadas de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn foram identificadas nos sedimentos e nas águas das bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, muitas vezes excedendo limites recomendados por legislações brasileiras e internacionais (VICQ et al., 2025).

As consequências geomorfológicas do rompimento e deslocamento da lama de rejeitos também foram significativas. Carvalho, Magalhães Júnior & Barros (2021) descrevem intenso soterramento de fundo de vales devido à maior retenção de rejeitos à jusante, além do assoreamento nas áreas de confluência e ao longo dos vales até o reservatório de Retiro Baixo. O rio assoreado fica mais propenso às enchentes, que passaram a ocorrer com mais frequência e que têm sido agravadas por eventos climáticos extremos que também intensificam danos e riscos. As intensas chuvas ocorridas em janeiro de 2022 provocaram o transbordamento do rio Paraopeba e inundaram cerca de 13.453 ha, afetando diretamente 1.977 pessoas e 507 edificações, além de submergir 537 pontos de captação de água (poços, cisternas e nascentes), muitos localizados a mais de 3 km do rio (NACAB, 2022). Essa enchente ultrapassou as barreiras do leito menor e espalhou sedimentos contaminados por extensas áreas rurais, atingindo casas, áreas de plantios e criações, com moradores relatando sintomas como lesões na pele, febre e mal-estar após o contato com a água e com a lama, conforme registros do NACAB (2022) e Projeto Manuelzão (2022). Esses levantamentos revelam impactos diretos à saúde pública.

Ao extrapolar a calha do rio, os sedimentos atingiram os quintais rurais, que são espaços biodiversos, manejados, especialmente pelas mulheres, e fundamentais para a segurança e soberania alimentar das famílias. Nos quintais são cultivados alimentos e plantas medicinais, bem como são criados pequenos animais e onde se preservam saberes locais (ALTIERI, 2009; FRANCIS et al, 2003; GLIESSMAN, 2021). A deposição de rejeitos decorrente do rompimento

da barragem e da enchente de 2022 interrompeu o uso seguro dessas áreas, afetando os solos, os modos de vida e a reprodução cultural das famílias agricultoras.

Pesquisa-ação e pesquisa contextualizada

O conhecimento técnico-científico não deve ser construído de forma dissociada da sociedade, especialmente diante da complexidade dos desastres provocados pelo rompimento de barragens. O conhecimento científico, quando orientado pela racionalidade, mostra-se insuficiente para apreender a totalidade das transformações vivenciadas pelas populações atingidas (LARANJEIRA et al., 2019).

Esse modo de produção do conhecimento limita a complexidade dos danos socioambientais e contribui para a invisibilização das interações ecológicas e territoriais implicadas nos desastres (LEFF, 2001). Como resultado, processos sociais e ambientais interdependentes, como os envolvidos na produção dos desastres, são frequentemente reduzidos a abordagens parciais, tecnicistas e descontextualizadas (ACSELRAD, 2004). A pesquisa-ação pressupõe que o conhecimento científico seja produzido em diálogo constante com as comunidades, para fortalecer a coprodução de saberes e a autonomia das populações frente aos danos ambientais (TRIPP, 2005; DE FREITAS SILVA, OLIVEIRA & ATAÍDES, 2021).

Integrar as vozes, observações e saberes das pessoas atingidas é fundamental para a construção de processos, diante da complexidade dos desastres, sem o silenciamento dos sujeitos que vivenciam cotidianamente seus impactos. Nesse sentido, estudar os agroecossistemas na bacia do rio Paraopeba numa perspectiva social e agroecológica, implica reconhecer que os impactos do rompimento da barragem extrapolam a dimensão ambiental, sendo também profundamente territoriais. Esses impactos envolvem relações de pertencimento, práticas produtivas, espiritualidade, saúde, alimentação e formas de sociabilidade, demonstrando a interdependência entre natureza e modos de vida (CASAS, 2024).

Esta tese dá continuidade a um percurso de construção coletiva iniciado na Região 3 em 2023, quando, em oficina realizada no evento Feira da Reparação, foram apresentados os resultados do projeto de pesquisa “*Osum e Nanã vilipendiadas por Ogum*” (CASAS, 2024). Este projeto teve como objetivo identificar etnoindicadores para o monitoramento participativo de agroecossistemas atingidos por rejeitos de uma outra barragem, a de Fundão, em Mariana, MG. A partir desse espaço de diálogo realizado com agricultores familiares e povos de terreiro, foram sistematizadas quatro categorias de etnoindicadores (abióticos, espécies vegetais espontâneas, saúde e espirituais/simbólicos) que foram reconhecidos como instrumentos

legítimos para a leitura dos danos ambientais e para a justiça na reparação (GUIMARÃES et al., 2026).

A partir desses diálogos surge a proposição do presente estudo na bacia do rio Paraopeba, em parceria com o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens (NACAB). Dentro dessa nova abordagem, o objetivo central foi identificar os etnoindicadores de monitoramento ambiental em territórios atingidos na referida bacia e avaliar elementos potencialmente tóxicos em solos, águas e plantas. Como envolvia entrevistas com as famílias atingidas, a pesquisa foi previamente aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Viçosa (Parecer 6.214.481/2023).

A pesquisa foi desenvolvida a partir dos princípios da pesquisa-ação contextualizada, entendida como um processo investigativo situado no território e construído em diálogo com as famílias atingidas. Essa abordagem reconhece os sujeitos da pesquisa como coprodutores do conhecimento, ao articular saberes locais e técnico-científicos, buscando subsidiar reflexões críticas e decisões mais seguras sobre o uso e o cuidado dos agroecossistemas (LARANJEIRA et al., 2019).

Organização da tese

Além desta introdução geral e das considerações finais, a tese está estruturada em quatro capítulos. O primeiro capítulo teve como objetivo identificar os etnoindicadores de mudança ambiental utilizados pelos(as) agricultores(as) atingidos(as) pelo rejeito do rompimento da barragem de mineração a serem utilizados na avaliação e monitoramento da qualidade ambiental dos agroecossistemas. O segundo capítulo objetivou avaliar o impacto de rejeitos da mineração na qualidade ambiental das áreas afetadas em campo, por meio de análises físicas, químicas e de elementos potencialmente tóxicos no solo. O terceiro capítulo objetivou avaliar o desenvolvimento e a produção de biomassa de dois tipos de milho em solo afetado e não afetado pelo rejeito do rompimento da barragem de mineração. O quarto capítulo objetivou analisar a contribuição dos intercâmbios agroecológicos, como método desta pesquisa, para a construção do conhecimento agroecológico, o monitoramento ambiental participativo e o diálogo dos resultados da pesquisa com as famílias atingidas. A pesquisa foi realizada utilizando os princípios da pesquisa-ação com as famílias atingidas pelos rejeitos da barragem B1 da Vale S.A em Brumadinho.

Utilização de ferramentas de IA

Durante a redação deste texto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial (IA): ChatGPT (versão 4.0), OpenAI e Claude (versão 4.8 Opus). Com objetivo para revisar a redação e fluidez do texto. Após o uso, o conteúdo gerado foi criticamente revisado buscando evitar imprecisões e alucinações algorítmicas ou interpretações distorcidas.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. O conhecimento ambiental: entre a ciência e o senso comum. Estudos Avançados, São Paulo, v. 18, n. 51, p. 157-170, 2004.
- ADVOCACIA-GERAL DA UNIÃO (AGU). AGU, MP e Defensoria pedem bloqueio de R\$ 26 bilhões da Vale pelo rompimento das barragens em Brumadinho. Serviços e Informações do Brasil. Brasília, 27 ago. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agu/pt-br/comunicacao/noticias/agu-mp-e-defensoria-pedem-bloqueio-de-r-26-bilhoes-da-vale-pelo-rompimento-das-barragens-em-brumadinho>. Acesso em: 4 out. 2025.
- AGÊNCIA BRASIL. Dois meses após tragédia em Brumadinho, Vale tem R\$ 13,65 bilhões bloqueados. Agência Brasil. Brasília, 25 mar. 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-03/dois-meses-apos-tragedia-em-brumadinho-vale-tem-r1365-bi-bloqueados>. Acesso em: 4 out. 2025.
- ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 2. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2009.
- ARAÚJO, J. I. M.; OLIVEIRA, K. L. de; CHRISTOFARO, C.; GOMES, L. N. L.; OLIVEIRA, S. C. Análise de ferro e manganês nas águas superficiais e nos sedimentos após o rompimento de uma barragem de rejeitos de minério de ferro. In: XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), 2021. Código XXIV-SBRH0498. ISSN 2318-0358, 2021.
- ASSESSORIA TÉCNICA INDEPENDENTE AEDAS. Morosidade na reparação socioambiental e os danos à saúde. 31 mar. 2025. Disponível em: <https://aedasmg.org/2025/03/31/morosidade-na-reparacao-socioambiental-e-os-danos-a-saude/>. Acesso em: 20 jul. 2026.
- ASSI, M. Gestão de riscos com controles internos. Saint Paul Editora, 2021.
- BRASIL DE FATO. Brumadinho: Vale tenta boicotar assessorias técnicas dos atingidos pelo rompimento. Brasil de Fato, 20 jan. 2020. Disponível em:

- <https://www.brasildefato.com.br/2020/01/20/brumadinho-vale-tenta-boicotar-assessorias-tecnicas-dos-atingidos-pelo-rompimento/>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- BRASIL. Lei nº 14.066, de 8 de outubro de 2020. Dispõe sobre a segurança de barragens e altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Diário Oficial da União, Brasília, 9 out. 2020.
- BRASIL. Lei nº 14.755, de 15 de dezembro de 2023. Institui a Política Nacional de Direitos das Populações Atingidas por Barragens (PNAB). Diário Oficial da União, Brasília, 18 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14755.htm. Acesso em: 22 abr. 2026.
- CALIXTO, J. S. De palmo em palmo a terra muda de jeito: diálogos sobre qualidade do solo. 2015. 158 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- CALIXTO, J. S.; PEREIRA, R. G. T; CARDOSO, I. M. Estratificação de ambientes com base em etnoindicadores. Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 1, 2020.
- CARVALHO, M. M; BRAZ, S. N; DA SILVA, L. H. V; RODRIGUES, P. P; GALVÃO, P. H. G; DE SOUZA, C. F. C; LONGO, R. M. Brumadinho-MG após o rompimento da barragem: uma discussão à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Humanidades & Inovação, v. 9, n. 13, p. 365-375, 2022.
- CARVALHO, R. P. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. Implicações hidrogeomorfológicas do rompimento da barragem de rejeito da Mina do Córrego do Feijão – MG. Caderno de Geografia, v. 31, n. 65, p. 518–545, 2021. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2021v31n65p518.
- CASAS, N. A. C. “Resistir e construir história”: etnoindicadores e indicadores de avaliação dos impactos do rompimento da barragem do Fundão em agroecossistemas na bacia do rio Doce. Tese (Doutorado em Solos). Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2024.
- CNJ - CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). Tribunal homologa acordo de indenização do desastre de Brumadinho (MG). Brasília, fev. 2021. Disponível em: <https://www.cnj.jus.br/tribunal-homologa-acordo-de-indenizacao-do-desastre-de-brumadinho-mg/>. Acesso em: 4 out. 2025.
- COMITÊ PRO BRUMADINHO. Atualização do PRSABP. 2024b.
- COMITÊ PRO BRUMADINHO. Documento sobre reparação socioambiental. 2024a.
- COMITÊ PRÓ-BRUMADINHO. Reparação Brumadinho: Compensação socioambiental dos danos já conhecidos – Anexo II.2. Belo Horizonte: Governo de Minas Gerais, [2026]. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/reparacao-brumadinho->

- compensacao-socioambiental-dos-danos-ja-conhecidos-anexo-ii2. Acesso em: 20 jul. 2026.
- COMITÊ PRÓ-BRUMADINHO. Reparação Brumadinho: Recuperação Socioambiental – Anexo II.1. Belo Horizonte: Governo de Minas Gerais, [2026]. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/pagina/reparacao-brumadinho-recuperacao-socioambiental-anexo-ii1>. Acesso em: 20 jul. 2026.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.
- CPRM/SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Boletim de monitoramento compartilhado do rio Paraopeba (jan.–mar. 2019). Brasília: SGB, 2019. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sace/boletins/Paraopeba/20190313_16-20190313%20-%20165859.pdf. Acesso em: 27 set. 2025.
- DE FREITAS SILVA, A. A.; OLIVEIRA, G. S.; ATAÍDES, F. B. Pesquisa-ação: princípios e fundamentos. *Revista Prisma*, 2(1), p. 2-15, 2021.
- DE MELO, T., DE OLIVEIRA GUIMARÃES, L. AND CORTESE, T. Disaster governance and the role of civil society: a study of the mining disaster in Brumadinho, Brazil. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104945>.
- DOTTA, R. Atingidos recorreram ao STF para questionar acordo entre Vale e Governo de Minas. *Brasil de Fato MG*, Belo Horizonte, 4 fev. 2021. Disponível em: <https://www.brasildefatomg.com.br/2021/02/04/atingidos-recorrerao-ao-stf-para-questionar-acordo-entre-vale-e-governo-de-minas>. Acesso em: 10 jan. 2025.
- ESPÍNDOLA, H. S.; FERREIRA, N. M.; MIFARREG, I. E. G. Território da mineração: uma contribuição teórica. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 62, n. 2, p. 67-93, 2018.
- FONTOURA, Y.; NAVES, F.; TEODOSIO, A. D. S. D. S.; GOMES, M. “Da lama ao caos”: Reflexões sobre a crise ambiental e as relações Estado-Empresa-Sociedade. *Farol*, v. 6, n. 15, p. 17-41, 2019.
- FRANCIS, C.; LIEBLEIN, G.; GLIESSMAN, S.; BRELAND, T. A.; CREAMER, N.; HARWOOD, R.; et al. Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of sustainable agriculture*, v. 22, n. 3, p. 99-118, 2003. DOI: https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10.

- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 17, n. 1, p. 21-29, 2019.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Expedição pelo Rio Paraopeba: relatório de análise da qualidade da água após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho (MG). São Paulo, 2019. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/02/SOSMA_Expedicao-Paraopeba_Relatorio.pdf. Acesso em: 26 fev. 2025.
- GLIESSMAN, S. R. *Package price agroecology: The ecology of sustainable food systems*. CRC press, 2021.
- GUAICUY – Instituto Guaicuy. O que é a ATI Paraopeba? Instituto Guaicuy, 2024. Disponível em: <https://guaicuy.org.br/ati/ati-paraopeba/ati-paraopeba/o-que-e-a-ati-paraopeba/>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- GUDYNAS, E. *Extractivismos: Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la Naturaleza*. Cochabamba: CEDIB/CLAES, 2015.
- GUIMARÃES, C. S. de F; OLIVEIRA, M. N; CARDOSO, I. M; SOUZA, M. E. P. de; FONTES, M. A. Etnoindicadores ambientais e justiça na reparação: conhecimentos das comunidades atingidas na Região 3 da Bacia do Paraopeba. *Cadernos de Agroecologia*, v. 21, n. 1, 2026. *Anais do 13º Congresso Brasileiro de Agroecologia*, Juazeiro/BA. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/12002>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ibama multa Vale em R\$ 250 milhões por catástrofe em Brumadinho (MG). Disponível em: https://www.gov.br/ibama/ptbr/assuntos/noticias/copy_of_noticias/noticias2019/ibama-multa-vale-em-r-250-milhoes-porcatastrofe-em-brumadinho-mg. Acesso em: 4 out. 2025.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Caderno especial: acompanhamento da qualidade da água no rio Paraopeba. Belo Horizonte: IGAM, 2024. Disponível em: <https://igam.mg.gov.br/w/igam-publica-caderno-sobre-monitoramento-da-qualidade-da-água-no-paraopeba>. Acesso em: 27 set. 2025.
- LARANJEIRA, N. P. F.; CARCELLE, S. J. A.; DE MIRANDA, D.; DE ABREU SÁ, T. D. TRENTO, L. G.; DE SOUZA, T. S.; CARDOSO, I. M. Para uma ecologia de saberes: trajetória da construção do conhecimento agroecológico na ABA. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, n. 2, p. 15-15, 2019.

- LEFF, E. Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.
- LIMA, L. V. C. Caso Braskem: responsabilidade estatal à luz do direito internacional das catástrofes. 2025. Trabalho acadêmico (Direito) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br>. Acesso em: 17 abr. 2026.
- LOPES, P.; RODOVALHO, E. da C.; HAJJ, T. M. E. Setor Minerário Brasileiro e seu Impacto Ambiental: Uma Revisão de Opções Berço-a-Berço Aplicada a Resíduos, Estéreis e Rejeitos. HOLOS, Ano 38, v. 6, e9413, 2022.
- MENDONÇA, H. Vale assina acordo para pagar 37,68 bilhões de reais de reparação por tragédia em Brumadinho. EL PAÍS Brasil, 4 fev. 2021. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2021-02-04/vale-assina-acordo-para-pagar-3768-bilhoes-d-e-reais-de-reparacao-por-tragedia-de-brumadinho.html>. Acesso em: 28 set. 2025.
- MILANEZ, B.; MAGNO, L.; SANTOS, R. S. P.; COELHO, T. P.; GIFFONI PINTO, R.; WANDERLEY, L. J. M.; MANSUR, M. S.; GONÇALVES, R. J. A. F. Minas não há mais: avaliação dos aspectos econômicos e institucionais do desastre da Vale na bacia do rio Paraopeba. Versos – Textos para Discussão PoEMAS, v. 3, n. 1, p. 1-114, 2019. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/poemas/files/2017/04/Milanez-2019-Minas-não-há-mais-versos.pdf>.
- MINAS GERAIS - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). Deliberação Normativa nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa nº 116/2008, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos solos. Belo Horizonte: COPAM, 2011.
- MINAS GERAIS. Lei nº 23.795, de 2021. Dispõe sobre a Política Estadual dos Atingidos por Barragens (PEAB). 2021.
- MINAS GERAIS. Reparação Brumadinho: monitoramento da qualidade da água para consumo humano. Belo Horizonte: Governo de Minas, 2024. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pro-brumadinho/página/reparacao-brumadinho-monitoramento-da-qualidade-da-água-para-consumo-humano>. Acesso em: 27 set. 2025.
- MINAS GERAIS. Tribunal de Justiça de Minas Gerais. Ação Civil Pública nº 5010709-36.2019.8.13.0024. Autor: Ministério Público do Estado de Minas Gerais e outros. Réu: Vale S.A. Belo Horizonte: TJMG, 2019. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/tj-mg/1391923528/inteiro-teor-1391923531>. Acesso em: 4 out. 2025.

- MINAS GERAIS. Tribunal de Justiça de Minas Gerais. Termo de Acordo de Reparação Integral: Ação Civil Pública nº 5010709-36.2019.8.13.0024. Compromitentes: Estado de Minas Gerais e outros. Compromissária: Vale S.A. Belo Horizonte: TJMG, 4 fev. 2021. Disponível em: www.mg.gov.br. Acesso em: 4 out. 2025.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. IGAM atualiza informe sobre a qualidade da água do rio Paraopeba (nota). Belo Horizonte: NACAB, 22 set. 2023. Disponível em: <https://nacab.org.br/igam-atualiza-informe-sobre-a-qualidade-da-agua-do-rio-paraopeba/>. Acesso em: 27 set. 2025.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. Resumo executivo: principais resultados do trabalho de campo para avaliação dos danos causados pelas cheias do rio Paraopeba em janeiro de 2022 na região 3. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2022/04/Resumo-executivo-principais-Resultados-cheias-2022-VF.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. ATI Paraopeba. NACAB, 2023. Disponível em: <https://nacab.org.br/ati-paraopeba/>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens; ATI AEDAS - Assessoria Técnica Independente Aedas; Instituto Guaicuy. Produto K – Qual Plano de Reparação Socioambiental queremos? Belo Horizonte, 2022. Disponível em: Documentos do Anexo II – NACAB. Acesso em: 20 jul. 2026.
- OBSERVATÓRIO DOS CONFLITOS DA MINERAÇÃO NO BRASIL. Conflitos da mineração no Brasil 2023: relatório anual. Brasil: Comitê Nacional em Defesa dos Territórios Frente à Mineração, dez. 2024. Disponível em: <https://emdefesadosterritorios.org/lancamento-relatorio-de-conflitos-da-mineracao-no-brasil-2023/>. Acesso em: 27 set. 2025.
- PACHECO, F. A. L.; DO VALLE JUNIOR, R. F.; SILVA, M. M. A. P. de M.; PISSARRA, T. C. T.; MELO, M. C.; VALERA, C. A.; FERNANDES, L. F. S. Prognosis of metal concentrations in sediments and water of Paraopeba River following the collapse of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 809, p. 151157, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151157.
- PEREIRA, L. F.; DE BARROS CRUZ, G.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 122-129, 2019.

- PROJETO MANUELZÃO (UFMG). Estudo aponta presença de metais pesados no rio Paraopeba. Belo Horizonte: Projeto Manuelzão, 24 mar. 2022. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br/estudo-aponta-presenca-de-metais-pesados-no-rio-paraopeba/>. Acesso em: 28 set. 2025.
- SILVA, A. L. R.; TOSSI, E. D.; VIGELLA, G. Um estudo sobre a efetividade das ações judiciais no controle de crimes ambientais: caso Brumadinho. Trabalho acadêmico. Centro Paula Souza, 2021. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/41066>. Acesso em: 17 abr. 2026.
- SILVA, D. de C.; BELLATO, C. R.; NETO, J. de O. M.; FONTES, M. P. F. Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). *Química Nova*, v. 41, n. 8, p. 857-866, 2018.
- TERAMOTO, E. H.; GEMEINER, H.; ZANATTA, M. B. T.; MENEGÁRIO, A. A.; CHANG, H. K. Metal speciation of the Paraopeba river after the Brumadinho dam failure. *Science of the Total Environment*, v. 757, p. 143917, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143917.
- THOMPSON, F.; OLIVEIRA, B. C. de; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P. a; PAZ, P.; FREITAS, T.; LOPES, G.; SILVA, B. S.; CABRAL, A. S.; SOARES, M.; LACERDA, D.; VERGILIO, C. dos S. et al. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of The Total Environment*, v. 705, p. 135914, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.
- TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, v. 31, p. 443-466, 2005.
- VAINER, C. C. Bernardo. Conceito de “atingido”: uma revisão do debate. In: *Vidas Alagadas – conflitos socioambientais, licenciamento e barragens*, v. 1, p. 39-63, 2008.
- VERGILIO, C. D. S., LACERDA, D., OLIVEIRA, B. C. V. D., SARTORI, E., CAMPOS, G. M., PEREIRA, A. L. D. S., et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 5936, 2020.
- VICQ, R., LEITE, MG, LEÃO, LP, NALINI JÚNIOR, HA, DA CUNHA E SILVA, DC, FONSECA, R., & VALENTE, T Hydrogeochemistry of surface waters in the Iron Quadrangle, Brazil: High-resolution mapping of potentially toxic elements in the Velhas and Paraopeba river basins. *Water*, v. 17, n. 16, p. 2446, 2025.

WANDERLEY, L. J., MANSUR, M. S., MILANEZ, B., & PINTO, R. G. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socioambientais. *Ciência & Cultura*, v. 68, n. 3, p. 30-35, 2016.

CAPÍTULO 1

**ETNOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DAS
MUDANÇAS SOCIOAMBIENTAIS EM TERRITÓRIOS ATINGIDOS POR
MINERAÇÃO**

Resumo: Seis anos após o rompimento da barragem de rejeitos da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, a reparação socioambiental na bacia do rio Paraopeba permanece inconclusa. As famílias atingidas enfrentam a interdição de suas propriedades pela Vale S.A. e a insegurança quanto à qualidade dos alimentos produzidos, inclusive em áreas não cercadas, mas impactadas por inundações posteriores. A abordagem predominante, centrada na análise de metais pesados por estudos acadêmicos, tem se mostrado insuficiente para apreender a complexidade dos impactos socioambientais em curso. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo identificar os etnoindicadores de mudanças ambientais utilizados por agricultores atingidos para o monitoramento dos agroecossistemas impactados. Especificamente, buscou-se identificar e analisar: (i) elementos diagnósticos das mudanças nos modos de vida; (ii) etnoindicadores de mudança ambiental, com ênfase nos etnopedológicos; e (iii) as observações das populações atingidas sobre mudanças ocorridas ou potenciais nos agroecossistemas. Foram realizadas entrevistas semiestruturadas, caminhadas transversais e monitoramento participativo em propriedades localizadas nos municípios de Pará de Minas, Florestal e Esmeraldas. As análises permitiram identificar 37 etnoindicadores de mudanças ambientais e socioeconômicas, com destaque para o solo e para a diversidade de peixes. Os resultados mostram o papel central do conhecimento tradicional, transmitido intergeracional, na identificação e no monitoramento de transformações socioambientais em territórios atingidos, destacando sua relevância para processos de reparação que considerem, além dos aspectos ecológicos, o valor simbólico, cultural e produtivo dos agroecossistemas.

Palavras-chave: Etnopedologia; Etnociências; Rio Paraopeba; Saber popular.

INTRODUÇÃO

O rompimento das barragens da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, provocou profundas transformações nos agroecossistemas e nos modos de vida ao longo da bacia do rio Paraopeba. Imediatamente após o rompimento, as autoridades estaduais recomendaram a suspensão do uso das águas do rio no trecho entre Brumadinho e Pompéu, diante da contaminação por rejeitos de mineração (POLIGNANO & LEMOS, 2020; MINAS GERAIS, 2019). Como desdobramento dessas recomendações, extensas áreas de propriedades rurais localizadas às margens do rio foram cercadas pela empresa responsável, restringindo o acesso das populações atingidas ao curso d'água e aos territórios ribeirinhos.

Essa interdição aprofundou os impactos já desencadeados pelo rompimento da barragem, afetando não apenas a produção agrícola, mas também as dinâmicas sociais, econômicas, culturais e simbólicas historicamente associadas ao rio. A perda do acesso à água, à pesca, às áreas de lazer, às práticas religiosas e aos espaços de convivência foi reiteradamente mencionada nos relatos das famílias atingidas. Estudos científicos têm demonstrado, percebidos no cotidiano por meio de etnoindicadores relacionados à ruptura dos modos de vida, à insegurança hídrica e alimentar e à desestruturação das relações comunitárias.

Apesar da magnitude e da complexidade desses danos, as populações atingidas não participaram de forma efetiva da formulação do Acordo Judicial de Reparação firmado em 4 de fevereiro de 2021. O acordo foi construído de maneira centralizada entre a empresa responsável e órgãos do Estado de Minas Gerais, sem garantir a participação direta das comunidades atingidas, de seus representantes legítimos e das assessorias técnicas independentes, conforme amplamente denunciado por instituições acadêmicas e organizações da sociedade civil (STF, 2021; Projeto Manuelzão/UFMG, 2022, G1 MINAS, 2024). A exclusão dos atingidos dos processos decisórios compromete não apenas a legitimidade dos instrumentos de reparação, mas também a efetividade das ações de monitoramento e enfrentamento dos danos socioambientais.

Estudos mostram que as pessoas atingidas pelo rompimento da barragem da Vale S.A em Brumadinho foram, de forma sistemática, afastadas tanto das pesquisas realizadas em seus territórios quanto das decisões sobre a reparação dos danos. Ramos et al. (2023) identificaram falhas nas estratégias do governo para garantir a participação das comunidades, o que comprometeu diretamente seus direitos à água e ao saneamento. Melo e Guimarães (2023) apontam que a empresa utilizou estratégias de burocratização e prolongamento dos processos para adiar a reparação, gerando sofrimento e resignação entre os atingidos. Castro et al. (2023) mostram que essa exclusão afeta de forma ainda mais intensa as populações em situação de

maior vulnerabilidade social, enquanto Arruda Junior (2023) destaca que as vozes das comunidades têm pouco peso frente aos interesses econômicos nos espaços institucionais de decisão. Esse conjunto de fatores não apenas enfraquece os processos de reparação, mas aprofunda as desigualdades já existentes nas comunidades atingidas (MELO; GUIMARÃES, 2022).

Além disso, muitos estudos científicos sobre os impactos ambientais do rompimento da barragem da VALE S.A desconsideram a perspectiva, a experiência e os saberes das pessoas diretamente atingidas. Ao negligenciar o conhecimento construído no cotidiano das comunidades, essas abordagens tendem a produzir diagnósticos fragmentados e a subsidiar soluções tecnicamente orientadas, porém pouco adequadas às realidades locais e frequentemente insustentáveis no longo prazo (CALIXTO; PEREIRA; CARDOSO, 2020).

O saber local, transmitido oralmente ao longo de gerações, sustenta a capacidade adaptativa das comunidades frente às mudanças ambientais e constitui uma importante fonte de interpretação das transformações nos ecossistemas (LADIO, 2017). Abordagens multidisciplinares, como as propostas pela etnociência, possibilitam uma compreensão mais ampla e contextualizada dos problemas socioambientais, favorecendo processos de tomada de decisão mais justos e participativos.

A etnociência dedica-se ao estudo dos conhecimentos tradicionais e de suas relações com a natureza, reconhecendo a realidade local como base para a produção do conhecimento e para a construção de soluções contextualizadas (ALTIERI, 1993; STRACHULSKI, 2017; DE ANDRADE COSTA, 2008). No âmbito dessa abordagem, a etnopedologia destaca-se por analisar as relações estabelecidas pelas comunidades com os solos, integrando observações, práticas de manejo e saberes locais ao conhecimento técnico-científico (CALIXTO, 2015; ARAÚJO et al., 2013).

Essa abordagem amplia a compreensão crítica dos participantes sobre as situações vivenciadas, contribui para a expressão de significados e sentimentos associados às mudanças socioambientais e reforça o protagonismo dos sujeitos na produção do conhecimento (TRIPP, 2005; TOLEDO). A pesquisa-ação foi adotada para promover o diálogo horizontal com agricultores atingidos, valorizar seus conhecimentos e construir etnoindicadores capazes de subsidiar o monitoramento participativo dos impactos decorrentes do rompimento da barragem (CAPORAL; COSTABEBER; PAULUS, 2006).

Nesta pesquisa, os etnoindicadores são compreendidos como sistemas locais de interpretação ambiental, construídos a partir da experiência cotidiana e da relação histórica com o território, permitindo identificar e interpretar transformações nos agroecossistemas. Essa

abordagem dialoga com Casas (2024), que evidencia o papel dos etnoindicadores na avaliação de impactos ambientais, e com Calixto (2015), ao reconhecer o solo e seus atributos como elementos centrais na construção do conhecimento local sobre a qualidade ambiental.

Diante desse contexto, este capítulo teve como objetivo identificar, sistematizar e avaliar etnoindicadores de mudanças ambientais decorrentes do rompimento da barragem da Vale, em Brumadinho. Especificamente, buscou-se construir uma caderneta de monitoramento participativo a partir dos etnoindicadores identificados junto a agricultores de sete comunidades localizadas em três municípios da bacia do rio Paraopeba, afetados pelo rompimento da barragem Córrego do Feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, localizada na região central do estado de Minas Gerais e integrante da bacia do rio São Francisco. Com área de aproximadamente 12.054 km², o rio Paraopeba nasce no município de Cristiano Ottoni e deságua na represa de Três Marias, em Felixlândia, atravessando 48 municípios (CPRM, 2015; CBHSF, 2020).

A pesquisa concentrou-se na região do Médio Paraopeba na Região 3 (Figura 1). O estudo contemplou sete comunidades rurais situadas em municípios do trecho médio da bacia do rio Paraopeba, como Florestal, Pará de Minas e Esmeraldas, localizadas a aproximadamente 100 km do local do rompimento da barragem em Brumadinho. Essas comunidades se inserem em uma região onde o Paraopeba desempenha papel estratégico no abastecimento humano, na produção agrícola e na dessedentação animal, em um contexto de vulnerabilidades sociais heterogêneas ao longo da bacia (FREIRE, PACHECO & QUEIROZ, 2021; ROQUE et al., 2023).

A base econômica das comunidades situadas na Região 3 é marcada pela diversidade de atividades produtivas desenvolvidas no âmbito da agricultura familiar e do extrativismo, voltadas à subsistência, à soberania alimentar e à geração de renda. Destacam-se a produção agrícola em pequenas áreas e quintais produtivos, a criação de animais de pequeno e médio porte, o beneficiamento de alimentos, a coleta e comercialização de iscas vivas (minhocuças, sambarás e minhokinhas) e o beneficiamento da polpa do pequi, com expressiva participação das mulheres nesses processos produtivos (NACAB, 2021).

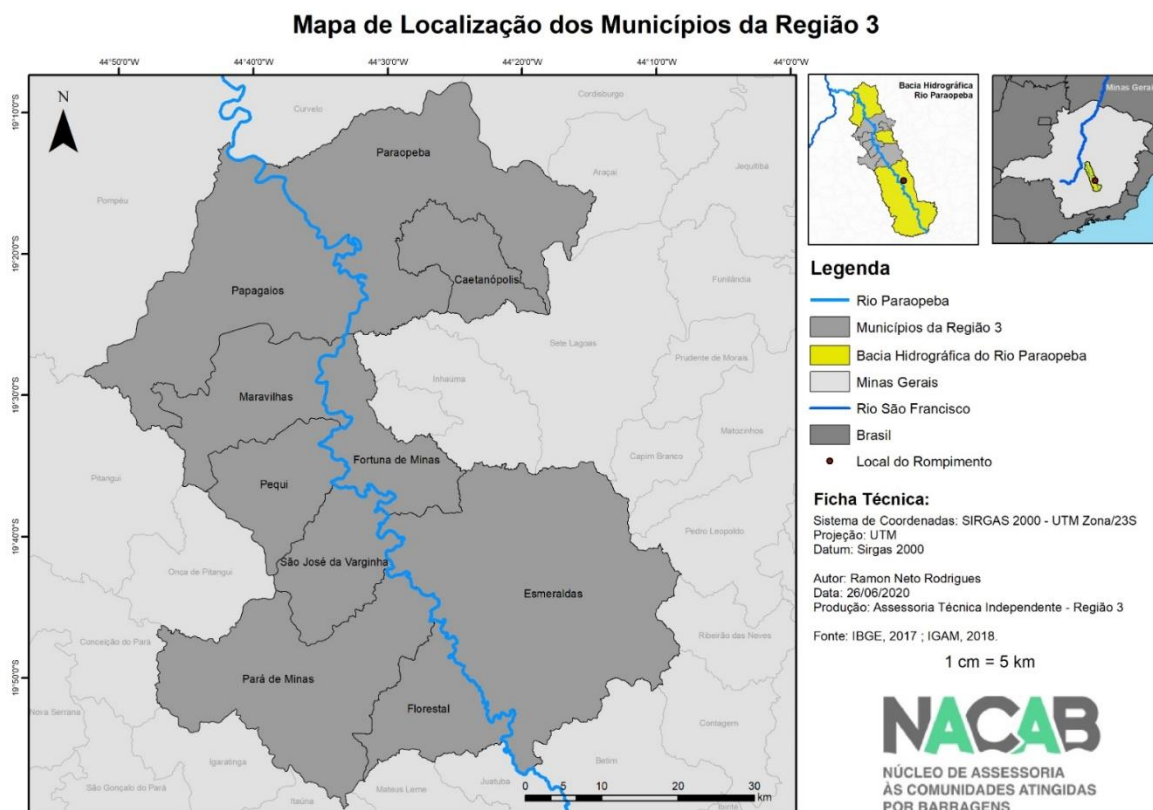


Figura 1- Região 3 da bacia do rio Paraopeba, MG. Fonte: NACAB

Antes do rompimento das barragens, a pesca artesanal também exercia papel relevante na alimentação, no lazer e na dinâmica econômica local, sendo interrompida em função da contaminação do rio Paraopeba (NACAB, 2022a; 2022b; 2022c). Essa dependência do rio e a informalidade inerente a muitas dessas ocupações tornaram essas comunidades extremamente vulneráveis aos impactos do rompimento da barragem, que comprometeu severamente suas fontes de sustento.

Desenvolvimento da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa, fundamentada na pesquisa-ação (THIOLLENT, 2011) em parceria com o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens (NACAB), entidade que atua desde 2019 na região por meio da Assessoria Técnica Independente (ATI). A atuação continuada do NACAB possibilitou o acúmulo de conhecimento aprofundado sobre o território e o estabelecimento de uma relação de confiança com as famílias atingidas, o que foi fundamental para viabilizar o acesso às comunidades, normalmente dificultado pelas condições de vulnerabilização social, ambiental e institucional enfrentadas no território.

Participaram treze famílias agricultoras, distribuídas em doze propriedades, nos mesmos municípios, duas famílias habitam casas separadas e compartilham a mesma área, o que explica as treze famílias em doze propriedades. Os critérios de seleção foram: i) ter áreas agrícolas ou modos de vida atingidos pelo rompimento da barragem, seja pela contaminação do solo decorrente da remobilização do rejeito nas cheias, seja pela perda do uso do rio e das atividades a ele associadas; ii) enquadrar-se como agricultor(a) familiar; e iii) demonstrar interesse em participar da pesquisa.

O contato inicial com as famílias foi realizado pelo NACAB, onde foi entregue cada família uma carta-convite (Apêndice A). Posteriormente, cada família recebeu duas visitas de campo: a primeira teve como objetivo apresentar a pesquisa, a pesquisadora e reforçar o convite para participação; a segunda destinou-se à realização das entrevistas. Todas as visitas foram previamente agendadas e conduzidas em duplas ou trios de entrevistadores.

As entrevistas foram semiestruturadas, utilizando-se um roteiro organizado em sete eixos temáticos: i) trajetória de vida; ii) impactos da lama; iii) avaliação do solo e do ambiente; iv) observação da qualidade da água; v) significado do rio; vi) importância do quintal e do solo; e vii) perspectivas de futuro (Apêndice B). As entrevistas tiveram duração média de 2,5 horas por família e foram encerradas quando as falas passaram a apresentar recorrência, indicando a saturação das informações relevantes.

Ao final de cada entrevista realizou-se uma caminhada transversal na propriedade da família, possibilitando a observação direta do ambiente. Durante essas caminhadas, informações previamente mencionadas nas entrevistas foram confirmadas e novos dados foram identificados. As conversas foram gravadas e registros fotográficos foram realizados, sempre mediante autorização das famílias. As observações e anotações de campo foram sistematizadas em um diário de campo.

De maneira geral, os participantes demonstraram interesse em compreender as transformações ocorridas em seus territórios, destacando os impactos do rompimento da barragem sobre seus modos de vida e ressaltando a importância do manejo adequado do solo para os processos de reparação socioambiental.

A pesquisa foi conduzida em conformidade com os princípios éticos aplicáveis a estudos envolvendo seres humanos, tendo sido aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), sob o Parecer nº 6.214.481/2023.

Análise de conteúdo e identificação dos etnoindicadores

As entrevistas foram analisadas com o objetivo de identificar padrões, tendências e recorrências nas falas dos participantes, permitindo a definição dos etnoindicadores. A análise seguiu os pressupostos da análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2011), organizando-se em três etapas: pré-análise; exploração do material; e tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Na etapa de pré-análise, todas as entrevistas foram integralmente transcritas e submetidas a uma leitura flutuante, visando à familiarização com o material. Nessa fase, foram identificados conteúdos considerados relevantes para a identificação dos etnoindicadores. A seleção baseou-se nos critérios de homogeneidade, relevância, repetição e exclusividade (Bardin, 2011). A homogeneidade assegurou que os trechos agrupados em um mesmo etnoindicador tratassem de um tema comum; a relevância orientou a escolha de informações alinhadas aos objetivos da pesquisa; a repetição permitiu identificar observações recorrentes entre diferentes entrevistados; e a exclusividade evitou sobreposição entre os etnoindicadores.

Na etapa de exploração do material, os trechos selecionados foram organizados em duas categorias analíticas previamente definidas: socioambiental e socioeconômica. A categoria socioambiental foi desdobrada nas subcategorias rio, água, solo e/ou rejeito, plantas e culturas, peixes e animais, possibilitando uma análise mais detalhada das diferentes dimensões dos impactos ambientais percebidos pelas comunidades. Em cada categoria e subcategoria, os etnoindicadores foram identificados a partir da coerência temática, da recorrência e da relevância das falas.

Na fase de tratamento dos resultados, procedeu-se à interpretação dos dados e à realização de inferências com apoio da literatura. Esse processo ultrapassou o significado literal das falas, buscando compreender os sentidos subjacentes às experiências vivenciadas pelas famílias atingidas, de acordo com Bardin (2011). A interpretação dialogou com o conceito de “saber de experiência feito”, conforme proposto por Paulo Freire.

Após as análises, foi realizado um intercâmbio agroecológico para socialização das informações preliminares (ZANELLI et al., 2015), ocorrido em 13 de abril de 2024, no espaço comunitário Fazenda Ciclos, na comunidade Vista Alegre, município de Esmeraldas. Participaram do intercâmbio 45 pessoas, sendo 28 homens, 15 mulheres e 3 crianças; desse total, 21 eram atingidos e 21 técnicos do NACAB e três acadêmicos da UFV. Nesse encontro, os etnoindicadores identificados foram apresentados e discutidos, enfatizando-se a importância do monitoramento ambiental participativo ao longo do tempo. A proposta foi acolhida pelas famílias atingidas.

Para preservar o anonimato, os nomes dos atingidos foram substituídos por siglas formadas pelas iniciais, idade e seguidas da indicação de gênero, p. ex. (MO, 36 anos, F).

Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo (Apêndice C) foi elaborada a partir da sistematização dos etnoindicadores definidos com base nas entrevistas, observações de campo e o primeiro intercâmbio, fundamentado na pesquisa-ação (THIOLLENT, 2011). A caderneta constituiu-se como uma estratégia metodológica de monitoramento participativo, inserida no contexto da pesquisa-ação, permitindo registrar e acompanhar as transformações ambientais observadas nas áreas atingidas ao longo do tempo.

A observação das famílias acerca da qualidade ambiental e social do território resultou em aproximadamente 37 etnoindicadores, organizados em seis categorias: Qualidade das Plantas; Qualidade da Terra; Qualidade das Águas; Qualidade dos Peixes; Qualidade dos Animais (domésticos e silvestres); e Qualidade da Saúde, Renda e Convivência. A categoria referente à qualidade dos peixes foi tratada de forma específica, em função de sua centralidade nos modos de vida e de sua relação direta com o rio atingido pelo rejeito. Os aspectos socioeconômicos foram organizados em três subcategorias: saúde, renda e convivência.

Cada etnoindicador foi apresentado na forma de pergunta, à qual as famílias atribuíram notas de 0 a 10 (0 = condição ruim; 5 = condição intermediária; 10 = condição boa). A caderneta também continha espaços livres para anotações qualitativas. As famílias foram orientadas a realizar as avaliações a cada três meses.

A caderneta constituiu uma adaptação da metodologia de avaliação agroecológica de agroecossistemas, conforme proposta por Altieri e Nicholls (2002). Cada caderneta possuía 12 páginas, incluindo capa, apresentação, instruções, categorias avaliativas e espaço para registros livres e desenhos. As cadernetas foram entregues impressas, acompanhadas de material de escrita.

Os registros foram realizados por 10 famílias, em três períodos distintos: novembro/2024 a janeiro/2025; fevereiro a abril/2025; e maio a julho/2025. Ao final de cada período, as cadernetas foram recolhidas e substituídas por novas unidades para continuidade do monitoramento. As informações registradas foram posteriormente organizadas em planilhas eletrônicas (Excel®) e gráficos radar foram elaborados para visualização dos resultados por categoria analisada.

Utilização de ferramentas de IA

Durante a redação deste texto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial (IA): ChatGPT (versão 4.0), OpenAI e Claude (versão 4.8 Opus). O objetivo do uso da IA foi para revisar a redação e aprimorar a coesão e fluidez do texto. Após o uso das ferramentas indicadas, o conteúdo gerado foi criticamente revisado buscando evitar imprecisões e alucinações algorítmicas ou interpretações distorcidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Etnoindicadores

Os relatos sobre os impactos multidimensionais do rompimento da barragem demonstram como a violação de direitos coletivos e difusos ultrapassa a escala local e afeta toda a sociedade. Esses impactos deixaram sinais das transformações socioeconômicas e socioambientais ocorridas no território, percebidos cotidianamente pelas famílias atingidas. Esses sinais, observados, sentidos e interpretados no dia a dia, constituem os etnoindicadores, utilizados pelas comunidades para avaliar e monitorar as mudanças desencadeadas após a chegada dos rejeitos de mineração.

Os etnoindicadores identificados resultam das experiências locais, da observação cotidiana e dos aprendizados transmitidos entre gerações, funcionando como ferramentas de leitura da realidade social e ambiental em permanente transformação. Quando acompanhados ao longo do tempo, tornam-se instrumentos relevantes de monitoramento das dinâmicas territoriais e dos impactos do desastre.

Para fins analíticos, os etnoindicadores foram organizados em dois blocos: etnoindicadores socioeconômicos (Tabela 1) e etnoindicadores socioambientais (Tabela 2). Essa separação é exclusivamente metodológica, uma vez que, na experiência vivida pelas comunidades atingidas, essas dimensões se apresentam de forma profundamente interdependente.

Tabela 1- Etnoindicadores socioeconômicos, organizados de acordo com a categoria analítica, identificados com famílias atingidas pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho (Minas Gerais), em 2024.

Categorias analíticas	Etnoindicadores
Sociais	Relações sociais, lazer, memória, impactos físicos e psicológicos (saúde)
Econômicos	Perda de renda, interrupção de atividades produtivas, turismo

Tabela 2- Etnoindicadores ambientais, organizados de acordo com as categorias analíticas, identificados com as famílias atingidas pelo rejeito oriundo do rompimento da barragem da Vale S.A em Brumadinho (Minas Gerais) em 2024.

Categorias analíticas	Etnoindicadores
Rio e ribeirões	Acesso ao rio Profundidade
Água	Cor e turbidez da água Uso da água (cor, cheiro e sabor) Acesso a água Vida Abundância da água
Peixes	Sensibilidade ao rejeito Diversidade Qualidade
Solo - rejeito	Cor, brilho e oleosidade Textura Consistência Infiltração Fertilidade Cobertura do solo Qualidade do solo das baixadas Plantas indicadoras
Vegetação natural e culturas agrícolas	Perda de mata ciliar e árvores frutíferas Vegetação espontâneas Desenvolvimento, qualidade e aparência das plantas Produtividade
Quintais	Aparência Diversidade Terapia Beleza
Animais domésticos e silvestres	População (aparecimento ou desaparecimento) Mortes

Etnoindicadores socioeconômicos: modos de vida, rupturas e continuidades

O rompimento da barragem resultou na interrupção imediata do uso do rio Paraopeba por comunidades e municípios ao longo de toda a região. Os danos imateriais associados a essa interrupção, como a perda da sociabilidade vinculada a atividades culturais, recreativas, produtivas e de subsistência, afetaram profundamente os projetos de vida individuais e coletivos, configurando um processo de ruptura dos modos de vida historicamente construídos.

Os etnoindicadores socioeconômicos identificados (Tabela 1) mostram como as transformações impostas pelo desastre incidiram simultaneamente sobre as relações sociais, as práticas de lazer, a memória coletiva, a saúde física e psicológica, bem como sobre a renda e as atividades produtivas das famílias. Esses etnoindicadores não se manifestam de forma isolada nas narrativas, mas emergem de maneira integrada, expressando a interdependência entre dimensões sociais e econômicas no cotidiano das comunidades atingidas.

Para as comunidades locais, o Paraopeba ultrapassa a condição de recurso natural, constituindo elemento central de identidade, memória coletiva e sociabilidade. Essa centralidade pode ser observada em narrativas que articulam simultaneamente lazer, trabalho, convivência comunitária e pertencimento territorial:

“O rio era a nossa vida! O povo da cidade vai à praia; para a gente, a praia era o Rio Paraopeba. Hoje não tem mais.” (J., 43 anos)

“Os encontros familiares eram na beira do rio... hoje isso foi perdido.” (AM, 45 anos)

Essas falas expressam etnoindicadores relacionados à ruptura das relações sociais, à perda do lazer e à erosão da memória coletiva, evidenciando como a interrupção do convívio com o rio produziu uma sensação profunda de perda e desconexão territorial. Como argumentam Escobar (2005), a relação entre cultura e natureza é constitutiva dos modos de vida de populações ribeirinhas, de modo que a degradação do ambiente implica, simultaneamente, a desestruturação de práticas sociais e simbólicas.

A memória coletiva desempenha papel fundamental na manutenção dessas relações e na transmissão intergeracional de conhecimentos associados ao território (TOLEDO; BARRERA-BASSOLS, 2015). A perda do acesso ao rio compromete esse processo ao impedir que as novas gerações aprendam práticas como a pesca, a navegação e os usos simbólicos e produtivos do Paraopeba, como demonstram os relatos:

“Pesco desde os meus oito anos... hoje meus netos sonham em pescar, mas está proibido.”
(AM, 50 anos)

“Hoje não se vê mais passarinhos na beira do rio cantando, está sem graça, triste, o rio morreu. A gente sofre com a natureza, está tudo triste”. (J, 45 anos, F)

Nesse contexto, a interrupção das atividades tradicionais, especialmente da pesca, produziu impactos econômicos diretos, associados à perda de renda, à paralisação de atividades produtivas e ao declínio do turismo local. A pesca, além de fonte de subsistência, organizava relações de sociabilidade e fluxos econômicos no território:

“A pesca sempre foi parte da minha vida... hoje está tudo parado. Tive muito prejuízo.” (V, 68 anos)

Essas perdas reforçam frustrações associadas a projetos de vida interrompidos e à perda de autonomia econômica, já identificadas em estudos anteriores (NACAB, 2021). A redução do turismo e do convívio social também contribuiu para o esvaziamento de espaços comunitários e para a fragilização dos vínculos locais.

Os impactos físicos e psicológicos aparecem de forma recorrente nas narrativas, configurando importantes etnoindicadores sociais relacionados à saúde. Dores de cabeça, estresse, tristeza, ansiedade e indignação diante da ausência de reparação e transparência são frequentemente mencionados, articulando sofrimento individual e coletivo:

“Muito estresse... a falta de indenização, a falta de justiça.” (IFS, 55 anos)

A literatura aponta que os impactos psicossociais são profundos em comunidades atingidas por desastres, manifestando-se como sofrimento social, adoecimento coletivo e fragilização dos vínculos comunitários (ZHOURI et al., 2016; ZHOURI, 2018). Em Brumadinho, estudos indicam que 45,1% dos atingidos relataram piora na saúde após o rompimento da barragem e 17,2% passaram a utilizar psicofármacos, especialmente antidepressivos (LOYOLA FILHO et al., 2022).

A preocupação com riscos à saúde das pessoas expostas a sedimentos potencialmente contaminados revela contradições nas políticas públicas e nos processos de reparação, uma vez que estudos demonstram a presença de metais pesados nos sedimentos do rio Paraopeba

(DUARTE; NEVES; DE OLIVEIRA, 2023; NACAB, 2022). Situações semelhantes foram identificadas em outros contextos de desastre, como na bacia do rio Doce, onde o rejeito da mineração alterou profundamente práticas cotidianas, hábitos alimentares, formas de lazer e a saúde física e psíquica das comunidades atingidas (CASAS, 2024).

Os etnoindicadores sistematizados a partir das entrevistas demonstram que a perda do rio desencadeou um processo de adoecimento social, marcado pela ruptura dos modos de vida, pela fragilização dos vínculos comunitários e pelo comprometimento da qualidade de vida. Apesar desse cenário, a resistência e a organização popular permanecem ativas nos territórios, com iniciativas voltadas à reconstrução de associações locais e ao fortalecimento da vida comunitária. Nesse processo, a memória biocultural constitui elemento central para orientar práticas que garantam continuidade e resiliência diante das transformações ambientais impostas (BARRERA-BASSOLS, 2008).

Etnoindicadores Socioambientais: instrumentos de leitura do ambiente

Os etnoindicadores ambientais identificados junto às famílias atingidas pelo rejeito do rompimento da barragem da Vale S.A., sistematizados na Tabela 2. Os etnoindicadores mobilizados pelas pessoas atingidas não operam de forma isolada, mas constituem um sistema integrado de leitura do território, no qual diferentes elementos, como água, solo, plantas e animais são interpretados de forma relacional.

Essa perspectiva está alinhada com Casas (2024), que demonstra o caráter integrador dos etnoindicadores na compreensão de impactos socioambientais, e com Calixto (2015), ao evidenciar que a leitura da qualidade do solo pelas comunidades envolve dimensões físicas, produtivas e simbólicas.

Nesse sentido, os etnoindicadores funcionam como marcadores cognitivos e culturais, construídos a partir da observação sensível e da experiência prática acumulada ao longo de gerações. Conforme destacam Toledo e Barrera-Bassols (2015), o conhecimento local não se limita à identificação de fenômenos isolados, mas se baseia na leitura de sinais que indicam mudanças nos processos ecológicos, produtivos e sociais. O que está em jogo, portanto, não é apenas a constatação do dano ambiental, mas a rupturas nos modos de vida, na autonomia produtiva e na reprodução sociocultural das comunidades atingidas.

O rio como eixo de vida e território

Os etnoindicadores associados ao rio Paraopeba e aos ribeirões (afluentes) na Tabela 2, ocupam posição central, uma vez que esses corpos d'água estruturavam a vida cotidiana das

comunidades, antes do rompimento. Os relatos mostram que o rio não era percebido apenas como recurso hídrico, mas como eixo organizador da vida social, produtiva e simbólica. Garantia água para o gado, irrigação das lavouras, pesca, deslocamento de animais, encontros familiares, lazer e contemplação da paisagem. Quando um atingido afirma que “*desde a época do meu pai, o rio sempre foi tudo para a família*” (VB, 60 anos, M), explicita-se a centralidade intergeracional desse vínculo.

Uma atingida sintetiza essa dimensão ao afirmar: “*O rio era a nossa vida! O povo da cidade vai à praia; para a gente, a praia era o Rio Paraopeba. Hoje não tem mais, acabou*” (J., 43 anos, F). Em outra narrativa, a perda do convívio aparece associada à desestruturação familiar: “*Os encontros familiares eram na beira do rio (...), hoje isso não tem mais, isso foi perdido*” (AM, 45 anos, F). As falas demonstram que o rio funcionava como espaço de sociabilidade, lazer e reprodução simbólica da vida comunitária.

Nesse sentido, a expressão recorrente “*o rio era nossa vida*” deve ser interpretada para além do campo metafórico. Ela indica que o rio funcionava como infraestrutura socioecológica do território: sustentava práticas econômicas, rotinas domésticas, formas de sociabilidade e memórias compartilhadas. Raffestin (1993), afirma que o território não se resume ao espaço físico, mas corresponde ao espaço apropriado socialmente por relações de poder, uso e pertencimento. Assim como Escobar (2005), demonstra que, em contextos rurais e tradicionais, natureza e vida social se organizam de forma profundamente entrelaçada. Sua degradação, portanto, não representa somente dano ambiental, mas perda de uma base material e simbólica historicamente construída.

O cercamento das margens em determinadas áreas e a proibição de **acesso** ao rio produziram rupturas profundas nessas territorialidades. Um agricultor relata: “*A Vale veio cercar, falei, mas é o acesso do meu gado beber. Falou: a partir de hoje nada pode beber dessa água*” (H.G.M.S., 63 anos, M). Espaços anteriormente vividos como comuns passaram a ser controlados, restringindo usos tradicionais e convertendo o acesso à água em mediação institucionalizada. Nesse sentido, Zhouri et al., (2016) argumentam que desastres minerários frequentemente produzem desapropriações materiais e simbólicas prolongadas, marcadas pela perda de autonomia territorial e pela imposição de novas formas de dependência. Trata-se de processo que pode ser compreendido como desterritorialização forçada, no qual comunidades perdem capacidade de uso, manejo e decisão sobre elementos centrais de seu próprio espaço vivido.

Outro elemento recorrente nos depoimentos foi a transformação subjetiva da relação com o rio. “*Fiquei acho que oito meses sem chegar perto. Se eu chegar lá perto e ter contato*

com ele, eu vou ter doença. O que antes me dava prazer, hoje me dá medo” (H.G.M.S., 63 anos, M). Outra moradora resume: *“Olhar para o rio hoje dá tristeza”* (J., 45 anos, F). Esse deslocamento simbólico é altamente relevante: o desastre não contaminou apenas a água, mas também a confiança social depositada nela. O rio permanece fisicamente presente, porém socialmente alterado. Tal condição aproxima-se da noção de sofrimento social produzida em contextos de desterritorialização e ruptura dos modos de vida, ao evidenciar que danos ambientais prolongados incidem diretamente sobre a saúde mental e a experiência cotidiana das populações atingidas (SANTOS, SOL & MODENA, 2021; LOYOLA FILHO et al., 2022).

A redução da profundidade, assoreamento e enfraquecimento da dinâmica hídrica, também foram relatados: *“O rio antes era grande, parecia um mar; hoje é pequenininho”* (A., 58 anos, M), *“O rio hoje está raso”* (VB, 60 anos, M) e *“O Ribeirão está muito raso, antes era água mais corrente, hoje acontece de ficar pousado”* (MA, 73 anos, F) expressam uma leitura local precisa sobre mudanças geomorfológicas e hidrossedimentares. A redução da profundidade do rio, percebida como assoreamento e “enfraquecimento” do curso d’água, é interpretada pelos atingidos como um sinal da perda de vida do rio. Essa leitura local dialoga com análises técnicas que apontam a deposição de sedimentos contaminados e a remobilização desses materiais durante as cheias, prolongando os impactos ao longo do tempo (IGAM, 2024; FONSECA et al., 2022).

Os efeitos dessas mudanças extrapolam a paisagem. A impossibilidade de acesso direto ao rio obrigou rebanhos a percorrer maiores distâncias em busca de água, elevou os custos produtivos, reduziu o desempenho animal e ampliou a dependência de formas externas de abastecimento externo. Tais impactos locais refletem a permanência de problemas estruturais no acesso à água e na efetivação de direitos básicos entre as populações atingidas pelo desastre (AEDAS, 2023). Um agricultor relata que animais antes comercializados em um ano passaram a demandar até dois anos para atingir peso de venda. Como observa Porto (2011), em conflitos ambientais, a degradação dos bens comuns atinge de forma mais intensa grupos cuja reprodução social depende diretamente dos bens naturais locais.

A água como etnoindicador de vida, risco e dependência

A água emerge como um dos etnoindicadores mais expressivos das transformações causadas pelo rompimento da barragem. Nos relatos das famílias atingidas, a avaliação considera atributos sensoriais precisos (Tabela 2), como cor, turbidez, cheiro, sabor, brilho superficial, abundância e capacidade de uso, revelando uma leitura ambiental qualificada, construída a partir da convivência cotidiana com o rio Paraopeba, com os ribeirões e com as fontes locais de abastecimento. Alterações descritas como água “avermelhada”, “barrenta”, “com cheiro forte” ou recoberta por película brilhante indicam que os moradores acompanham, no cotidiano, mudanças perceptíveis na qualidade da água e seus efeitos diretos sobre a vida diária.

Antes do desastre, a água era associada à vida, fartura e autonomia territorial, assim como era o rio. Sustentava o consumo humano, a dessedentação animal, a produção agrícola, a higiene doméstica e a relativa independência das famílias frente a sistemas externos de abastecimento. Após o rompimento, essa condição foi profundamente alterada. Estudos divulgados no período imediatamente posterior ao rompimento já apontavam efeitos tóxicos relevantes sobre organismos aquáticos, incluindo mortalidade e deformações em animais expostos à rejeitos da mineração (THOMPSON et al., 2019; VERGÍLIO et al., 2020; SIQUEIRA et al., 2022).

A água, antes percebida como bem disponível e confiável, passa a ser atravessada por dúvidas, restrições e controles institucionais, isso provoca a ruptura de formas historicamente consolidadas de acesso e gestão da água. Os dados produzidos no contexto da reparação reforçam essa observação comunitária. Em 2022, 86% das famílias relataram problemas de acesso à água potável, 76% demandavam água de qualidade para usos diversos e 32% apontavam dificuldades para dessedentação animal (NACAB, 2022).

Mesmo diante das reiteradas reivindicações locais, as respostas implementadas foram predominantemente emergenciais e parciais. A instalação de filtros em alguns poços e o fornecimento por caminhões-pipa possibilitaram retomadas localizadas de uso, porém sem resolver de forma estrutural o acesso contínuo, seguro e autônomo à água (UFMG, 2023; AEDAS, 2023). Esse processo se insere em um contexto mais amplo de conflitos entre a atividade mineradora e a agricultura familiar, especialmente no que se refere ao acesso e uso da água. Como destacam Sepe e Salvador (2018), a mineração tende a intensificar disputas por recursos hídricos, afetando diretamente pequenos produtores e comprometendo sistemas produtivos locais.

Os depoimentos evidenciam esse processo. Um morador relata: “*Depois do rompimento, a Vale vem cá, fala que você não pode usar, mas eles não dão solução nenhuma para nós não (...). Aí eu fiz isso, furei um poço. Inclusive, eu fiz tudo por minha conta*” (IF, 55 anos, M). Em outra propriedade, os impactos das enchentes posteriores agravaram a vulnerabilidade: “*A nossa cisterna ali ficou coberta pela água, mas já estamos usando*” (SJS, 70 anos, M). Já outro entrevistado relata limitações na água fornecida: “*Os animais não beberam a água porque estava com o gosto forte de cloro, acostumado com água pura*” (DH, 30 anos, M). As falas demonstram que disponibilidade não equivale, necessariamente, a acesso adequado, sobretudo quando persistem dúvidas quanto à qualidade, suficiência e aceitabilidade da água ofertada.

Monitoramentos oficiais e independentes demonstra que, logo após o rompimento, registros indicaram elevação expressiva de Fe, Al e Mn nas águas e sedimentos do rio Paraopeba, acima dos limites legais em diferentes trechos da bacia (MINAS GERAIS, 2019; IGAM, 2019). Em razão desses riscos, o uso da água bruta foi restringido entre Brumadinho e a represa de Retiro Baixo.

Monitoramentos oficiais confirmam. Análises do IGAM (2024) identificaram, cinco anos após o rompimento, nove dos dezessete pontos monitorados na bacia com concentrações elevadas de Mn, Cd, Al e Fe. De Salis et al. (2026) demonstraram, por sensoriamento remoto, evidências de redistribuição de rejeitos na porção média da bacia após as cheias extremas de 2020 e 2022, confirmando que o desastre permanece ambientalmente ativo.

Os moradores percebem essas alterações de forma imediata: “*A cor da água ficou mais escura, avermelhada, com cheiro forte. Antes dava enchente, mas as plantas não morriam*” (VB, 60 anos, M). Outro participante observa: “*A água da enchente veio avermelhada e com muito brilho, antes não era assim*” (G.B., 70 anos, M). Essas manifestações revelam que eventos hidrológicos antes associados à fertilização natural das várzeas e à reposição da umidade do solo passaram a ser interpretados como fontes de risco, perda e contaminação.

A observação das famílias, que descrevem a água das enchentes como "avermelhada", "com cheiro forte" e "com brilho", capta em linguagem sensorial os processos geoquímicos de remobilização de sedimentos ricos em óxidos de ferro (Figura 2). Jeanjean et al. (2022), em estudo sobre pesquisa participativa em saúde ambiental, argumentam que as observações comunitárias sobre qualidade ambiental não são apenas subjetivas, mas expressam exposições reais e persistentes, o que o conjunto de evidências deste estudo confirma.



Figura 2- Rio Paraopeba e lama de rejeitos depositada com as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale, em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

Do ponto de vista geoquímico, a coloração marrom-avermelhada pode estar relacionada à suspensão de partículas ricas em óxidos de ferro, especialmente hematita (Fe_2O_3), mineral abundante em materiais ferruginosos associados ao Quadrilátero Ferrífero, região marcada pela ocorrência de itabiritos e óxidos de ferro (COSTA et al., 2014). O brilho superficial relatado pode estar associado à presença de partículas minerais finas em suspensão e à reflexão luminosa sobre águas com elevada carga de sólidos, em contexto de alteração severa da qualidade hídrica após o desastre (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Estudos oficiais e independentes também identificaram concentrações elevadas de metais potencialmente tóxicos nas águas e sedimentos da bacia do rio Paraopeba, incluindo Mn, Fe, Al, Cd e outros elementos acima dos padrões de referência em diferentes pontos monitorados após o rompimento (IGAM, 2019; IGAM, 2024; TROVÃO et al., 2023; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Esses resultados reforçam que a desconfiança comunitária em relação à água não decorre de observação infundada, mas de experiências concretas articuladas a riscos reais e persistentes.

A substituição do acesso direto ao rio por sistemas de abastecimento controlados pela própria empresa responsável pelo desastre não restabelece a autonomia hídrica das famílias. Ao contrário, aprofunda sentimentos de vulnerabilidade, desconfiança e dependência, violando princípios centrais do Direito Humano à Água e ao Saneamento, especialmente no que se refere à disponibilidade, aceitabilidade e qualidade da água (TROVÃO et al., 2023; RAMOS, 2023). Assim, a água deixa de ser apenas um bem natural e passa a ser um marcador político de relações assimétricas de poder e controle dos territórios (SOSA, M., BOELEN, R. & ZWARTVEEN, M, 2017; PORTO & PORTO, 2016). Reconhecer essas leituras comunitárias amplia a compreensão dos impactos para além dos parâmetros laboratoriais e mostra que

reparar os danos exige não apenas melhorar indicadores de qualidade, mas devolver autonomia, confiança e justiça no acesso ao bem mais elementar à vida.

Peixes e segurança alimentar: ruptura ecológica e cultural

Os relatos das pessoas atingidas indicam que a pesca no rio Paraopeba ocupava papel central na alimentação, no lazer e na vida social das comunidades. O consumo de peixe era frequentemente associado à qualidade e abundância do recurso, sendo comum sua incorporação na rotina alimentar das famílias.

O peixe era descrito *“os melhores da redondeza... A gente comia peixe várias vezes na semana, fritavam e guardavam na gordura para comer depois”* (MC, 70 anos, F) (SJS, 70 anos, M; FJS, 65 anos, M). O pescado era elemento importante da segurança alimentar doméstica. Após o rompimento, a perda desse recurso repercutiu diretamente no orçamento familiar. Elas afirmam: *“Agora as despesas aumentaram, tenho que comprar carne; antes a gente comia peixe fresco do rio no meio da semana”* (MA, 73 anos, F; MC, 70 anos, F). Isso, revela que o dano ambiental incidiu também sobre os custos de manutenção da alimentação cotidiana.

Além da alimentação, a pesca mobilizava saberes locais transmitidos entre gerações. Uma pessoa atingida descreve a técnica aprendida para capturar piau: *“Você amarra as espigas de milho e deixa no fundo da água (...). O piau gosta, ele vem comer”* (HG, 63 anos, M). Esses saberes não são fragmentados, mas integram sistemas locais de conhecimento que articulam práticas produtivas, observação ambiental e memória coletiva, conforme discutem Toledo e Barrera-Bassols (2008).

A diversidade de espécies mencionadas (dourado, corvina, curimatã, surubim, mandi, piau, pacu, douradinho, pacamã, piaba, espada, trinchá e pintado) reforça a observação de um ecossistema aquático funcional, sustentado por práticas predominantemente artesanais, como anzol de espera, balaio sem fundo (chapu), pari, serva e jequi, sendo raras as práticas com redes ou tarrafas. Além de momentos de lazer compartilhados com a família: *“Antes a gente pescava com os meninos de tarde, era um prazer”* (VB, 60 anos, M), a pesca também estruturava a convivência comunitária, como em eventos coletivos reuniam *“até 70 pessoas”* (FJS, 63 anos, M), confirmando como prática social, recreativa e integradora.

Depois do desastre, a pesca passou a ser atravessada pelo medo e pela incerteza. Um atingido afirma: *“Nós não temos coragem de pegar nenhum, não sabe ainda como é o grau da contaminação”* (IF, 55 anos, M). Outra atingida resume: *“Hoje não, não tenho coragem, não me sinto bem nem de chegar perto do rio”* (J., 45 anos, F). A contaminação, não opera apenas

como risco de contaminação por elementos potencialmente tóxicos, mas como ruptura da confiança social no ambiente e nos alimentos dele provenientes.

Thompson et al. (2020) identificaram elevada mortalidade de organismos aquáticos e efeitos ecotoxicológicos associados à deterioração da qualidade da água após o rompimento. Parente et al. (2021) também registraram diferenças significativas nas concentrações de elementos-traço em sedimentos, peixes e macrófitas entre áreas a montante e a jusante da entrada dos rejeitos.

Análises realizadas pela equipe do Projeto Brumadinho (UFMG) em peixes no rio Paraopeba e em lagoas marginais, indicaram risco para consumo humano, especialmente quando ingeridos com frequência superior a duas porções semanais. Em alguns casos, foram registrados níveis de mercúrio acima dos limites recomendados, tornando o consumo inadequado (RUIZ et al., 2025).

Estudos experimentais reforçam a gravidade desses impactos. Peixoto et al. (2022), ao expor embriões de peixe-zebra à água do rio Paraopeba, observaram elevada mortalidade e alterações no desenvolvimento, enquanto Savassi et al. (2020) demonstraram que peixes da região apresentam concentrações de metais tóxicos acima dos limites recomendados para consumo humano. Vergílio et al. (2020) verificaram acúmulo de metais nos tecidos musculares de peixes expostos a águas e sedimentos do rio Paraopeba, com predominância de Fe, Al e Mn, reforçando riscos ecológicos e alimentares de longo prazo.

Conforme laudo pericial da Polícia Federal (2019), os rejeitos atingiram o rio durante a piracema, período reprodutivo de diversas espécies que comprometeram a reposição natural de novos peixes, ampliando as consequências de longo prazo.

A desconfiança, portanto, não é apenas subjetiva, mas se ancora em um cenário real de incerteza e risco alimentar. Nesse contexto, a redução da pesca não se explica apenas pela diminuição da disponibilidade de peixes, mas pela ruptura da confiança no ambiente e nos alimentos produzidos.

Solo-rejeito: leitura camponesa da degradação

O termo solo-rejeito é utilizado nesta pesquisa para indicar os solos localizados em áreas de inundação que, após as cheias posteriores ao rompimento da barragem, passaram a receber deposição de lama composta pela mistura entre sedimentos aluviais naturais e rejeitos de mineração (Figura 3).



Figura 3- Solo das áreas de baixadas, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

A presença do rejeito é identificada não apenas como um material físico, mas como um elemento que altera profundamente as características do solo, afetando sua fertilidade, estrutura e capacidade produtiva. Essa forma de leitura dialoga com Calixto (2015), ao demonstrar que a qualidade do solo é compreendida pelas comunidades a partir de atributos visíveis e funcionais, e com Casas (2024), ao reconhecer o solo como elemento central na construção de etnoindicadores ambientais.

Os solos passaram a ser descritos como mais avermelhados, esbranquiçados ou acinzentados, frequentemente associados a brilho metálico, película superficial e aspecto “misturado”. Essas mudanças diferenciam, na memória local, a “terra de antes” da terra posterior ao desastre. Relatos de pessoas atingidas: “A terra está avermelhada e oleosa, uma cor que nunca teve” (SS, 60 anos, F). Outro entrevistado observa: “Ela brilha. Se você passar a terra assim na pele, você vê que tem outros elementos que veio junto” (GB, 70 anos, M).

A composição mineralógica dos rejeitos de mineração de ferro, são marcados pela presença de hematita, quartzo e outros minerais silicatados, capazes de modificar a cor e o brilho superficial dos materiais depositados (DUARTE; NEVES; DE OLIVEIRA, 2023; LAUREANO et al., 2022). Tons avermelhados tendem a refletir maior presença de óxidos de ferro, enquanto colorações claras podem indicar frações quartzosas pobres em matéria orgânica e nutrientes. Casas (2024), em estudo na bacia do rio Doce, também identificou a cor da terra e da lama como um dos principais etnoindicadores utilizados pelas famílias para reconhecer mudanças após o desastre.

As mudanças físicas aparecem de diferentes formas (Figura 4). O solo passou a ser descrito como mais duro, compactado, empoeirado, sujeito à formação de trincas e com menor capacidade de infiltração da água. Uma atingida afirma: “*Quando seca, fica dura que nem cimento; quando chove, a água empoça ou escorre*” (J., 43 anos, F). Outro morador relata: “*A poeira sobe mais, ficou mais leve, sabe?*” (HÁ, 35 anos, M). Já outro destaca: “*Depois da enchente fica uma camada de lama, e quando está secando fica aquelas fissuras na terra*” (VB, 60 anos, M).

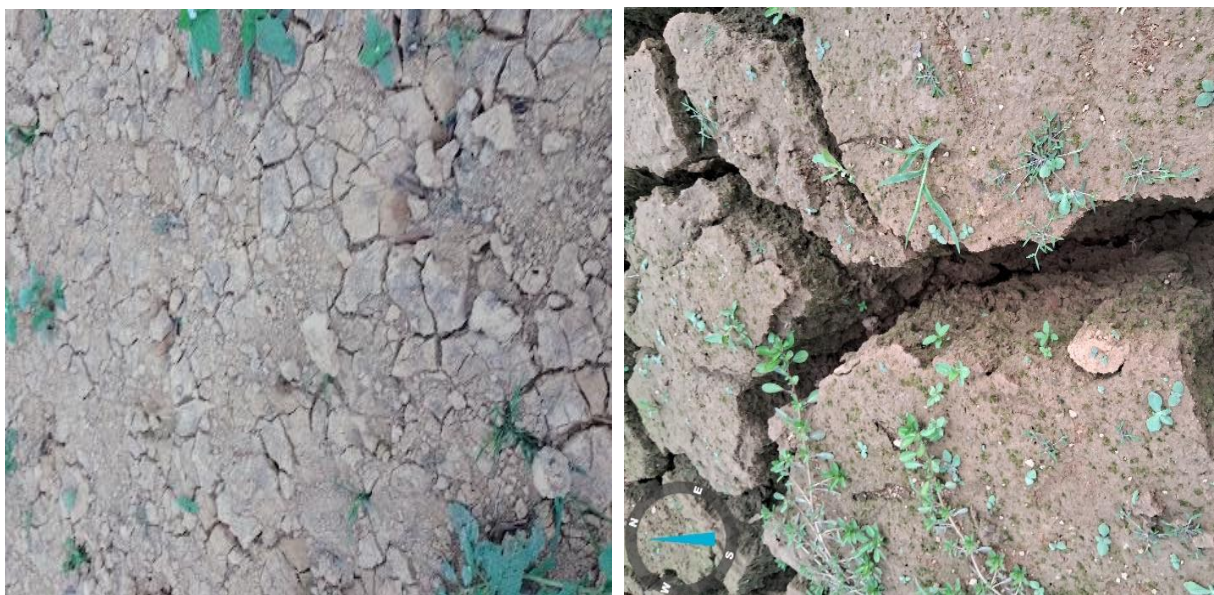


Figura 4- Solo trincado esbranquiçado após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

Estudos demonstram que a deposição de partículas finas do rejeito pode provocar selamento superficial, adensamento, redução da porosidade e menor infiltração de água, comprometendo funções essenciais do solo (KOIFMAN; CASTILHOS; CESAR, 2023). Ensaio ecotoxicológicos também evidenciaram efeitos adversos do rejeito sobre organismos edáficos, como minhocas, sugerindo impactos sobre a estrutura biológica do solo (BARREIROS; CASTILHOS; CESAR, 2024). Casas (2024) também registrou que agricultores atingidos no rio Doce associaram o rejeito a lama endurecida, crostas superficiais e dificuldade de manejo à perda da qualidade física do solo.

Para as pessoas atingidas, o principal indicador da qualidade do solo é a planta. O desenvolvimento vigoroso, a coloração, o porte e a resposta ao manejo funcionam como critérios práticos de avaliação da fertilidade, “*a planta ensina se a terra é boa, se ela se desenvolve, a terra é boa*” (MA, 73 anos, F; MC, 70 anos, F). Outro reforça: “*A terra está*

saudável quando as plantas se desenvolvem rápido, a planta me dá a resposta” (HG, 63 anos, M). O desenvolvimento vegetal resulta diretamente da interação entre atributos físicos, químicos e biológicos do solo, como disponibilidade de nutrientes, aeração, estrutura, matéria orgânica, atividade microbiana e disponibilidade hídrica (PRIMAVESI, 2016; BRADY; WEIL, 2013). Assim, a planta é a síntese viva das condições do solo, revelando ao agricultor, em seu próprio crescimento, as respostas do ambiente.

Estudos registraram alterações na diversidade microbiana e em indicadores microbiológicos em áreas afetadas pelo rejeito, sugerindo comprometimento de processos biológicos fundamentais ao solo (GOULART et al., 2024). Casas (2024) reforça esse entendimento ao demonstrar que, entre famílias atingidas do rio Doce, o comportamento das plantas foi um dos indicadores mais confiáveis para avaliar a recuperação ou persistência de danos nos agroecossistemas. De modo convergente, Calixto (2015) destaca que agricultores constroem leituras sofisticadas da qualidade do solo a partir de atributos observáveis no manejo cotidiano, como vigor das plantas, umidade, cor e facilidade de preparo da terra.

Para além das alterações mensuráveis em laboratório, os relatos mostram que o impacto do rejeito se expressa na perda da funcionalidade do solo enquanto base da produção e da vida no território. Como relatado, os solos antes considerados produtivos passaram a apresentar menor resposta às práticas de manejo, exigindo maior esforço ou tornando-se inviáveis para o cultivo. Uma das atingidas relata: *“O terreno do sítio era um brejo, mas tinha um solo bom, com terra preta e úmida, apropriada para plantio”* (IF, 55 anos, M). Outra menciona as *“áreas baixas onde tem terra preta”* (MD, 55 anos, M).

Após o rompimento, a relação das famílias com a terra foi profundamente alterada. As baixadas, historicamente destinadas ao plantio, perderam sua funcionalidade agrícola, restando às famílias áreas de topo de morro, marcadas por maior declividade e/ ou presença de materiais rochosos (Figura 5). As áreas das baixadas passaram a ser inseguras para cultivo. Casas (2024) observou que a perda de quintais, baixadas e áreas úmidas férteis repercute diretamente na autonomia alimentar e na capacidade produtiva das famílias atingidas.



Figura 5- Área da baixada cercada, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho; e área não afetada com declividade e presença de materiais rochosos na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

Os impactos sobre o solo não se restringem às propriedades físicas. Estudos em Brumadinho identificaram prevalência de metais acima de valores de referência em população residente no município atingido, indicando persistência de exposição ambiental e necessidade de monitoramento contínuo (MOTA et al., 2022). Embora a dinâmica de exposição humana seja múltipla, as observações reforçam que o desastre provocou impactos duradouros no ambiente. Estudos preliminares em Brumadinho também identificaram riscos potenciais de poluição em solos atingidos, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo quanto à presença e mobilidade de contaminantes (BUCH et al., 2023).

Estudos científicos têm demonstrado padrões espaciais e sazonais de contaminação por metais, especialmente ferro e manganês, na água e nos sedimentos das áreas afetadas, bem como efeitos biológicos associados à exposição prolongada a esses contaminantes (VERGÍLIO et al., 2020; TERAMOTO et al., 2021; PACHECO et al., 2022).

No entanto, seis anos após o rompimento da barragem, muitas famílias permanecem em situação de insegurança quanto à produção e ao consumo de alimentos cultivados nas áreas atingidas por rejeitos a partir das enchentes subsequentes do rio Paraopeba, após sua contaminação. Comunidades que antes garantiam sua segurança alimentar por meio da produção própria passaram a depender de alimentos adquiridos no mercado, o que compromete sua autonomia produtiva e sua renda (NACAB, 2023). Portanto, o impacto do rejeito se manifesta na perda da funcionalidade do solo enquanto base da produção e da vida no território. Como relatado pelas pessoas atingidas, solos antes considerados produtivos passaram a apresentar menor resposta ao manejo, exigindo maior esforço ou tornando-se inviáveis para o cultivo.

Vegetação natural e culturas agrícolas

A vegetação natural e as culturas agrícolas constituem etnoindicadores centrais dos impactos do desastre, descritos na Tabela 2. Para as pessoas atingidas, a aparência das plantas, o vigor vegetativo, a capacidade de rebrote, a produtividade das lavouras e a substituição de espécies tradicionais por outras espontâneas constituem sinais diretos da qualidade do solo e da água. Assim como observado por Casas (2024) na bacia do rio Doce, o comportamento da vegetação atua como sinal das condições ambientais do território, permitindo às comunidades interpretarem processos de degradação, recuperação ou persistência de danos.

Os relatos indicam redução significativa no desenvolvimento das lavouras, especialmente milho, feijão e pastagens utilizadas na pecuária. As plantas cultivadas passaram a ser descritas como “*mirradas*”, *amareladas*, “*caneludas*” ou incapazes de completar seu ciclo produtivo (Figura 6). Eles afirmam: “*Reconhecemos pela planta. Quando ela fica amarelada, caneluda, então o solo não tá legal*” (A.M., 50 anos, F; A.M., 45 anos, M). Outro relata: “*O capim não se desenvolve, na área atingida pela cheia, a braquiária morreu tudo*” (GB, 70 anos, M). Há ainda referência à perda do sistema integrado entre lavoura e pecuária: “*Depois das colheitas de milho o pai colocava os animais e rendia leite, hoje a área está coberta de mata*” (GB, 70 anos, M).

A queda de produtividade, revela a ruptura de ciclos historicamente consolidados. O desaparecimento do rebrote de capins e a inviabilidade de áreas antes férteis repercutem diretamente na produção de leite, no autoconsumo e na renda familiar.



Figura 6- Plantas de feijão e milho “mirradas”, após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

Para as famílias agricultoras, a planta constitui um dos indicadores mais confiáveis da qualidade do solo. O crescimento vigoroso, a coloração verde intensa e a capacidade de rebrota são associados à fertilidade, enquanto plantas raquíticas, cloróticas ou com crescimento irregular indicam problemas no solo.

A observação das plantas como critério de avaliação do solo também foi registrada por Audeh et al. (2011), que identificaram leituras etnopedológicas como atributos visuais, biológicos e produtivos das plantas para avaliar a qualidade do solo em unidades familiares de produção agrícola. Assim, a planta funciona como uma síntese viva das condições da terra, expressando em seu crescimento respostas que nem sempre aparecem em análises laboratoriais isoladas. No contexto agroecológico, trata-se de conhecimento relacional, construído a partir da interação continuada entre manejo, clima, solo e resposta vegetal (CALIXTO, 2015). Casas (2024) também identificou que o comportamento das culturas agrícolas está entre os principais etnoindicadores mobilizados por famílias atingidas para avaliar impactos pós-desastre.

A perda de vigor das plantas pode estar associada às alterações físicas e químicas provocada pela contaminação do rejeito aos solos agrícolas. Materiais depositados após o rompimento apresentam, em muitos casos, degradação estrutural, compactação, menor teor de matéria orgânica e desequilíbrios químicos, exigindo manejo intensivo para restabelecimento da produtividade (CAMPOS et al., 2010; BUCH et al., 2023).

Alterações químicas também podem dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas e favorecer a disponibilidade de metais potencialmente tóxicos. Estudos anteriores já demonstraram redução de crescimento vegetal e aumento de metais em tecidos foliares quando plantas são cultivadas em substratos impactados por resíduos de mineração (ANJOS; REISSMANN, 1996). Em complemento, Souza et al. (2021) identificaram potencial citogenotóxico e genotóxico em amostras de água e sedimentos do rio Paraopeba coletadas poucos dias após o rompimento, com danos genéticos e redução da divisão celular associados à presença de metais. Esses resultados sugerem que os impactos sobre a vegetação não se restringem a limitações físicas do solo, podendo envolver também estresses químicos capazes de afetar processos fisiológicos vegetais.

As pessoas atingidas descrevem esse fenômeno em linguagem própria:

“Pensei em engarrafar a água do rio e vender como se fosse Roundup, sério, matou tudo” (J., 45 anos, F).

“Começou a nascer alguma planta e morria, parecia que tinha aplicado produto, queimava a planta” (V.B., 60 anos, M).

“Acho que é por isso que as plantas morrem, não aguentam aquele trem pesado que trinca e é fedorento” (MD, 55 anos, M).

Os relatos traduzem, em linguagem experiencial, observações de fitotoxicidade, selamento superficial e ambiente desfavorável ao enraizamento. Outro aspecto recorrente é a substituição de espécies forrageiras, antes valorizadas, por plantas consideradas indesejáveis ou pouco úteis ao sistema produtivo. As famílias relatam desaparecimento da corda-de-viola, do capim-angola e de outras espécies consumidas pelo gado, acompanhado do surgimento de capins desconhecidos, mamona e assa-peixe (Figura 7):

“O capim angola tinha muito nas baixadas, hoje não tem mais, depois da enchente morreu e até hoje não voltou” (SS, 60 anos, F).

“Nasceu outro capim, o gado não come e sumiu a corda-de-viola, que era boa para o gado” (HG, 63 anos, M).

“Hoje a gente tem que lidar com uma praga de mamona” (VB, 60 anos, M).

“Hoje, nas áreas tem muito assa-peixe e veludinho e muita mamona apareceu, quase sem controle” (GB, 70 anos, M).



Figura 7- Plantas indicadoras (Mamona e Assapeixe) após as cheias ocorridas depois do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal.

A leitura de espécies espontâneas como sinal de degradação converge com etnoindicadores já registrados na Região 3 (GUIMARÃES et al., 2026). Essas mudanças indicam reorganização ecológica do ambiente. Em áreas impactadas, espécies pioneiras e tolerantes tendem a ocupar rapidamente nichos abertos, especialmente sob condições de compactação, baixa cobertura vegetal e desequilíbrios químicos. A mamona (*Ricinus communis*) é reconhecida por sua rusticidade e tolerância a ambientes degradados, enquanto o assa-peixe (*Vernonanthura polyanthes*) é frequentemente associado a solos empobrecidos ou em processo de degradação (ANDREAZZA, 2011; FRAGA, 2020; LINS et al., 2007).

A perda de vigor das lavouras, o desaparecimento de espécies forrageiras, a redução do rebrote e a expansão de plantas espontâneas expressam alterações simultâneas no solo, na água e no funcionamento das áreas produtivas e repercute diretamente sobre a soberania alimentar das famílias atingidas. Reduz-se a produção de milho, feijão, leite e carne, ampliando dependência de compras externas e fragilizando sistemas tradicionais de autoconsumo. Ridolfi et al. (2024), ao discutir Brumadinho, destacam a existência de riscos à produção de alimentos após o rompimento da barragem, reforçando que os danos ambientais alcançam diretamente os sistemas alimentares locais. Essa leitura comunitária está alinhada ao que é proposto por Casas (2024) e Calixto, Pereira e Cardoso (2020), acerca da relevância dos etnoindicadores como instrumentos legítimos de monitoramento participativo. Mais do que plantas alteradas, o que está em debate são sistemas alimentares, saberes tradicionais e modos de vida profundamente vinculados à terra.

Quintais: etnoindicadores da perda biocultural

Nos quintais, espaços historicamente associados à soberania alimentar, à transmissão de conhecimentos e à autonomia das mulheres, os impactos são particularmente profundos (Figura 8). Esses espaços concentram diversidade de espécies e práticas de manejo, funcionando como sistemas agroecológicos que articulam produção de alimentos, conservação da agrobiodiversidade e reprodução da vida cotidiana (ALTIERI, 2012; OLIVEIRA, 2019). Também podem ser compreendidos como expressões da memória biocultural das famílias camponesas, nas quais se integram saberes, práticas e relações com a terra construídas ao longo de gerações (TOLEDO; BARRERA-BASSOLS, 2008).

Os relatos das pessoas atingidas demonstram essa centralidade dos quintais na vida cotidiana. Uma atingida afirma: “É onde tem a horta e as frutas, né. Ao redor da casa é onde tem a alimentação para a família” (A.M., 45 anos, F). Outra reforça a diversidade desses espaços: “Na horta tem de tudo: cebolinha, couve, salsinha, tomate, alface” (J., 45 anos, F).

Essas falas revelam que os quintais não são apenas áreas produtivas, mas territórios de sustento direto, autonomia alimentar e organização da vida doméstica. Estudos reconhecem os quintais como sistemas agroecológicos biodiversos, fundamentais para a soberania alimentar, diversificação da dieta e melhor aproveitamento das pequenas áreas rurais (DUQUE-BRASIL, 2010; GARCIA; VIEIRA; OLIVEIRA, 2015).

Após o rompimento, entretanto, esses espaços foram profundamente impactados. A perda de cultivos, a redução da produção e a insegurança quanto ao consumo dos alimentos aparecem de forma recorrente nos depoimentos. Uma atingida expressa: “*Se a gente precisa comprar laranja, mexerica, jabuticaba... o custo é alto. A gente ter aqui e não poder desfrutar, é triste*” (M.A., 73 anos, F). Outra relata as mudanças no manejo: “*A enchente de 2022 entrou dentro da casa. Ano passado até deixei de plantar muitas coisas*” (A.M., 45 anos, F). Essas experiências informam o aumento da dependência externa e a ruptura de práticas históricas de autoconsumo.



Figura 8- Quintais produtivos após as cheias contaminadas pelo rejeito do rompimento da barragem da Vale em Brumadinho, na bacia do Rio Paraopeba. Arquivo pessoal

A perda desses espaços compromete também o cuidado com a saúde e o equilíbrio emocional das famílias. Como relata um atingido: *“Antes eu tinha uma horta aqui, tinha tudo nessa hortinha pequena... hoje mudou. O quintal é terapia, você não fica quieto nesse trem não”* (A.D., 55 anos, M). Outro expressa o vínculo afetivo com o ambiente: *“Se você vê uma árvore que um vento derruba, dói na gente, imagina isso”* (H.G., 63 anos, M). Entre as mulheres, essa dimensão aparece de forma ainda mais intensa: *“O quintal é a vida da gente”* (S.S., 61 anos, F); *“Sem o quintal não teria graça viver aqui”* (M.A., 73 anos, F).

Esses relatos indicam que os quintais extrapolam a dimensão produtiva, constituindo espaços de cuidado, bem-estar e pertencimento. Além disso, o protagonismo feminino com o cuidado dos quintais, está relacionado à construção cotidiana do conhecimento agroecológico, no qual cuidado, manejo e reprodução da vida ocupam papel central (OLÍDIA et al., 2024).

Seis anos após o rompimento, persistem dúvidas quanto à segurança para retomar plantios e consumir alimentos produzidos nos quintais. Uma atingida resume essa incerteza ao perguntar: *“Agora eu preciso plantar, Maria. Este é meu terreno de feijão e milho. Será que posso plantar novamente?”* (M.A., 73 anos, F). A permanência da insegurança quanto ao uso desses espaços demonstra que a reparação não se resume à recomposição física das áreas.

Estudos destacam a importância do quintal para segurança alimentar, conservação da agrobiodiversidade e fortalecimento da autonomia das mulheres rurais (OLIVEIRA, 2019; DE OLIVEIRA et al., 2021; OLÍDIA et al., 2024). No contexto dos desastres minerários, a perda desses espaços amplia desigualdades já existentes, pois compromete fontes de renda complementar, redes de troca e capacidade de decisão sobre a alimentação familiar. Situação semelhante foi registrada após o rompimento da barragem de Fundão, quando hortas e quintais atingidos reduziram a autonomia econômica das mulheres e fragilizaram estratégias locais de reprodução social (CASAS, 2024).

Torna-se necessário restabelecer confiança ambiental, condições seguras de produção e autonomia das famílias sobre seus próprios espaços de cultivo. Mais do que áreas anexas à moradia, os quintais são territórios vivos de soberania alimentar e autonomia familiar.

Animais domésticos e silvestres como etnoindicadores da desestruturação socioecológica

A partir da observação cotidiana dos rebanhos, da fauna e de seus comportamentos, as pessoas atingidas constroem leituras apuradas sobre alterações na qualidade da água, na disponibilidade de alimento, na saúde ambiental e na estabilidade dos agroecossistemas. Os relatos revelam os sistemas de produção animal, com perdas materiais e descontinuidade de práticas produtivas historicamente estabilizadas (Tabela 2).

Os relatos de mortalidade e adoecimento animal são interpretados pelas pessoas atingidas como sinais diretos de comprometimento ambiental. Uma atingida afirma: *“Tem um cemitério de galinhas”* (M.A., 73 anos, F). Outros dizem: *“Cheguei a perder 22 vacas, tive 20 abortos, bezerros morreram; tirava 700 litros de leite por dia e passei a tirar uns 200”* (E., 45 anos, M). *“Foi um baque violento”* (H.F.S., 63 anos, M).

A ocorrência de abortos, mortalidade e queda abrupta da produtividade indica a atuação de estressores ambientais, possivelmente relacionados à contaminação da água. Estudos demonstram que a exposição a metais potencialmente tóxicos pode comprometer funções fisiológicas e reprodutivas em animais, afetando diretamente parâmetros como fertilidade, desenvolvimento embrionário e viabilidade dos rebanhos (COSTA; BORGES; SOTO-BLANCO, 2020). Em contextos de exposição prolongada, também podem ocorrer alterações metabólicas e microbiológicas, ampliando os efeitos sobre a saúde animal e a produtividade (GAETA, 2021).

A restrição ao uso direto do rio, associada à desconfiança quanto à sua qualidade, levou as famílias a dependerem de fontes externas e controladas de abastecimento, rompendo com sistemas historicamente autônomos. Essa mudança aparece de forma clara nos relatos:

“As galinhas reduziram o consumo de água... a gente desconfia da água, está com gosto diferente” (M.A., 73 anos, F).

“A única água para os animais é fornecida... já teve momentos que precisou abrir para os animais beberem água na lagoa” (V.B., 60 anos, M).

“Os animais não beberam a água porque estava com o gosto forte de cloro, acostumado com água pura” (DH, 30 anos, M)

Isso mostra que os próprios animais respondem à qualidade da água, com recusa ou mudança no seu comportamento, o que reforça os danos e prejuízos causados a partir da contaminação do rio. Ao mesmo tempo, a água disponibilizada após o rompimento, ainda que tratada, nem sempre atende às condições de aceitabilidade do animal, além de ser insuficiente frente às demandas produtivas. O acesso à água para dessedentação animal figura entre as principais demandas recorrentes das famílias atingidas no pós-desastre (AEDAS, 2023).

Essa leitura comunitária encontra correspondência em dados técnicos. No âmbito do Projeto Brumadinho (UFMG), atendimentos e necropsias em 297 animais indicaram mortalidade envolvendo principalmente peixes, aves e bovinos, com a degradação da qualidade

da água apontada como fator de risco relevante. Análises laboratoriais também identificaram níveis elevados de metais, como Mn, Pb, Hg, Cd e Zn, em animais domésticos e silvestres, com evidências de exposição crônica, especialmente em bovinos, dos quais 98,5% apresentaram concentrações de Mn acima dos valores de referência (RUIZ et al., 2025).

No caso da produção animal, foram observados níveis elevados de alumínio e bário em amostras de leite, além de registros pontuais, porém críticos, de contaminação em vísceras, com presença de Pb em fígado de bovinos e Cd e/ou Pb em aves domésticas acima dos limites permitidos. Isso indicam que os animais não apenas sinalizam alterações ambientais, mas materializam processos de contaminação que se expressam biologicamente.

Os atingidos também observam mudanças na fauna silvestre, com desaparecimento de espécies antes comuns, como capivaras e pássaros, e aumento de outras, como javalis e insetos, indicando alterações no equilíbrio ecológico dos territórios:

“O rio tinha vida, hoje não se vê mais passarinhos na beira do rio cantando” (J., 43 anos, F).

“Besouro hoje em dia tem muito. Javali antes não tinha, hoje já apareceu; capivara, nunca mais apareceu” (S.S., 61 anos, F).

Os atingidos pelo rompimento da barragem de Mariana, relatam que inicialmente diminuiu a população capivaras, depois, o aumento da população foi mais que antes do desastre (CASAS, 2024). Nesse contexto, a noção de desterritorialização, discutida por Moraes (2022), contribui para compreender que os impactos não se restringem ao deslocamento humano. A fauna também é afetada por processos de perda de habitat, contaminação e alteração ambiental, resultando na ruptura de suas relações com o território e, simultaneamente, das relações das comunidades com esses animais.

Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo

A aplicação da Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo demonstrou que os etnoindicadores utilizados pelas pessoas atingidas permitem acompanhar, de forma consistente, as mudanças nos agroecossistemas ao longo do tempo.

As notas atribuídas aos indicadores nos três períodos de avaliação, novembro de 2024 a janeiro de 2025; fevereiro a abril de 2025; e maio a julho de 2025, revelam um quadro de comprometimento ambiental que não mostra sinais de melhora (Figura 9).

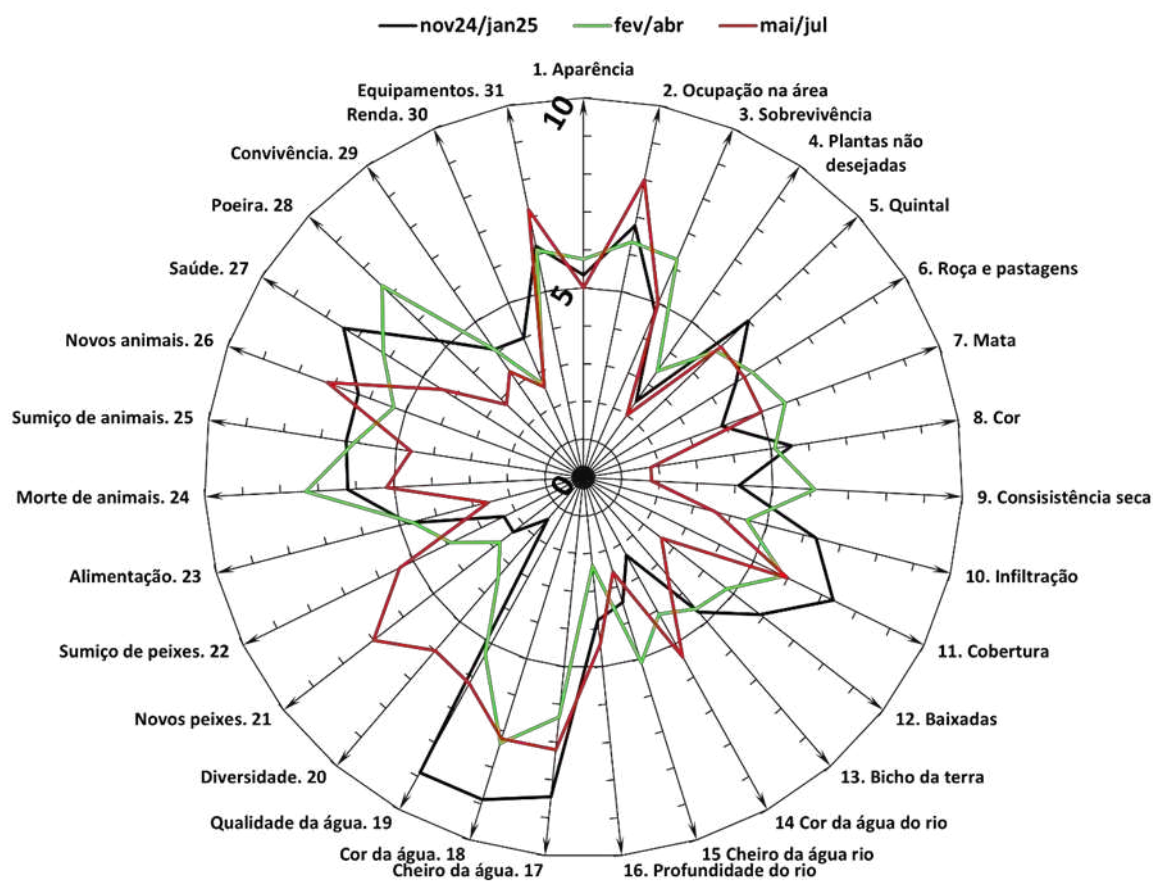


Figura 9- Síntese da Caderneta de Monitoramento Ambiental e Social, com as médias média das notas dos indicadores dados pelos atingidos.

De modo geral, a maioria dos etnoindicadores recebeu notas baixas nas áreas afetadas pelas enchentes contaminadas do rio Paraopeba em 2022, indicando que a qualidade ambiental permanece comprometida. Isso demonstra que os impactos do rompimento continuam presentes e afetam, ao mesmo tempo, o solo, a água, as plantas, os animais e as condições de vida das famílias. Estudos mostram que rejeitos de mineração podem causar alterações persistentes no solo e dificultar sua recuperação (CAMPOS et al., 2010; DUARTE; NEVES; DE OLIVEIRA, 2023).

Danielsen et al. (2021), ao sistematizar décadas de experiências globais com monitoramento local, identificaram como uma das contribuições mais relevantes do monitoramento comunitário: sua capacidade de captar tendências de degradação persistente de forma sensível, em tempo real e territorializada, muitas vezes antes que o monitoramento institucional as reconheça.

Ao comparar os três períodos avaliados, não se observa melhora clara das condições socioambientais. No entanto, existem pequenas variações entre alguns etnoindicadores, mas essas variações identificadas entre os ciclos não indicam recuperação do ambiente. Em

agroecossistemas saudáveis, a chegada das chuvas tende a melhorar a infiltração do solo, estimular a vegetação e repor fontes hídricas; o fato de isso não ter ocorrido de forma significativa aponta para danos estruturais nos processos ecológicos fundamentais (ALTIERI, 2012; PRIMAVESI, 2016).

O fato de isso não ter ocorrido de forma significativa no período de fevereiro a abril, período chuvoso, indica que os agroecossistemas atingidos perderam parte de sua capacidade de resposta às variações naturais. Danielsen et al. (2022), em revisão abrangente sobre monitoramento comunitário de sistemas naturais e do ambiente, argumentam que esse tipo de sinal, a ausência de recuperação esperada diante de condições favoráveis, é exatamente o que o monitoramento local, por sua continuidade e proximidade territorial, é capaz de perceber com precisão.

As anotações qualitativas registradas pelas famílias na caderneta, sintetizadas na Tabela 3, aprofundam e contextualizam as notas, demonstram o que os dados não alcançam. Elas permitem compreender não apenas quanto os etnoindicadores estão comprometidos, mas como esse comprometimento se manifesta na experiência cotidiana das famílias, em que linguagem ele é descrito e que processos ecológicos e sociais ele expressa.

Qualidade do solo

Os etnoindicadores relacionados à qualidade do solo obtiveram notas consistentemente baixas nos três períodos avaliados (Figura 9). As anotações das famílias descrevem um solo trincado, duro, com baixa infiltração e cheiro inadequado, com reduzida presença de organismos edáficos (minhocas) foram registradas apenas na beira dos córregos (Tabela 3). Esses registros expressam, em linguagem local, os mesmos processos identificados por análises laboratoriais: compactação, selamento superficial, redução da porosidade e comprometimento da atividade biológica do solo (CAMPOS et al., 2010; BARREIROS, CASTILHOS & CESAR, 2024).

A observação das famílias sobre a qualidade do solo não é intuitiva: ela resulta de conhecimento construído ao longo de gerações, transmitido oralmente e constantemente atualizado pela observação cotidiana. Calixto (2015), em estudo com agricultoras familiares, demonstrou que comunidades camponesas constroem sistemas etnopedológicos sofisticados, nos quais cor, textura, consistência, cheiro, umidade e resposta vegetal são mobilizados de forma integrada para avaliar a qualidade da terra. Os registros das famílias da Região 3 seguem essa mesma forma de interpretar o ambiente, demonstrando a riqueza e a precisão do saber local como instrumento de monitoramento.

Tabela 3– Síntese das anotações pelas famílias em cada categoria de monitoramento e uma interpretação integrada dos resultados

Categoria	O que foi registrado pelas famílias	Sistematização
Solo / Terra	Solo trincado, consistência dura, infiltração baixa, cheiro ruim. Minhocas presentes apenas na beira dos córregos. Formigas e cupins em áreas afetadas.	Indicadores físicos e biológicos de degradação: compactação, selamento superficial e redução da atividade edáfica, compatíveis com deposição de rejeitos finos de mineração.
Plantas espontâneas	Predominância de assa-peixe, tiririca, mamona, carqueja, carrapicho, picão, caruru e beldroega. Pouca variação entre períodos seco e chuvoso.	Colonização por espécies pioneiras tolerantes a solos degradados, indicando ausência de regeneração funcional do ambiente e perda de espécies forrageiras antes valorizadas.
Água (rio e consumo)	Cor alterada, cheiro de esgoto ou lama podre, aspecto fétido e odor de produto químico. Água para consumo doméstico avaliada com notas melhores.	Persistência de comprometimento da qualidade do rio, confirmada por monitoramentos oficiais (IGAM, 2024). A melhora no consumo reflete dependência de abastecimento externo, e não recuperação ambiental.
Peixes	Desaparecimento de surubim, pacamã, pacu, curimatã, corvina e mandi. Surgimento de pirambeba, tambaqui e tilápia. Seis famílias relatam ter deixado de pescar e de frequentar o rio.	Mudanças na composição da ictiofauna indicam desequilíbrio ecológico persistente. O abandono da pesca expressa ruptura alimentar, cultural e afetiva com o rio.
Saúde, Renda e Convivência	Desânimo, tristeza, ansiedade, problemas respiratórios e de pele, dor de cabeça. Perda de áreas de cultivo e pastagem, fontes de proteína e equipamentos danificados pelo rejeito. Redução da convivência por êxodo.	Sufrimento emocional e econômico articulados: a degradação ambiental incide diretamente nos modos de vida. Os impactos socioeconômicos e psicossociais não são secundários, mas estruturais ao processo de atingimento.

A quase ausência de minhocas nas áreas de cultivo é um indicador biológico de grande relevância. Esses organismos são considerados engenheiros do ecossistema, responsáveis pela aeração, ciclagem de nutrientes e estruturação do solo; sua presença ou ausência reflete, de forma integrada, as condições físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico (PRIMAVESI, 2016).

Esses resultados têm implicações diretas para as decisões produtivas das famílias. O solo degradado dificulta o plantio, reduz a produtividade e aumenta a insegurança quanto ao cultivo de alimentos para autoconsumo. Como registrou uma das atingidas: *"Agora eu preciso plantar. Este é meu terreno de feijão e milho. Será que posso plantar novamente?"* (M.A., 73 anos). A pergunta não é retórica, ela expressa a incerteza real que impede a retomada das práticas produtivas e compromete a soberania alimentar das famílias.

Qualidade das águas

Os etnoindicadores relacionados à qualidade da água do rio apresentaram notas baixas e estáveis ao longo dos três períodos (Figura 9), indicando ausência de melhora percebida pelas famílias. As anotações registram cor alterada, cheiro de esgoto, lama podre ou produto químico (Tabela 3).

Os monitoramentos oficiais corroboram a observação das famílias. Análises do IGAM (2024) identificaram, cinco anos após o rompimento, nove dos dezessete pontos monitorados na bacia ainda com concentrações elevadas de Mn, Cd, Al e Fe. A persistência desses contaminantes demonstra que o desastre permanece ambientalmente ativo, com processos de remobilização de sedimentos durante as cheias que espalham os rejeitos por novas áreas (De Salis et al., 2026).

Em contraste, a água para consumo doméstico recebeu notas levemente melhores, não porque a situação ambiental melhorou, mas porque as famílias passaram a depender de abastecimento externo, fornecido em parte pela empresa responsável pelo desastre. Esse deslocamento é ecológico e político. Como discutem Trovão et al. (2023), a substituição do acesso direto e autônomo ao rio por sistemas de abastecimento controlados externamente não restaura direitos: ela representa sua mediação e aprofunda a dependência e desloca a responsabilidade pela segurança hídrica das famílias para agentes externos. Portanto, não pode ser lida como indicador de recuperação; ao contrário, sinaliza uma transformação estrutural nas relações das famílias com a água, de autonomia para dependência induzida, já observado em outros contextos de mineração (SEPE; SALVADOR, 2018).

Jeanjean et al. (2022), em estudo sobre pesquisa participativa em saúde ambiental em zona industrial europeia, demonstraram que a integração de observações comunitárias no monitoramento ambiental revela dimensões do "socio-exposome", ou seja, das condições sociais e ambientais de exposição, que abordagens convencionais não alcançam. Aplicada ao contexto do estudo, essa perspectiva reforça que a observação das famílias sobre a água não é subjetiva ou irracional: ela expressa uma experiência real e contínua de exposição a riscos, cujas implicações para a saúde e os modos de vida são reais.

Qualidade das plantas:

Os etnoindicadores de qualidade das plantas, incluindo culturas agrícolas, vegetação espontânea, quintais e matas, apresentaram notas baixas e sem recuperação ao longo dos períodos avaliados (Figura 9). As famílias registraram o predomínio de espécies espontâneas como assa-peixe, tiririca, mamona, carrapicho e beldroega nas áreas atingidas, com pouca variação entre os períodos seco e chuvoso (Tabela 3). Lavouras de milho, feijão e pastagens foram descritas como improdutivas, com plantas "mirradas", amareladas e incapazes de completar o ciclo.

A interpretação que as famílias fazem desse quadro é agroecologicamente consistente: a planta é lida como síntese viva das condições do solo. O vigor, a coloração e o porte das culturas funcionam como indicadores integrados da fertilidade, da disponibilidade hídrica, da atividade microbiológica e da ausência de estresses químicos. Como expressou uma agricultora: "*A planta ensina se a terra é boa; se ela se desenvolve, a terra é boa*" (MA, 73 anos). Calixto, Pereira & Cardoso (2020) demonstraram que essa leitura etnopedológica produzida por agricultores familiares é capaz de estratificar a qualidade de ambientes agrícolas com precisão.

A estabilidade do predomínio dessas espécies entre os períodos seco e chuvoso é especialmente significativa. Em condições normais, a chegada das chuvas estimularia a regeneração da vegetação produtiva; o fato de isso não ocorrer indica que o ambiente perdeu sua capacidade de resposta às dinâmicas naturais. A mamona (*Ricinus communis*) e o assa-peixe (*Vernonanthura polyanthes*), mencionados de forma recorrente, são reconhecidos como indicadores ecológicos de solos compactados ou em processo de degradação (ANDREAZZA, 2011; FRAGA, 2020). Sua expansão nas áreas de cultivo e pastagem constitui, portanto, um sinal inequívoco de que a degradação ambiental persiste.

Esses resultados têm implicações diretas sobre a soberania alimentar das famílias. A redução da produção de milho, feijão, leite e carne aumenta a dependência de compras externas, fragiliza os sistemas de autoconsumo e compromete a renda. Para Thompson et al. (2019), em

contexto de monitoramento socioecológico baseado em conhecimento indígena, a articulação entre saberes locais e sistemas formais de monitoramento permite identificar esses processos de ruptura com muito mais sensibilidade e celeridade do que os protocolos técnicos convencionais. O mesmo princípio se aplica aqui: a caderneta captou, de forma sistematizada, uma degradação produtiva que os estudos e processos de reparação oficiais ainda não reconheceram adequadamente.

Qualidade dos peixes:

A categoria de qualidade dos peixes obteve as notas mais baixas entre todos os etnoindicadores avaliados (Figura 9), e as anotações qualitativas das famílias são especialmente reveladoras (Tabela 3). Seis das dez famílias que responderam a caderneta registraram que deixaram de pescar e de frequentar o rio. As espécies que desapareceram segundo os relatos (surubim, pacamã, pacu, curimatã, corvina e mandi) são justamente aquelas mencionadas nas entrevistas como as centrais para a alimentação e para as práticas culturais das comunidades. Em seu lugar, foram registrados o aparecimento de pirambeba, tambaqui e tilápia, além de um peixe prateado com escamas que ainda não identificado pelas famílias.

Esse deslocamento na composição da ictiofauna percebido e nomeado pelas famílias corroboram estudos científicos após o rompimento. Vergílio et al. (2020) identificaram acumulação de metais, Fe, Al e Mn nos tecidos musculares de peixes expostos às águas e sedimentos do rio Paraopeba, com 20% de mortalidade nos experimentos. Savassi et al. (2020) e análises do Projeto Brumadinho (UFMG) também identificaram metais acima dos limites permitidos para consumo humano em peixes capturados na região. Nesse contexto, o abandono da pesca pelas famílias não é apenas uma perda cultural, mas uma resposta racional a riscos concretos de contaminação alimentar (RUIZ et al., 2025).

A dimensão cultural da perda, entretanto, não pode ser reduzida à sua expressão econômica ou nutricional. A pesca no rio Paraopeba estruturava práticas de sociabilidade, transmissão de conhecimentos entre gerações, lazer e pertencimento territorial. *"Pescava desde os meus oito anos... hoje meus netos sonham em pescar, mas está proibido"* (AM, 50 anos, M). Essa fala expressa a interrupção de uma cadeia de saberes que, conforme Toledo e Barrera-Bassols (2015), constitui a memória biocultural das comunidades, um patrimônio coletivo que, uma vez rompido, não se reconstrói por simples recomposição física do ambiente.

Qualidade dos animais

Os etnoindicadores relacionados aos animais domésticos e silvestres também receberam notas baixas e estáveis (Figura 9). As anotações registram mortalidade de galinhas e bovinos, queda abrupta na produção de leite e relatos de recusa dos animais à água disponibilizada, descrita como tendo "*gosto diferente*" ou "*forte de cloro*" (Tabela 3). O comportamento dos animais funciona, nesses registros, como um bioindicador independente da qualidade ambiental: se os próprios rebanhos recusam a água, esse sinal tem peso diagnóstico próprio, que complementa e reforça as observações das famílias.

Análises do Projeto Brumadinho (UFMG) identificaram níveis elevados de diferentes elementos potencialmente tóxicos, acima dos limites permitidos, em animais domésticos e silvestres da região reforçando a gravidade dos riscos para a cadeia alimentar local (RUIZ et al., 2025). Stepenuck e Green (2015), em revisão da literatura sobre monitoramento ambiental voluntário, demonstraram que comunidades engajadas em observações contínuas do ambiente detectam mudanças ecológicas sutis e de longo prazo que escapam ao monitoramento técnico, exatamente o que se verifica neste estudo.

Saúde, Renda e Convivência

Os etnoindicadores socioeconômicos, saúde, renda e convivência, compõem a dimensão mais transversal do monitoramento. As anotações das famílias registram desânimo, tristeza, ansiedade, preocupação constante e problemas físicos como dores de cabeça e irritações respiratórias e de pele (Tabela 3). Registra-se também a perda de áreas de cultivo e pastagem, de fontes de proteína (peixe), de equipamentos danificados pelo rejeito e a redução da convivência comunitária em função do êxodo de famílias.

Esses impactos constituem o atingimento na dimensão vivida. Estudos indicam que 45,1% dos atingidos de Brumadinho relataram piora na saúde após o rompimento e 17,2% passaram a usar psicofármacos, especialmente antidepressivos (LOYOLA FILHO et al., 2022), que podem afetar de forma duradoura a vida das populações atingidas (FREITAS et al., 2019). O monitoramento participativo permite que esses processos sejam acompanhados no tempo, articulando dimensões de saúde ambiental e saúde coletiva de forma integrada.

Ao analisarem o impacto das cadernetas agroecológicas no Território Piemonte da Diamantina, Carvalho e Froes (2022) demonstraram que o registro sistemático de informações por agricultores familiares não apenas documenta perdas, mas fortalece a consciência coletiva, apoia processos organizativos e subsidia negociações por direitos. No caso desse estudo, o uso da caderneta assume essa função ampliada: ao nomear e registrar seus impactos, as

comunidades produzem evidências próprias que podem ser mobilizadas nos processos de reparação.

A redução da convivência e o êxodo de famílias registrados nas cadernetas são sinais preocupantes. A vida comunitária, os espaços de sociabilidade e as redes de solidariedade são dimensões que os processos formais de reparação frequentemente ignoram, mas que integram o que Casas (2024) denomina "a totalidade da vida nos territórios".

A caderneta como instrumento de monitoramento e produção de conhecimento

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo demonstrou viabilidade como instrumento de coleta sistemática de dados por famílias agricultoras em situação de atingimento. Dez famílias completaram os três ciclos de registro, produzindo dados consistentes e coerentes entre si, o que indica adesão ao método e capacidade de manutenção do monitoramento ao longo do tempo.

A articulação entre notas numéricas e anotações qualitativas revelou-se metodologicamente importante. As notas permitem comparações entre períodos e entre categorias; as anotações qualitativas revelam os processos, os contextos e os significados que os números não capturam. Essa complementaridade está alinhada ao que Gill e Lantz (2014) propuseram no contexto do mapeamento participativo de observações ambientais dos Gwich'in no Canadá: “o conhecimento local não se reduz a dados quantificáveis, mas inclui narrativas, memórias e interpretações que são epistemologicamente válidas e insubstituíveis”.

A consistência dos resultados entre os três períodos, com ausência de melhora identificada pelas famílias, constitui, em si mesma, um dado de monitoramento de alta relevância. O monitoramento local não depende da comparação com indicadores técnicos externos, mas de sua “coerência interna, de sua sensibilidade às mudanças territoriais e de sua ancoragem no conhecimento situado dos observadores” (VILLASEÑOR et al. 2020; DANIELSEN et al. 2021).

O uso da caderneta também produziu efeitos que vão além da coleta de dados. Ao registrar sistematicamente o que observam, as famílias fortalecem sua própria consciência sobre os impactos, organizam suas observações em linguagem comunicável e constroem evidências que podem ser mobilizadas nos espaços de reparação. Stepenuck e Green (2015) documentaram esses efeitos em nível individual e comunitário do monitoramento voluntário, incluindo aumento da autonomia, fortalecimento da identidade territorial e maior capacidade de incidência institucional. No contexto das famílias atingidas, esses efeitos têm muita importância, dado o histórico de exclusão dos processos decisórios de reparação.

CONCLUSÕES

As observações das famílias atingidas resultaram na definição de mais de 37 etnoindicadores de qualidade ambiental e social, organizados em seis categorias: Qualidade das Plantas, da Terra, das Águas, dos Peixes, dos Animais e da Saúde, Renda e Convivência, que abrangem as dimensões socioambientais e socioeconômicas do território. Esse conjunto identifica com sensibilidade as mudanças provocadas pelo rejeito, apontando impactos que os monitoramentos oficiais nem sempre conseguem capturar. Essa observação caracteriza a perda de autonomia sobre áreas de produção e o uso da água, inviabilidade do uso rio e consumo dos peixes, além da ruptura do convívio social e do lazer.

Nas entrevistas, as categorias da terra e das plantas destacaram-se pela riqueza descritiva. As famílias caracterizaram os solos afetados pelo rejeito como mais duro, compactado, empoeirado, trincado e de baixa infiltração, e as lavouras dessas áreas, sobretudo milho, feijão e pastagens, como "mirradas", amareladas e "caneludas", incapazes de completar o ciclo.

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo mostrou-se um instrumento viável de coleta sistemática de dados produzindo dados consistentes e comparáveis ao longo do tempo. O monitoramento participativo com a caderneta indicou que as categorias água e peixes apresentaram as menores notas de qualidade, sem melhora percebida ao longo do tempo. A água do rio foi descrita com cor alterada, cheiro de esgoto e de produto químico. A qualidade dos peixes foi crítica, ao ponto de seis das dez famílias deixarem de pescar e de frequentar o rio, além do fato de que espécies centrais para a alimentação e a cultura local tenham desaparecido.

Os resultados do monitoramento participativo revelam uma ruptura simultaneamente ecológica, alimentar e cultural provocada pelo comprometimento do rio Paraopeba após o rompimento da barragem de rejeitos da mineração.

O conhecimento das comunidades atingidas, sistematizado na forma de etnoindicadores e organizados pela caderneta, constitui instrumento legítimo de avaliação e monitoramento ambiental, cuja incorporação é indispensável a diagnósticos consistentes e a processos socialmente justos que efetivamente coloquem as famílias atingidas no centro do processo de reparação.

REFERÊNCIAS

- AEDAS – ASSOCIAÇÃO ESTADUAL DE DEFESA AMBIENTAL E SOCIAL. Sistematização de demandas emergenciais: Regiões 1 e 2 da Bacia do Rio Paraopeba. Minas Gerais, 2023.
- ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. *Revista Negra*, n. 16, pág. 22-32, 2012.
- ALTIERI, M. A. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 46, n. 1-4, p. 257-272, 1993.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. Costa Rica, v. 64, p. 17-24, 2002.
- ANDREAZZA, R. Fitorremediação de áreas contaminadas com cobre utilizando plantas de mamona. 2011.
- ANJOS, A. R. M. dos; REISSMANN, C. B. Influência dos resíduos da mineração do xisto no crescimento e no teor foliar de Cd, Co e Cr em plantas de aveia preta. *Ciência Rural*, v. 26, n. 1, p. 75-79, 1996.
- ARAÚJO, A. L. de.; ALVES, Â. G. C.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. Etnopedologia: uma abordagem das etnociências sobre as relações entre as sociedades e os solos. *Ciência Rural*, 43(5), 854–860. 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000500016>>. Acesso em 19 dez 2024.
- ARAÚJO, K. F. M.; COSTA, L. F.; GONÇALVES, A. L. Impactos psicossociais dos desastres da mineração em Mariana e Brumadinho: uma revisão integrativa. *Psicologia e Saúde em Debate*, v. 8, n. 1, p. 221–237, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22289/2446-922X.V8N1A13>
- ARRUDA JUNIOR, P. Vozes amordaçadas: um estudo da participação popular pós acidente minerário de Brumadinho/MG sob a ótica habermasiana. In: CONGRESSO IBÉRICO DE DIREITOS HUMANOS (CIDH Coimbra), 8., 2023, Coimbra. *Anais de Resumos do VIII CIDH Coimbra 2023*. Coimbra, 2023.
- AUDEH, S. J. S.; LIMA, A. C. R. de; CARDOSO, I. M.; JUCKSCH, I.; CASALINHO, H. D. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 6, n. 3, p. 34-48, 2011.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo. Edições 70. 288p. 2011.

- BARREIROS, L. I. D. L. R.; CASTILHOS, Z. C.; CESAR, R. G. Rejeitos de mineração liberados a partir de ruptura de barragem em Brumadinho: efeitos tóxicos em minhocas. 2024.
- BARRERA-BASSOLS, N., ZINCK, J.A. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma* 111, 171–195. 2003.
- BARRIOS, E.; DELVE, R. J. & BEKUNDA, M. Indicators of soil quality: A South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*, v.135, p.248–259, 2006.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The nature and properties of soils. 14. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2013.
- BUCH, A. C.; SIMS, D. B.; CORREIA, M. E. F.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. V. Preliminary assessment of potential pollution risks in soils: case study of the Córrego do Feijão Mine dam failure (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, p. 1-21, 2023.
- CALIXTO, J. S. De palmo em palmo a terra muda de jeito: diálogos sobre qualidade do solo. 2015. 158 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- CALIXTO, J. S.; PEREIRA, R. G. T.; CARDOSO, I. M. Estratificação de ambientes com base em etnoindicadores. *Cadernos de Agroecologia*, v. 15, n. 1, 2020.
- CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; SILVEIRA, C. B.; GATIBONI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; et al. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. Agroecologia: matriz disciplinar ou novo paradigma para o desenvolvimento rural sustentável. In: 3rd Congresso Brasileiro de Agroecologia, Florianópolis, Brasil, Anais: CBA. 2006.
- CARVALHO, L., & FROES, L. Cadernetas agroecológicas e seus impactos na economia de agricultura familiar do Território Piemonte da Diamantina: a experiência da COFASPI: Agroecological booklets and its impacts on the economy of family-based agriculture in the Piemonte Diamantina Territory: the COFASPI experience. *Revista Macambira*, v. 6, n. 1, p. 1-19, 2022.
- CASAS, N. A. C. “Resistir e construir história”: etnoindicadores e indicadores de avaliação dos impactos do rompimento da barragem do Fundão em agroecossistemas na bacia do rio

- Doce. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.
- CASAS, N. A., CARDOSO, I. M., JESUS, T. M., & GUARÇONI, T. Etnoindicadores de qualidade ambiental: a importância do conhecimento local na avaliação dos efeitos dos rejeitos do rompimento da barragem de Fundão. *Cadernos de Agroecologia*, 19(1). 2024.
- CASTRO, A. A.; RODRIGUES C., C.; OLIVEIRA, J. C. A. de; CARLOS VIEIRA, L. O direito à Reparação Integral na bacia do Rio Paraopeba: uma crítica ao modelo racista e cisheteropatriarcal de mineração. *Revista Periódicus*, v. 1, n. 19, p. 170–193, 2023. DOI: <https://doi.org/10.9771/peri.v1i19.53012>
- CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. CBH do Rio Paraopeba (SF3) – Minas Gerais. 2020. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/comites-de-afluentes/cbh-do-rio-paraopeba-sf3-minas-gerais/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- COSTA, AG, BORGES, Á. M., & SOTO-BLANCO, B. Metais tóxicos e seus efeitos sobre a reprodução dos animais. Revisão de Literatura. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal: RBHSA*, v. 1, pág. 108-124, 2020.
- COSTA, S. Â. D.; KER, J. C.; SIMÕES, D. F. D. F.; FONTES, M. P. F.; FABRIS, J. D.; ANDRADE, F. V. Pedogênese e classificação de Latossolos desenvolvidos de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero, MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 2, p. 359-371, 2014.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. Atlas Geoquímico da Bacia do Rio São Francisco. Brasília: CPRM, 2019.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba. Relatórios I, II, III e IV. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/sace/index_rio_paraopeba.php
- DANIELSEN, F., EICKEN, H., FUNDER, M., JOHNSON, N., LEE, O., THEILADE, I., ARGYRIOU, D., & BURGESS, N. Community monitoring of natural resource systems and the environment. *Annual review of environment and resources*, v. 47, n. 1, p. 637-670, 2022. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-022325>.
- DANIELSEN, F., POULSEN, M., FUNDER, M., JENSEN, P., & BURGESS, N. The concept, practice, application, and results of locally based monitoring of the environment. *BioScience*, v. 71, n. 5, p. 484-502, 2021. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab021>.
- DE ANDRADE COSTA, R. G. Os saberes populares da etnociência no ensino das ciências naturais: uma proposta didática para aprendizagem significativa. *Revista Didática Sistêmica*, v. 8, p. 162-172, 2008.

- DE OLIVEIRA, R. M.; DE LUANDA LOPES, I.; CRUZ, N. A. C.; CARDOSO, I. M. Quintais da agricultura familiar: relíquias do passado, pérolas do presente, tesouros do futuro. In: RODY, T; TELLES, L. (orgs.). Caderneta agroecológica: o saber e o fazer das mulheres do campo, das florestas e das águas. Viçosa, MG: Editora Asa Pequena, 2021. p. 166-185. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/bitstream/123456789/395/1/Texto%20completo.pdf>
- DE SALIS, H. H. C.; CHUMBINHO, A. L.; STOPA, I. P.; FONTES, M. A. Monitoramento da remobilização de rejeitos após o rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho: impactos de cheias extremas avaliados por sensoriamento remoto. Remote Sensing Applications, 101898, 2026.
- DUARTE, E. B.; NEVES, M. A.; DE OLIVEIRA, F. B. Main chemical and mineralogical components of the Rio Doce sediments and the iron ore tailing from the Fundão Dam disaster, Southeastern Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v. 195, n. 4, p. 456, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11087-y>.
- DUQUE-BRASIL, R. Etnobotânica: Reflexões sobre conceitos e métodos de pesquisa. ETNOIKOS – Grupo de Estudos Transdisciplinares em Etnoecologia Universidade Federal de Viçosa. 2010.
- ESCOBAR, A. O lugar da natureza e a natureza do lugar: globalização ou pós-desenvolvimento? In: LANDER, E. (org.). A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Buenos Aires: CLACSO, 2005. p. 133-168.
- FRAGA, L.S. Assa-Peixe - *Vernonanthura polyanthes* (Sprengel) Vega & Dematteis. 2020. Disponível em: <https://www.ufmg.br/mhnpj/ceplamt/plantadomes/setembro-de-2020/>. Acesso em 20 de julho de 2024.
- FREIRE, N., PACHECO, A., & QUEIROZ, V. Uma abordagem metodológica de Sensoriamento Remoto para o monitoramento da contaminação do rio Paraopeba pós-desastre de Brumadinho-MG. Ciência e Natura, 43, e36. 2021. <https://doi.org/10.5902/2179460x43632>.
- FREIRE, P. A importância do ato de ler: em três artigos que se completam. 23. ed. São Paulo: Autores Associados: Cortez, 1989.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Metais pesados são encontrados no Rio Paraopeba. São Paulo. 2019. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/noticias/metais-pesados-sao-encontrados-rio-paraopeba/>
- G1. MINAS- BRUMADINHO: acordo socioambiental feito sem participação de atingidos completa três anos. g1, Minas Gerais, 19 jan. 2024. Disponível em:

<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2024/01/19/brumadinho-acordo-socioambiental-feito-sem-participacao-de-atingidos-completa-tres-anos.ghtml>. Acesso em: 20 jun. 2026.

- GAETA, N. C. Avaliação de bovinos expostos a alta concentração de metais pesados e sua relação com a mudança da microbiota intestinal, ruminal e respiratória e o desenvolvimento de resistência a antimicrobianos. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- GARCIA, B. N. R., VIEIRA, T. A., & OLIVEIRA, F. D. A. Quintais agroflorestais e segurança alimentar em uma comunidade rural na Amazônia Oriental. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114. 2015.
- GILL, H., LANTZ, T.. A community-based approach to mapping Gwich'in observations of environmental changes in the lower Peel river watershed, NT. *Journal of Ethnobiology*, v. 34, n. 3, p. 294-314, 2014. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.3.294>.
- GOULART, P. W.; SILVA, C. C. D.; SILVA, M. C. S. D.; PRADO, I. G. O. Diversidade microbiana e indicadores microbiológicos de solo afetada pelo derramamento de rejeito de mineração proveniente do rompimento da barragem B1 em Brumadinho, Minas Gerais. 2024.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Boletim de monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio Paraopeba. Belo Horizonte, 2024.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Relatório de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba após o rompimento da barragem em Brumadinho. Belo Horizonte, 2019.
- JEANJEAN, M., DRON, J., ALLEN, B., GRAMAGLIA, C., AUSTRUY, A., LEES, J., FERRIER, Y., PÉRIOT, M., DOTSON, M., CHAMARET, P. & COHEN, A. Participatory environmental health research: A tool to explore the socio-exposome in a major European industrial zone. *Environmental Research*, v. 218, p. 114865, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114865>.
- KOIFMAN, G. T.; CASTILHOS, Z. C.; CESAR, R. G. Risco ecológico terrestre após o rompimento da Barragem I de mineração de ferro em Brumadinho (MG, Brasil). 2023.
- LADIO, A. H. Ethnobiology and research on Global Environmental Change: what distinctive contribution can we make? *Ethnobiology and Conservation*, v. 6, 2017.
- LAUREANO, F. V., KWITKO-RIBEIRO, R., GUIMARÃES, L., & LEÃO, L. P. Mineralogical fingerprint of iron ore tailings in Paraopeba River bedload sediments after the B1 dam failure in Brumadinho, MG (Brazil). *Minerals*, v. 12, n. 6, p. 716, 2022.

- LINS, C. E. de L.; MAIA, L. C.; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO, E. V. de S. B. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit em solos de caatinga sob impacto de mineração de cobre. *Revista Árvore*, v. 31, p. 355-363, 2007.
- LOYOLA FILHO, Antônio Ignácio de et al. Uso de psicofármacos por população em área atingida pelo rompimento de barragem de rejeitos: Projeto Saúde Brumadinho. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, São Paulo, v. 25, e220012, 2022.
- MELO, T. L. D., & GUIMARÃES, L. D. O. Vale tudo: As estratégias de atuação da Vale após o desastre-crime da barragem de Córrego do Feijão. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 24, p. eRAMD230045, 2023.
- MINAS GERAIS. Relatório oficial de acompanhamento ambiental da bacia do rio Paraopeba após o rompimento da barragem em Brumadinho. Belo Horizonte, 2019.
- MORAIS, T. C. A cultura da gente, não está ali: desterritorialização e o bem-estar animal na evacuação da fauna de comunidades rurais em torno de barragens de rejeitos de mineração em Minas Gerais. 2022. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.
- MOTA, P. J., ALONZO, H. G. A., ANDRÉ, L. C., CÂMARA, V. D. M., CAMPOLINA, D., SANTOS, A. D. S. E., FRÓES-ASMUS, C. I. R., PEIXOTO, S. V. Prevalência dos níveis de metais acima dos valores de referência em município atingido pelo rompimento de barragem de rejeitos da mineração: Projeto Saúde Brumadinho. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 25, e220014. 2022.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. Mobilização 1: Região 3 da Bacia do Rio Paraopeba. Minas Gerais, 2022. Disponível em: <<https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Mobilizacao-1.pdf>>.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. Mobilização 4: Região 3 da Bacia do Rio Paraopeba. Minas Gerais, 2022. Disponível em: <<https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Mobilizacao-4.pdf>>.
- NACAB – Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens. Mobilização 5: Região 3 da Bacia do Rio Paraopeba. Minas Gerais, 2022. Disponível em: <<https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Mobilizacao-5.pdf>>.
- NACAB – NÚCLEO DE ASSESSORIA ÀS COMUNIDADES ATINGIDAS POR BARRAGENS. Levantamento de demandas relacionadas ao acesso à água nas comunidades atingidas da Região 3 da bacia do Paraopeba. Minas Gerais, 2022.
- NACAB. Trabalho e Renda. Boletim da Assessoria Técnica Independente Região 3: Consequências do rompimento da barragem da Vale na vida de trabalhadores e

- trabalhadoras da região 3 da bacia do Paraopeba. Vol. 1, n. 4, Viçosa, MG; 2021. Disponível em: <https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Mobilizacao-4.pdf>
- OLÍDIA, C.; COSTA, B. L.; CARDOSO, I. M.; LOPES, I. S. As mulheres na construção do conhecimento agroecológico. *Cadernos de Agroecologia*, 2024.
- OLIVEIRA, L. F. *Quadrilátero Ferrífero, psicologia e os desastres de rompimentos de barragens de rejeitos em Minas Gerais*. 2024.
- OLIVEIRA, R. M. *Quintais agroecológicos: biodiversidade, manejo e qualidade do solo*. Tese (Doutorado) – UFV, 2019.
- PARENTE, C. E., LINO, A. S., CARVALHO, G. O., PIZZOCHERO, A. C., AZEVEDO-SILVA, C. E., FREITAS, M. O., TEIXEIRA, C., MOURA, R. L., FERREIRA FILHO, V. J. M., MALM, O. First year after the Brumadinho tailings' dam collapse: spatial and seasonal variation of trace elements in sediments, fishes and macrophytes from the Paraopeba River, Brazil. *Environmental Research*, v. 193, p. 110526, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110526>.
- PEIXOTO, P. V. L.; ANDRADE, Í. B. L. de; SALES, B. C. P.; PEREIRA, L. C. Rupture of Brumadinho dam (Minas Gerais, Brazil): embryotoxicity in zebrafish induced by metal mixture-contaminated water. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 57, n. 6, p. 479-488, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2064675>.
- POLÍCIA FEDERAL. *Laudo da Perícia Criminal Federal n.º 1639/2019 – Danos à fauna decorrentes do rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, Brumadinho/MG*. Brasília, 2019.
- POLIGNANO, M. V. & LEMOS, R. S. Rompimento da barragem da Vale em Brumadinho: impactos socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba. *Ciência e Cultura*, v. 72, n. 2, p. 37-43, 2020.
- PORTO, M. F. de S. Complexidade, processos de vulnerabilização e justiça ambiental: um ensaio de epistemologia política. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, n. 93, p. 31-58, 2011.
- PORTO, M. F.; PORTO, P. S. de S. Conflitos por água no Brasil e a Defesa dos Comuns: uma leitura a partir da ecologia política e da experiência do mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde. *Conexão Água*, v. 3, 2016.
- PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo*. São Paulo: Nobel, 2016.
- PRIMAVESI, A. *Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio*. São Paulo: Expressão Popular, v. 40, 2016.

- PROJETO MANUELZÃO (UFMG). Estudo aponta presença de metais pesados no rio Paraopeba. Belo Horizonte: Projeto Manuelzão, 24 mar. 2022. Disponível em: <https://manuelzao.ufmg.br/estudo-aponta-presenca-de-metais-pesados-no-rio-paraopeba/>. Acesso em: 28 set. 2025.
- RAFFESTIN, C. Por uma geografia do poder. São Paulo: Ática, 1993.
- RAMOS, A. M., VICTRAL, D. M., & REZENDE, S. Participação e controle social em saneamento no contexto da reparação de danos dos desastres em Mariana e Brumadinho, Minas Gerais, Brasil. *Revista brasileira de estudos urbanos e regionais*, v. 25, p. e202314pt, 2023.
- RIDOLFI, A. R. C.; MALTA, R. A.; ASSIS PINTO, R. B.; ALMEIDA, M. B. Riscos na produção de alimentos após o rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho-MG. *Cadernos de Agroecologia*, v. 19, n. 1, 2024.
- ROQUE, M. P. B., FERREIRA NETO, J. A., DA CRUZ VIEIRA, W., ROCHA, B. D., & CALEGARIO, A. T. Social vulnerability to environmental disasters in the Paraopeba River Basin, Minas Gerais, Brazil. *Natural Hazards*, v. 118, n. 2, p. 1191-1210, 2023.
- RUIZ, R. M.; LARA, F. T.; LEAL, C. A. G.; WINDMOLLER, C. C.; OLIVEIRA, C. V.; MACIEL, J. Resumo das apresentações de resultados do Projeto Brumadinho-UFMG. Belo Horizonte: Projeto Brumadinho-UFMG, 2025. Disponível em: Documento PDF. Acesso em: 19 maio 2026.
- SANTOS, M. A. de L.; SOL, N. A. A.; MODENA, C. M. Território e desterritorialização: o sofrimento social por desastre ambiental decorrente do rompimento de barragens de mineração. *Saúde em Debate*, Rio de Janeiro, v. 44, p. 262-271, 2021.
- SAVASSI, L.A., PASCHOALINI, A.L., ARANTES, F.P. et al. Heavy metal contamination in a highly consumed Brazilian fish: immunohistochemical and histopathological assessments. *Environmental monitoring and assessment*, v. 192, n. 8, p. 542, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08515-8>
- SEPE, J.; SALVADOR, N. N. B. Impactos da mineração e conflitos pelo uso da água com as atividades agrícolas de pequeno porte. *Nupedor*, v. 5, n. 1, p. 49-66, 2018. Disponível em: https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor_2018/5/6_Josie_Sepe.pdf.
- SIQUEIRA, D., CESAR, R., LOURENÇO, R., SALOMÃO, A., MARQUES, M., POLIVANOV, H., TEIXEIRA, M., VEZZONE, M., SANTOS, D., KOIFMAN, G., RIBEIRO, Y., RODRIGUES, A., ALEXANDRE, K., CARNEIRO, M., BERTOLINO, L., FERNANDES, N., DOMINGOS, L. E CASTILHOS, Z. Terrestrial and aquatic ecotoxicity of iron ore tailings after the failure of VALE SA mining dam in Brumadinho (Brazil).

- Journal of Geochemical Exploration, v. 235, p. 106954, 2022. doi: 10.1016/j.gexplo.2022.106954.
- SOSA, M., BOELEN, R. & ZWARTEVEEN, M. The influence of large mining: Restructuring water rights among rural communities in Apurimac, Peru. *Human Organization*, v. 76, n. 3, p. 215-226, 2017. doi: 10.17730/0018-7259.76.3.215.
- SOUZA, T. da S.; BARONE, L. da S. F.; LACERDA, D.; VERGILIO, C. dos S.; OLIVEIRA, B. C. V. de; ALMEIDA, M. G. de; THOMPSON, F.; REZENDE, C. E. de. Cytogenotoxicity of the water and sediment of the Paraopeba River immediately after the iron ore mining dam disaster (Bromadinho, Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 775, p. 145193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145193>.
- STEPENUCK, K., & GREEN, L. Individual-and community-level impacts of volunteer environmental monitoring: a synthesis of peer-reviewed literature. *Ecology and society*, v. 20, n. 3, 2015. <https://doi.org/10.5751/es-07329-200319>.
- STF - SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. Bromadinho: acordo entre Vale e Minas Gerais para reparar danos do desastre é questionado no STF. Brasília, DF, 11 fev. 2021. Disponível em: <https://portal.stf.jus.br/noticias/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=460378>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- STRACHULSKI, J. Etnociências e teoria da complexidade: aproximando referenciais para compreender os conhecimentos tradicionais. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 10, p. 1-10, 2017.
- TERAMOTO, E. H.; GEMEINER, H.; ZANATTA, M. B. T.; MENEGÁRIO, A. A.; CHANG, H. K. Metal speciation of the Paraopeba river after the Bromadinho dam failure. *Science of the Total Environment*, v. 757, p. 143917, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143917.
- THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- THOMPSON, F.; OLIVEIRA, B. C. de; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P.a; PAZ, P.; FREITAS, T.; LOPES, G.; SILVA, B. S.; CABRAL, A. S.; SOARES, M.; LACERDA, D.; VERGILIO, C. dos S. et al. Severe impacts of the Bromadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of The Total Environment*, v. 705, p. 135914, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.
- THOMPSON, K., REECE, N., ROBINSON, N., FISHER, H., BAN, N., & PICARD, C. “We monitor by living here”: community-driven actualization of a social-ecological monitoring program based in the knowledge of Indigenous harvesters. *Facets*, v. 4, n. 1, p. 293-314, 2019. <https://doi.org/10.1139/facets-2019-0006>.

- TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N. A memória biocultural: a importância ecológica das sabedorias tradicionais. Editora Expressão Popular, 2015.
- TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Barcelona: Icaria Editorial, 232 p.2008.
- TROVÃO, N.; NEVES-SILVA, P.; PINHEIRO, L. C.; PEIXOTO, S. V.; HELLER, L. Alterações no acesso à água e na incidência de doenças de veiculação hídrica após o rompimento da barragem da Vale em Brumadinho (MG). *Revista Brasileira de Epidemiologia*, São Paulo, v. 26, e230010, 2023.
- UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Relatório técnico sobre abastecimento hídrico e medidas reparatórias em comunidades atingidas da bacia do Paraopeba. Belo Horizonte, 2023.
- VERGÍLIO, C., LACERDA, D., OLIVEIRA, B., SARTORI, É., CAMPOS, G., DE SOUZA PEREIRA, A., DE AGUIAR, D., DA SILVA SOUZA, T., ALMEIDA, M., THOMPSON, F., & REZENDE, C. Concentrações metálicas e efeitos biológicos de um dos maiores desastres de mineração no mundo (Brumadinho, Minas Gerais, Brasil). *Relatórios Científicos*, 10. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>.
- VILLASEÑOR, E., PORTER-BOLLAND, L., ESCOBAR-SARRIA, F., RÖS, M., DZUL, A., LÓPEZ, S., & DÍAZ, A. Selection of indicators as a tool for negotiating objectives and evaluating targets within participatory monitoring. *Sustainability Science*, 15, 1051-1065. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00795-w>.
- ZANELLI, F. V. Educação do campo e territorialização de saberes: Contribuições dos intercâmbios agroecológicos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Educação. 146 f. Viçosa, 2015.
- ZHOURI, A. Mineração, violência e resistências: um campo aberto à produção de conhecimento no Brasil. *La Región Andina: desarrollo sostenible con desigualdad*, p. 69, Marabá: Editorial iGuana, 2018.
- ZHOURI, A.; VALENCIO, N.; OLIVEIRA, R.; ZUCARELLI, M.; LASCHEFSKI, K.; SANTOS, A. F. (2016). "O desastre da Samarco e a política das afetações: classificações e ações que produzem o sofrimento social". *Ciência e Cultura*, v.68, n.3, p.36-40. DOI: 10.21800/2317-66602016000300012.

MARCAS DO REJEITO NA TERRA: ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO SOLO APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO

Resumo

O rompimento da barragem B1 da Vale S.A. em 2019, em Brumadinho (MG), provocou a deposição de grandes volumes de rejeitos ao longo do rio Paraopeba, afetando propriedades rurais e alterando profundamente a estrutura e a qualidade dos solos. Este estudo avaliou propriedades físicas, químicas e concentrações de elementos potencialmente tóxicos (EPT) em solos de áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pelo rejeito remobilizado nas cheias de 2021/2022, em onze propriedades da agricultura familiar nos municípios de Florestal, Pará de Minas e Esmeraldas. O delineamento experimental adotado foi o em blocos casualizados de modelo fixo, com dois tratamentos (AF e NA) e onze blocos. Os solos afetados pela deposição de sedimentos das enchentes apresentaram textura mais fina, com maior teor de silte e menor de areia, maior porosidade total e densidade de partículas, e redução da condutividade hidráulica. Quimicamente os solos afetados apresentaram menor acidez e teores mais elevados de Ni, Cr, Zn, V, Co, Fe, Mn e Cd, evidenciando o *input* de metais pelo rejeito. A resistência mecânica do solo à penetração revelou compactação progressiva em subsuperfície nas áreas afetadas. Os resultados demonstram que o desastre modificou componentes físicos e químicos do solo, com implicações na funcionalidade ecológica, segurança alimentar e na recuperação ambiental.

Palavras-chave: contaminação ambiental; metais pesados; física do solo; rejeito de mineração; rio Paraopeba.

INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem B1 da Mina Córrego do Feijão, de responsabilidade da Vale S.A., localizada em Brumadinho (2019), despejou aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos que percorreram mais de 300 km ao longo do rio Paraopeba, importante afluente do rio São Francisco (PEREIRA et al., 2019; IGAM, 2023), causando danos aos ecossistemas da bacia (VERGÍLIO et al., 2020). A remobilização do rejeito depositados no fundo da calha dos rios durante as cheias de 2022 agravou os impactos, espalhando material contaminado para áreas de várzea e atingindo propriedades que não haviam sido diretamente afetadas pela avalanche de rejeito de 2019, comprometendo ainda mais a qualidade do solo de muitos agricultores (MENDES et al., 2022; DE SALIS et al., 2026).

A qualidade do solo é definida como sua capacidade de exercer funções essenciais aos sistemas naturais e produtivos, como suporte às plantas, disponibilidade hídrica e ciclagem de nutrientes (DORAN; PARKIN, 1994; DORAN; SARRANTONIO; LIEBIG, 1996; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). Alterações em propriedades físicas e químicas, como densidade, porosidade, textura, pH, CTC e teor de nutrientes, podem comprometer essas funções (DORAN; PARKIN, 1996). As áreas conhecidas como baixadas, historicamente valorizadas por sua maior fertilidade natural e por serem áreas estratégicas na produção de alimentos das famílias agricultoras, receberam nos eventos do rompimento e das cheias grande volume de rejeito misturado a sedimentos, com consequências ainda pouco estudadas para a qualidade do solo.

Diversos elementos-traço, como Fe, Mn, Cr, Ni, Zn e Co, foram detectados em solos e sedimentos afetados na bacia do rio Paraopeba, com concentrações que excederam valores de referência ambiental (TERAMOTO et al., 2021; SIQUEIRA et al., 2022; PACHECO et al., 2023). Embora ocorram naturalmente em regiões ferruginosas, esses elementos exibem maior mobilidade quando ligados às fases amorfas de óxidos de Fe e Mn presentes nos rejeitos (SUDA; MAKINO, 2016; ZHENG et al., 2024).

Embora estudos tenham apontado a presença de EPT no solo logo após rompimentos, o efeito do rejeito sobre a qualidade do solo a posteriori ainda foi pouco avaliado, especialmente após as cheias que provocaram sua remobilização. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar as propriedades físicas, químicas e as concentrações de EPT em solos de áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pelas cheias do rio Paraopeba, em propriedades da agricultura familiar nos municípios de Florestal, Pará de Minas e Esmeraldas, buscando identificar as alterações percebidas pelas comunidades atingidas e subsidiar decisões sobre o uso seguro desses agroecossistemas.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo e amostragem

O estudo foi realizado na região média da bacia do rio Paraopeba, nos municípios de Florestal, Pará de Minas e Esmeraldas, em Minas Gerais. Com área total aproximada de 12.054 km², esta bacia nasce no município de Cristiano Ottoni, finalizando na represa de Três Marias depois de atravessar 48 municípios mineiros (CPRM, 2019; CBHSF, 2020). A bacia abriga a sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão que, em 2019, recebeu a avalanche de rejeitos proveniente das barragens B-I, B-IV e B-IVA da Mina Córrego do Feijão, da Vale S.A., localizadas em Brumadinho. O rejeito atingiu o leito do rio Paraopeba 10 km à jusante da barragem em 2019, mas as chuvas intensas de janeiro de 2022 remobilizaram os rejeitos previamente depositados no leito e nas margens, transportando-os para áreas de várzea de propriedades rurais que não haviam sido diretamente atingidas pela avalanche do rompimento inicial (DE SALIS et al., 2026).

A região apresenta clima temperado úmido com invernos secos e verões quentes (Köppen Cwa). O relevo é composto por planaltos, depressões e áreas dissecadas, com altitudes entre 650 e 1.544 m nas cabeceiras (DURÃES, 2010). As formações rochosas, datadas do Proterozóico Superior e Arqueano, incluem calcários da Formação Sete Lagoas, granitos e gnaisses dos Complexos Belo Horizonte e Bonfim, bem como unidades sedimentares dos Supergrupos Minas e Rio das Velhas (CPRM, 2019; ALKMIM, 2004), que condicionam as características geoquímicas dos solos e a hidrologia da bacia. As classes de solos dominantes são Cambissolos Háplicos Tb distróficos (CXbd22) e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd8), segundo o Mapa de Solos de Minas Gerais.

Amostragem do solo

As coletas de solo foram realizadas em onze propriedades de agricultura familiar, nos municípios previamente indicados, entre fevereiro e abril de 2024, com a colaboração dos/as agricultores/as. As coletas foram realizadas em áreas agrícolas. Todas as onze propriedades que tiveram coletas de solo integram o conjunto daquelas entrevistadas no Capítulo 1.

As amostras de solo afetado (AF) foram coletadas nas áreas de baixada próximas ao rio, cobertas por camada de sedimentos misturados ao rejeito depositados pelas cheias de 2022, com espessura variável de até aproximadamente 30 cm. As amostras de solo não afetado (NA) foram coletadas em áreas laterais próximas ou nas encostas das mesmas propriedades, em solos intemperizados, a maioria utilizados com pastagens, que não foram atingidos pelas cheias. Reconhece-se como limitação do desenho amostral a ausência de áreas de várzea não

impactadas, assim, portanto, as diferenças entre AF e NA refletem tanto o efeito do rejeito quanto da eventual distinção entre solos de várzea e da transição entre várzea e encosta.

Em cada unidade familiar e para cada condição (AF e NA) foram coletadas três amostras compostas na camada de 0–20 cm, distantes três a cinco metros entre si, de acordo com o tamanho da área. Cada amostra composta foi o resultado de seis amostras simples, uma central e cinco radiais coletadas a um metro de distância. Amostras indeformadas também foram coletadas no mesmo ponto central de cada amostra composta, para a determinação de atributos físicos. Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas para análise laboratorial.

Para preservar o anonimato, os nomes dos atingidos foram substituídos por siglas formadas pelas iniciais, idade e seguidas da indicação de gênero, p. ex. (MO, 36 anos, F).

Análises químicas do solo

As amostras compostas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Para a determinação de P, K, Fe, Zn e Mn disponíveis utilizou-se o extrator Mehlich-1. A acidez potencial (H^+Al) foi obtida com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 7. Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram determinados com extrator KCl 1 mol L^{-1} . A matéria orgânica foi calculada utilizando o teor de carbono orgânico (método de Walkley-Black) pelo fator 1,724. O nitrogênio total foi obtido por digestão sulfúrica, destilação Kjeldahl e titulação com H_2SO_4 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (BREMNER & MULVANEY, 1982). O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado conforme Álvarez et al. (2000). A partir dos resultados, foram calculados a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (t) e total (T), a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m).

Para a determinação dos teores totais de elementos potencialmente tóxicos (EPT), as amostras foram maceradas em almofariz de ágata e passadas em peneira de $200 \mu\text{m}$. Aproximadamente 0,1 a 0,2 g de solo foram fundidos com 0,9 a 1,0 g de metaborato de lítio ($LiBO_2$) em cadinhos de grafite, em forno mufla a $950\text{--}1.000^\circ\text{C}$ por 15 a 20 minutos, até formação de fundido vítreo homogêneo, conforme método adaptado de Guerra et al. (2013). O fundido foi solubilizado em solução de ácido nítrico diluído. Os teores totais de As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn foram quantificados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, Thermo Scientific iCAP 7000 Series). Brancos analíticos em triplicata foram preparados para controle de qualidade, e todos os materiais foram previamente lavados com HNO_3 e enxaguados com água ultrapura. A curva de calibração foi preparada na mesma matriz da digestão e o controle de qualidade realizado com a amostra

certificada San Joaquin Soil (NIST SRM 2709a). Ressalta-se que o As e o Pb, por serem elementos voláteis nas condições de temperatura da fusão alcalina (950 a 1.000 °C), assim como o Cd, também parcialmente volátil nessas condições, podem apresentar seus teores subestimados.

Por se tratar de teores totais obtidos por fusão alcalina, os resultados não foram comparados aos valores orientadores da legislação ambiental CONAMA 420/2009 e COPAM 166/2011, (BRASIL, 2009; MINAS GERAIS, 2011). A interpretação foi, portanto, efetuada considerando a comparação entre áreas afetadas e não afetadas, e com a literatura sobre rejeitos de mineração de ferro. No primeiro caso, a comparação considerou o Fator de Contaminação (CF), calculado pela razão entre o teor do elemento químico encontrado em cada amostra e a média dos teores obtidos para o mesmo elemento nos solos não afetados. Os valores de Fator de Contaminação foram classificados como baixo (< 1), moderado (1-3), considerável (3-6) e alto (> 6), conforme proposta de Hakanson (1980). A opção pelo FC como valor de referência justifica-se pelo método analítico utilizado e por utilizar a mesma matriz analítica e isolar o efeito do rejeito do fundo geoquímico regional.

A partir dos valores de CF obtidos para cada ponto amostral, calculou-se o Índice de Carga de Poluição (PLI), proposto originalmente por Tomlinson et al. (1980). O índice foi obtido por meio da média geométrica dos fatores de contaminação, seguindo a equação:

$$PLI = (CF1 \times CF2 \times CF3 \times CF... \times CFn)^{1/n},$$

onde (n) corresponde ao número total de elementos químicos avaliados incorporados ao índice.

Para o cálculo do PLI, foram selecionados os Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) mensurados de forma estável no processo de fusão (As, Pb, Cd, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, V e Zn). Os valores finais de PLI calculados para cada ponto de amostragem foram interpretados e classificados de acordo com os seguintes critérios geoquímicos estabelecidos na literatura:

- a) $PLI \leq 1$: indica ausência de poluição progressiva antrópica, com teores acumulados equivalentes ou inferiores ao nível basal do solo de referência (não afetado).
- b) $PLI > 1$: indica a existência de poluição progressiva da matriz do solo e deterioração da qualidade ambiental decorrente do impacto do rejeito de mineração.

Análises físicas do solo

As análises físicas foram realizadas conforme Embrapa (2017), a partir da determinação da granulometria, argila dispersa em água (ADA), densidade do solo (D_s) e de partículas (D_p), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), resistência mecânica à penetração (RP) e condutividade hidráulica saturada (K_0). A granulometria e a ADA foram determinadas pelo método da pipeta, baseado na Lei de Stokes. A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico. A condutividade hidráulica saturada (K_0) foi determinada com permeâmetro de carga constante. A resistência à penetração foi avaliada em laboratório com penetrômetro de bancada (Tecnal TE-096), após o equilíbrio das amostras indeformadas à capacidade de campo (-10 kPa) na camada de 0-5 cm e, em campo, com penetrômetro de impacto (IAA/Planalsucar/Stolf) até 40 cm de profundidade, com 18 repetições por área.

Análises estatísticas

A análise estatística foi conduzida segundo delineamento em blocos casualizados (DBC) com modelo fixo, considerando-se os solos afetados (AF) e não afetados (NA) como os dois tratamentos e as onze propriedades amostradas como blocos. Optou-se pelo modelo fixo por reconhecer-se que as propriedades não foram selecionadas de forma aleatória, mas dirigida, em função de sua localização e condição de afetamento pelo rejeito, o que torna mais apropriada a sua consideração como blocos de efeito fixo. Cada bloco foi composto pela média de três subamostras, reduzindo o erro amostral e analítico e gerando os 22 valores independentes submetidos à análise de variância.

As pressuposições de homocedasticidade (testes de Cochran e Hartley), normalidade dos resíduos (Jarque-Bera) e aditividade (Tukey) foram avaliadas. Quando necessário, aplicaram-se transformações (Box-Cox ou postos/Rank), indicadas nas tabelas apresentadas nos resultados. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O coeficiente de variação comum da análise de variância também foi calculado. As análises foram realizadas no programa SPEED Stat (CARVALHO et al., 2020). Os gráficos foram elaborados no Microsoft Excel, a partir dos dados analisados no SPEED Stat.

Para os dados de resistência a penetração realizada em campo foi conduzida no ambiente de programação R (versão 4.4.0), no ambiente de desenvolvimento integrado RStudio (versão 2023.06.1 Build 524 © 2009-2023 Posit Software, PBC), utilizando os modelos mistos (MLM) e resistência a penetração realizada em laboratório foram conduzidas no ambiente Python (versão 3.12), utilizando o Google Colab como plataforma de desenvolvimento.

Utilização de ferramentas de IA

Durante a redação deste texto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial (IA): ChatGPT (versão 4.0), OpenAI e Claude (versão 4.8 Opus). O objetivo do uso da IA foi para revisar a redação e aprimorar a coesão e fluidez do texto. Após o uso das ferramentas indicadas, o conteúdo gerado foi criticamente revisado buscando evitar imprecisões e alucinações algorítmicas ou interpretações distorcidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização química dos solos

A caracterização química de rotina revelou diferenças significativas relacionadas à acidez e à fertilidade do solo entre as áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração de ferro (Tabela 4).

O pH em KCl foi significativamente maior nas áreas impactadas (5,48) do que nas áreas de controle (4,56; $p = 0,016$). De forma coerente, o Al^{3+} trocável, a acidez potencial (H^+Al) e a saturação por alumínio (m) foram significativamente menores nos solos afetados. O Al^{3+} trocável foi 81% menor nos solos afetados ($0,04 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$), em comparação ao controle a saturação por alumínio foi 89% menor e a acidez potencial 44% menor.

A redução da acidez nos solos afetados pode ser relacionada à natureza mineralógica do rejeito, composto basicamente por óxidos e hidróxidos de ferro. À medida que o rejeito se incorpora ao solo, altera a dinâmica de troca catiônica, interferindo diretamente no consumo de prótons livres e tamponando o pH em níveis mais elevados (GOMES et al., 1996). Com isso, gera um equilíbrio químico, o aumento do pH força a hidrólise e a precipitação do alumínio livre (Al^{3+}), altamente fitotóxicos (RAIJ, 2011), na forma insolúveis e inertes. Como consequência direta, a acidez potencial (H^+Al) mostrou redução significativa ($p = 0,014$), decrescendo de 3,95 para $2,23 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

Neste sentido, esse resultado não deve ser interpretado como uma melhoria real da qualidade ou fertilidade agrônômica do solo. Trata-se, fundamentalmente, de um processo severo de degradação por soterramento, diluição e substituição do material original por um Tecnossolo de rejeito (SCHAEFER et al., 2017), e não de uma correção da acidez.

Tabela 4- Valores médios e resultado da análise de variância (Teste F) e análise estatística dos elementos químicos de rotina do solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba, 2024.

		AF	NA	F	p	Sig.	CV (%)	Transf.
pH (H ₂ O)		6,41 a	5,45 a	4,91	0,051	ns	6,56	
pH (KCl)		5,48 a	4,56 b	8,37	0,016	*	8,06	
P	mg/dm ³	8,29 a	10,99 a	1,63	0,231	ns	23,16	Box-Cox
K	mg/dm ³	28,90 a	33,89 a	2,29	0,161	ns	24,66	
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	3,54 a	2,11 a	4,61	0,057	ns	30,92	
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	0,95 a	0,77 a	0,20	0,664	ns	17,71	
Al ³⁺	cmol _c /dm ³	0,04 b	0,21 a	10,43	0,009	*	34,44	Rank
H+Al	cmol _c /dm ³	2,23 b	3,95 a	8,71	0,014	*	23,03	
SB	cmol _c /dm ³	4,83 a	3,19 a	2,62	0,137	ns	25,20	
t	cmol _c /dm ³	3,84 a	3,43 a	1,57	0,238	ns	21,23	
T	cmol _c /dm ³	6,67 a	7,28 a	2,02	0,185	ns	14,33	
V	%	53,77 a	23,99 a	1,91	0,197	ns	53,69	
m	%	0,98 b	9,11 a	5,61	0,039	*	56,66	Box-Cox
MO	dag/kg	1,46 b	2,05 a	8,91	0,014	*	26,26	Box-Cox
P-rem	mg/L	28,90 a	33,89 a	2,29	0,161	ns	24,66	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ns = não significativo; * = significativo a 5% (p < 0,05).

AF = solos afetados por rejeitos; NA = solos não afetados.

DBC modelo fixo, dois tratamentos e onze blocos.

CV = coeficiente de variação da análise de variância.

SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; MO = matéria orgânica; P-rem = fósforo remanescente.

Para as variáveis com transformação, apresentam-se as médias originais; a análise foi conduzida sobre os dados transformados.

Fica evidente na dinâmica da Matéria Orgânica (MO), os teores foram significativamente menores nos solos afetados (1,46 dag/kg), com redução de 29% em relação aos não afetados (2,05 (dag/kg); p = 0,014). Os demais atributos avaliados, pH (H₂O), P, P-rem, K, Ca, Mg, SB, t, T e V, não diferiram entre as áreas. No caso do Ca, o resultado foi próximo ao limite de significância (p = 0,057), com tendência de valores superiores nos solos afetados. Esses resultados sugerem que o rejeito diluiu camadas do solo. Alterações semelhantes do pH e da composição química já foram relatadas em solos afetados pelo rejeito da barragem de Fundão, onde a deposição elevou o pH e reduziu a matéria orgânica, acompanhada de aumento

de densidade e de silte e de redução da macroporosidade corroborando o padrão de enriquecimento dos solos afetados observado neste estudo (SANTOS et al., 2019; SILVA et al., 2021; MELO et al., 2023; ALMEIDA et al., 2026).

Elementos potencialmente tóxicos

Oito dos doze elementos avaliados apresentaram teores totais significativamente maiores nos solos afetados em relação aos não afetados (Tabela 5, Figura 10): Ni, Cr, Zn, Va, Co, Fe, Mn e Cd.

Os maiores contrastes foram observados para o Ni, com teores 389% superiores nos solos afetados ($p = 0,001$), seguido do Cr (257%, $p = 0,003$), Cd (213%, $p = 0,043$) e Co (177%, $p = 0,024$). O Zn (145%, $p = 0,003$) e Mn (164%, $p = 0,039$) também registraram diferenças entre as áreas. O V apresentou o menor (28%; $p = 0,005$), sugerindo contribuição parcialmente geogênica. Os elementos As, Ba, Cu e Pb não diferiram entre as áreas. No caso do As e do Pb, os elevados coeficientes de variação (72% e 124%) e a volatilidade desses elementos durante a fusão alcalina sugerem possível subestimação de seus teores.

O elemento Fe apresentou teores superiores nas áreas afetadas em relação às não afetadas, o que ser relacionado à presença da hematita como mineral predominante do rejeito de minério de ferro, demonstrando o enriquecimento nas áreas afetadas. Entretanto, por limitação analítica na quantificação (Tabela 5), esses teores foram tratados como semiquantitativos e excluídos dos índices geoquímicos e das comparações de magnitude. Os valores são claramente superestimados.

Os resultados demonstram um padrão consistente de enriquecimento de elementos potencialmente tóxicos (EPT) nos solos das áreas afetadas, refletindo a assinatura geoquímica do rejeito transportado ao longo do rio Paraopeba, assim como indicado por LAUREANO et al. (2022). O conjunto de elementos que melhor diferenciou os tratamentos (Fe, Mn, Ni, Cr, Zn, Co, Va e Cd) coincide com a composição dos rejeitos de minério de ferro descrita para a bacia do rio Paraopeba após o rompimento da barragem B1 em diferentes estudos que registraram o aumento desses metais em água, sedimentos e solos (THOMPSON et al., 2019; PACHECO et al., 2021; KOBAYASHI et al., 2023), bem como em relatos para a bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão (GUERRA et al., 2017; GABRIEL et al., 2020).

Tabela 5- Valores médios e resultado de análise estatística dos teores totais de elementos potencialmente tóxicos no solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba, ordenados pelo valor de F (capacidade discriminante), 2024.

EPT (mg kg ⁻¹)	AF	NA	F	p	Sig.	Transf.
Ni	560,6 a	114,7 b	23,70	0,001	**	Box-Cox
Cr	433,29 a	172,0 b	15,78	0,003	**	
Zn	692,23 a	445,0 b	15,18	0,003	**	
V	56,4 a	44,1 b	12,70	0,005	**	
Co	91, 25a	53,5 b	7,06	0,024	*	
Fe ¹	381100,7 a	133576,4 b	6,92	0,025	*	Box-Cox
Mn	6301,6 a	2387,8 b	5,64	0,039	*	Box-Cox
Cd	22,4 a	12,5 b	5,39	0,043	*	
Cu	118,4 a	118,5 a	0,00	0,953	ns	
Ba	1815,7 a	2064,5 a	0,30	0,766	ns	Rank
As	112,3 a	125,8 a	0,14	0,720	ns	
Pb	11,7 a	9,9 a	0,10	0,761	ns	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ns = não significativo; ** = significativo a 1% ($p < 0,01$) e * = significativo a 5% ($p < 0,05$).

AF = solos afetados por rejeitos; NA = solos não afetados.

DBC modelo fixo, dois tratamentos e onze blocos (cada bloco = média de três sub-amostras).

CV = coeficiente de variação da análise de variância.

Teores totais determinados por fusão alcalina com metaborato de lítio.

As e Pb (voláteis) e Cd (parcialmente volátil) nas condições da fusão alcalina, assim teores podem ser subestimados.

Fe¹: valores semiquantitativos, superestimados por extrapolação da curva de calibração do ICP-OES (recuperação do NIST 2709a ~422%); não incluído nos cálculos de CF, PLI nem nas comparações de magnitude

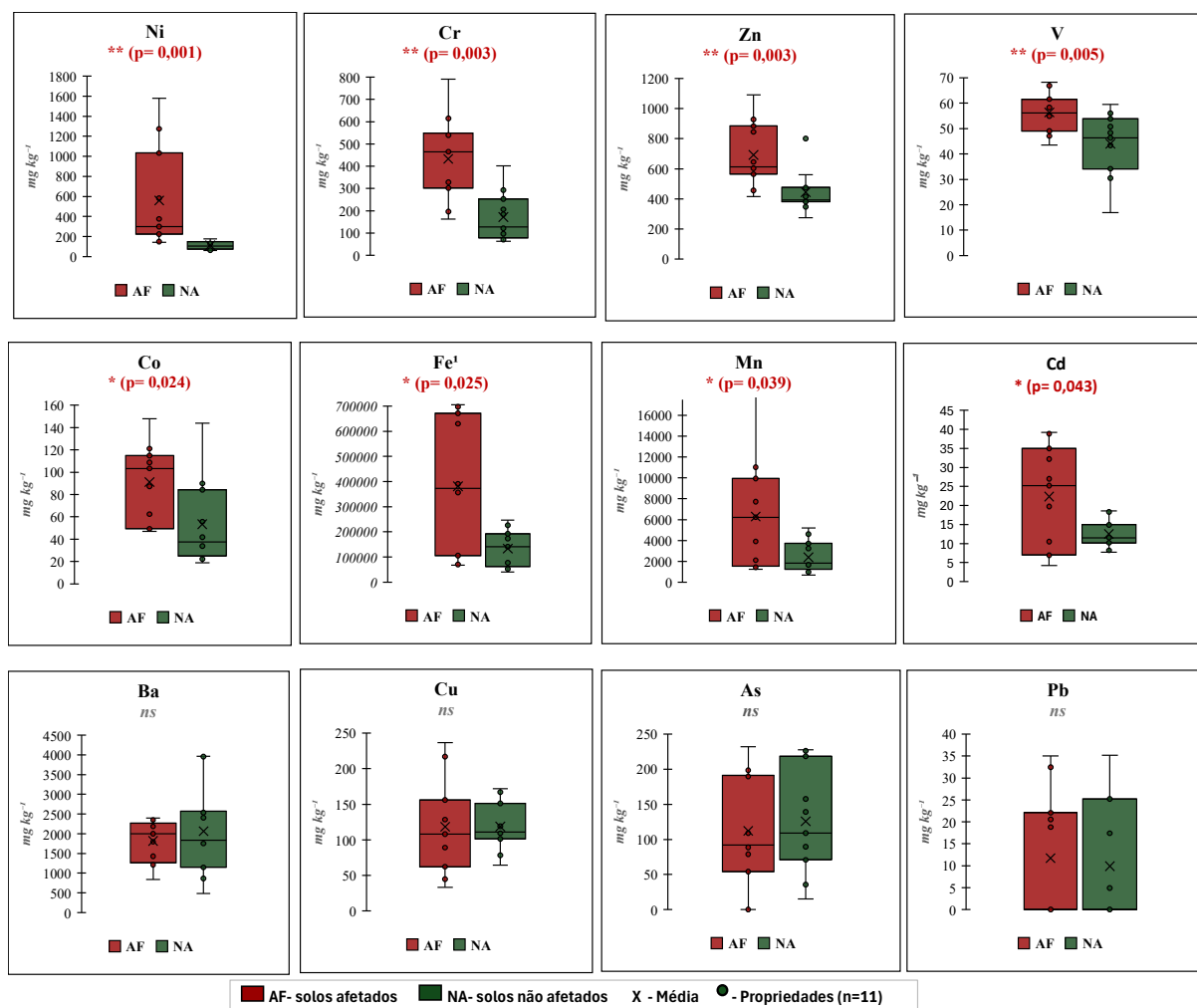


Figura 10- Teores totais de elementos potencialmente tóxicos no solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, ordenados pelo valor de F. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11). Os X indicam as médias. Fe¹: valores semiquantitativos.

Estudos conduzidos em solos diretamente afetados pelo rejeito, sugere esse enriquecimento a sua origem antrópica. Em escala regional, o diagnóstico do NACAB (2021), com 129 pontos de coletas em áreas afetadas e 40 controles, em dez municípios da Região 3, registrou incremento de Cr, Ni Co, Ba, Fe e Mn nos solos afetados, corroborando o padrão de enriquecimento observado neste estudo. Buch et al. (2021, 2023, 2024) observaram concentrações de metais muito superiores às condições de referência nos solos da região de Córrego do Feijão, o que foi atribuído à deposição do rejeito.

Avaliações realizadas logo após o rompimento já indicavam aporte significativo de metais ao sistema (BORDON et al., 2023), e o monitoramento ao longo dos anos seguintes mostrou que a contaminação persiste e pode ser remobilizada por novos eventos de cheia (MARQUES et al., 2025; DE SALIS et al., 2026). O risco ainda inclui o transporte de metais para as águas subterrâneas sob os depósitos de rejeito (LIMA et al., 2024).

O aumento dos teores de Fe e dos óxidos metálicos no solo, medido nas análises, também é percebido pelas famílias na mudança de cor e no brilho da terra. Os relatos descrevem a terra que passou a ser “*avermelhada, ‘lama’ oleosa, uma cor que nunca teve*” (SS, 60 anos), e o brilho metálico do material depositado: “*Ela brilha. Se você passar a terra assim na pele, você vê que tem outros elementos que vieram junto*” (GB, 70 anos). A coloração avermelhada corresponde à presença de hematita e demais óxidos de ferro do rejeito, e o brilho às partículas minerais finas, exatamente os constituintes responsáveis pelos elevados teores de Fe e pela maior densidade de partículas registrados neste estudo. O material é descrito na literatura como “finamente particulado, muito rico em Fe, Al e Mn, transportado como rejeito muito denso e turvo” (VERGÍLIO et al., 2020; ROTTA et al., 2020). A visão das pessoas atingidas em campo identifica, pela observação direta, a mesma assinatura mineralógica revelada pela análise química.

Casas (2024) registrou que a fração fina rica em óxidos de ferro dá ao solo a tonalidade avermelhada, com predomínio de goethita e hematita. A mudança de cor da terra foi, portanto, um etnoindicador comum às bacias do rio Paraopeba e do rio Doce, mostrando que a observação das famílias capta de forma convergente a presença do rejeito.

Em bacias impactadas por mineração, os óxidos de Fe e Mn adsorvem e carregam metais-traço, por apresentarem alta superfície específica e grande capacidade de adsorção e coprecipitação, controlando a mobilidade de outros elementos químicos (ALLOWAY, 2013; SUDA & MAKINO, 2016). O Mn, em particular, foi apontado por Queiroz et al. (2020) como um contaminante normalmente negligenciado nesse tipo de desastre, justamente por sua elevada mobilidade sob condições de redução, favorecidas nos solos afetados pela baixa condutividade hidráulica e pela saturação hídrica prolongada observadas neste estudo. Assim, as formas químicas em que os metais ocorrem no Paraopeba indicam que parte se encontra em formas potencialmente lábeis (TERAMOTO et al., 2021), o que reforça a preocupação com a sua disponibilidade ao longo do tempo.

O enriquecimento em diversos metais nas áreas afetadas representa risco ecológico. Avaliações de risco em solos contaminados por rejeito de Brumadinho identificaram níveis capazes de afetar a biota edáfica e os processos ecológicos do solo (BUCH et al., 2021), padrão também descrito em diversas áreas de mineração no mundo, em que o aporte de metais eleva os índices de risco ecológico (NGOLE-JEME & FANTKE, 2017; KUMAR et al., 2021). Estudos ecotoxicológicos específicos do rejeito de Brumadinho demonstraram efeitos tóxicos sobre organismos terrestres e aquáticos (VERGÍLIO et al., 2020; SIQUEIRA et al., 2022),

confirmando que os metais presentes não constituem apenas uma questão de concentração, mas também de toxicidade efetiva.

Do ponto de vista da saúde humana, a preocupação é igualmente concreta. Buch et al. (2024) estimaram riscos à saúde associados à exposição aos metais nos solos de Brumadinho, e a literatura sobre desastres de barragem no Brasil tem destacado as consequências sanitárias e sociais desses eventos (FREITAS et al., 2019; SILVEIRA et al., 2021). A contaminação não se restringe ao solo e trabalhos já detectaram metais em peixes, macrófitas e até mesmo no material particulado atmosférico da região (PARENTE et al., 2020, 2023), demonstrando múltiplas vias de exposição para as pessoas atingidas.

Como este estudo foi conduzido em agroecossistemas familiares, a maior preocupação é a transferência dos metais do solo para as plantas cultivadas e, por meio do alimento, para as famílias. Estudos com rejeito mostram que os metais podem ser tóxicos às plantas. Buch et al. (2026) observaram toxicidade e mobilidade dos metais em solos contaminados, e Melo et al. (2023) constataram sua transferência para plantas em áreas atingidas pelo rejeito da barragem de Fundão. Assim, o cultivo nas áreas afetadas pode prejudicar tanto as plantas quanto a segurança dos alimentos. Além disso, como os metais permanecem no solo e podem ser remobilizados, o acompanhamento precisa ser de longo prazo (PACHECO et al., 2025). Esse processo resulta em contaminação difusa e persistente nas baixadas da bacia do rio Paraopeba.

O NACAB (2021) já havia identificado excedência do Valor de Prevenção para Cr em 41,4% e para Ni em 31,4% dos pontos da Região 3. Os valores registrados neste estudo são aproximadamente oito vezes superiores a esses limites, indicando que as propriedades investigadas concentram níveis entre os mais elevados da bacia.

Índices geoquímicos de contaminação dos solos afetados

O Fator de Contaminação (CF), calculado com base no valor de referência (média dos solos não afetados, NA), confirma e quantifica o enriquecimento já evidenciado pela análise de variância (Tabela 6).

O Ni, Cr e Cd foram classificados como de contaminação considerável (CF entre 3 e 6), enquanto Co, Mn, Zn e Cu apresentaram contaminação moderada (CF entre 1 e 3), segundo as classes propostas por Hakanson (1980). A classificação dos elementos pelo CF reforça o teste F, em que Ni, Cr e Cd constituem os marcadores mais sensíveis de contribuição de rejeito, seguidos pelo conjunto associado à fração de óxidos do material depositado.

O Índice de Carga de Poluição (PLI), funciona como um estimador integrador e permite avaliar de forma robusta e cumulativa o nível de degradação ambiental gerado pelo aporte dos

rejeitos da barragem de ferro na matriz do solo. Neste estudo, o PLI calculado considerando todos os elementos analisados, menos o Fe^{1+} foi de 1,98, indicando que a área apresenta carga de poluição em relação aos valores de referência. Entretanto, ao considerar apenas os metais que apresentaram enriquecimento significativo (Ni, Cr, Cd, Co, Mn, Zn e V), o índice aumentou para 2,92, demonstrando que a contaminação é bastante influenciada por esses elementos. O PLI superior a 1 indica solo poluído, enquanto valores inferiores a 1 apontam ausência de poluição (TOMLINSON et al., 1980; ANGULO, 1996).

A convergência entre a análise de variância e os índices geoquímicos na análise individual por elemento (CF) e usando um estimador integrador (PLI), reforça o diagnóstico de contaminação (KOWALSKA et al., 2018; AHIRVAR et al., 2023).

Tabela 6- Fator de Contaminação (CF) dos solos afetados (AF) por rejeitos de mineração na bacia do rio Paraopeba, calculado com base no valor de referência (média dos solos não afetados, NA).

Elemento	CF	Classe
Ni	4,89	considerável
Cr	3,57	considerável
Cd	3,13	considerável
Co	2,77	moderado
Mn	2,64	moderado
Zn	2,45	moderado
Cu	2,00	moderado
V	1,28	moderado
Pb	1,18	moderado
Ba	0,88	baixo
As	0,87	baixo

Classes de CF (HAKANSON, 1980): < 1 baixo; 1–3 moderados; 3–6 considerável; > 6 alto. Valor de referência = média dos solos não afetados (NA).

As e Pb (voláteis) e Cd (parcialmente volátil) nas condições da fusão alcalina, assim teores podem ser subestimados.

Teores totais determinados por fusão alcalina com metaborato de lítio; por essa razão, não foram utilizados valores regulatórios (CONAMA 420/2009; COPAM 166/2011) como referência, por se basearem em teores pseudototais. Adotou-se o valor de referência por compartilhar a mesma matriz analítica e isolar o efeito do rejeito do fundo geoquímico regional.

Os solos não afetados foram adotados como valores de referência, uma vez que seus teores foram determinados pelo mesmo procedimento analítico empregado nas amostras deste estudo (fusão alcalina). Essa abordagem foi adotada porque os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) do estado foram estabelecidos com base em um procedimento analítico distinto, o que poderia comprometer a comparabilidade direta dos resultados. A escolha do valor de referência é reconhecidamente determinante sobre o resultado dos índices (LIAO et al., 2021; KOWALSKA et al., 2018), o uso do referencial local, além de compartilhar a mesma matriz analítica, isola o efeito do rejeito do fundo geoquímico naturalmente elevado do Quadrilátero Ferrífero. A combinação de índices é reconhecidamente uma ferramenta útil para distinguir o aporte antrópico do fundo geoquímico natural (RAHMANIAN; SAFARI, 2020).

Qualidade física do solo

Granulometria do solo

A análise granulométrica revelou diferenças na composição textural entre solos afetados e não afetados (Figura 11). O teor de silte foi 77% maior nos solos afetados (31,57%) do que nos não afetados (17,86%), enquanto a areia grossa foi 52% menor (17,55% contra 36,80%) e a areia total 29% menor (36,78% contra 52,04%) nos solos afetados. As frações argila e areia fina não diferiram entre as áreas.

O enriquecimento em silte e a redução da fração areia constituem a assinatura física da deposição de rejeito. Segundo Silva et al. (2006), o material proveniente do beneficiamento do minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero é composto predominantemente por partículas finas (silte e argila), resultantes da britagem e moagem das rochas. Esse material também já foi analisado como dominado por óxidos de ferro de granulometria fina (LAUREANO et al., 2022).

Vergilio et al. (2020) observaram 69,7% de partículas na fração silte + argila em amostras coletadas após o rompimento da barragem B1. Siqueira et al. (2022) e Santos et al. (2025) também registram a predominância de partículas finas em amostras de rejeitos misturados com solo e outros materiais.

Enquanto os solos não afetados preservam sua fração arenosa, a deposição do material fino dilui proporcionalmente as frações mais grosseiras. Padrão semelhante foi relatado por Silva et al. (2021) em solos atingidos pelo rejeito da barragem de Fundão, reforçando as alterações que ocorrem no solo ao ser contaminado por rejeito de ferro. Com base na textura, os solos afetados foram classificados como Franco-Argilosos e os não afetados como Franco-Argilo-Arenosos.

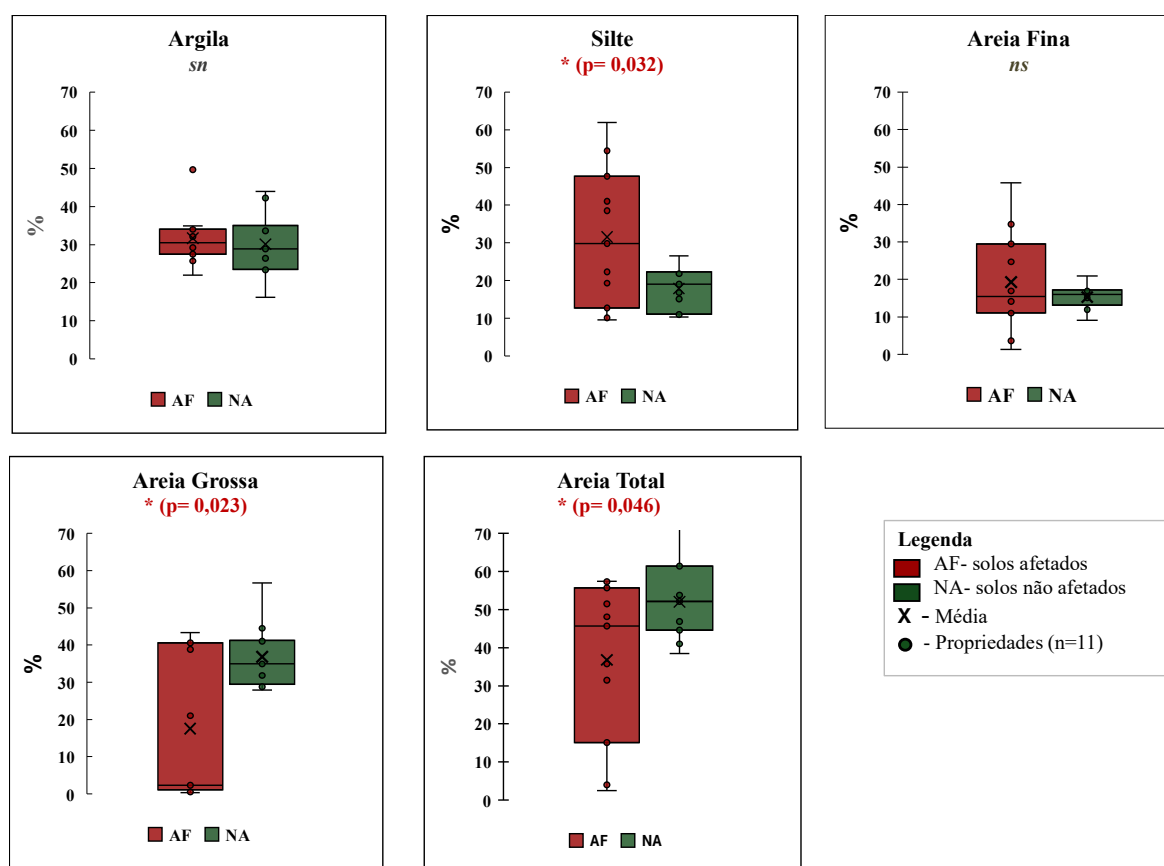


Figura 11- Composição granulométrica de solos de áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração, na bacia do rio Paraopeba. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11). Os X indicam as médias. Significância pelo teste F do modelo DBC fixo.

Estrutura do solo

Entre as variáveis que caracterizam a estrutura do solo, a porosidade total foi 14% maior nos solos afetados (48,69%) do que nos não afetados (42,76%) (Figura 12). A condutividade hidráulica saturada foi 57% menor nos solos afetados (7,79 contra 18,24 mm h⁻¹), o resultado de maior amplitude entre as variáveis analisadas. A densidade do solo, a macroporosidade, a microporosidade e a argila dispersa em água não diferiram significativamente entre as áreas, embora a microporosidade tenha apresentado tendência de valores superiores na AF (p = 0,071). Embora não diretamente associado com a estrutura do solo, a densidade de partículas foi 5% maior na AF (2,52 contra 2,41 Mg m⁻³).

A maior densidade de partículas nos solos afetados reflete a presença dos óxidos de ferro densos do rejeito, conforme a assinatura mineralógica descrita por Laureano et al. (2022). Enquanto solos minerais comuns apresentam densidade de partículas em torno de 2,65 Mg m⁻³, os óxidos de ferro atingem valores muito superiores (hematita ~5,26 Mg m⁻³, goethita ~4,3 Mg m⁻³), elevando a densidade do material depositado (CORNELL & SCHWERTMANN, 2003).

A maior densidade de partículas ligada à mineralogia do rejeito também foi observada por Casas (2024) na bacia do rio Doce, que associou a maior densidade e a menor retenção de umidade do solo-rejeito à sua mineralogia e à falta de estrutura.

A maior porosidade total não foi acompanhada de aumento de macroporosidade, como normalmente verificado em solos agrícolas, mas foi resultado do aumento da microporosidade, o que é coerente com o enriquecimento de partículas finas, sobretudo o silte.

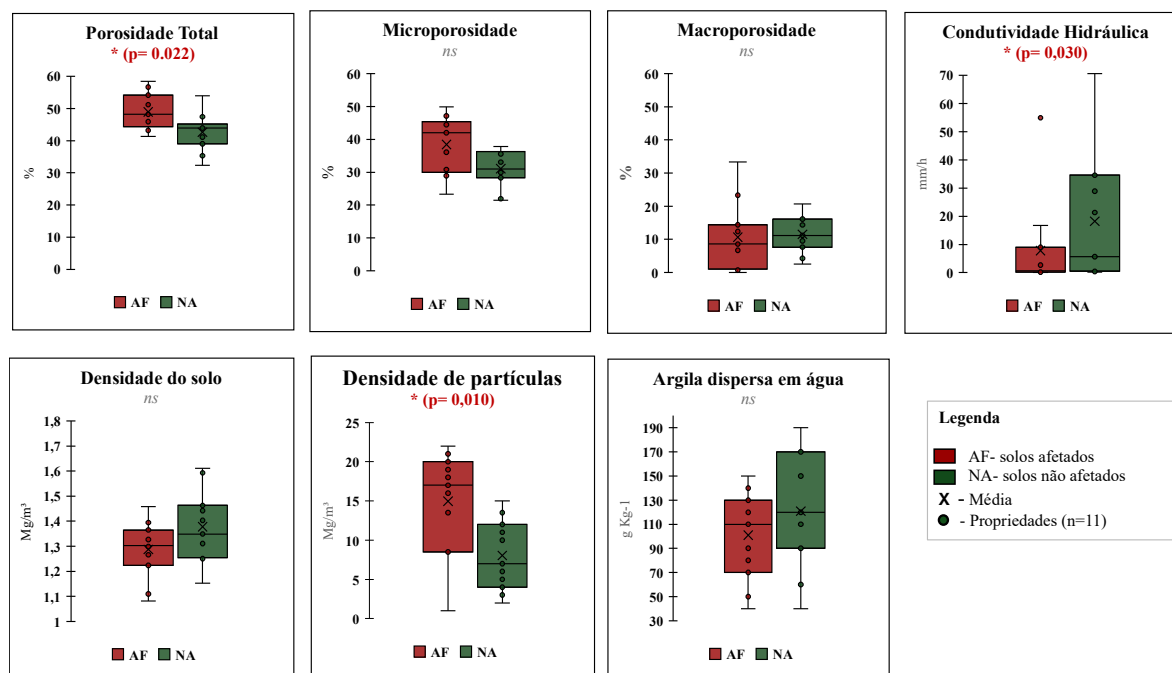


Figura 12- Atributos físico-hídricos do solo em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração. Cada ponto representa uma propriedade (n = 11); os X indicam as médias.

A redução significativa da condutividade hidráulica, de 18,24 para 7,79 mm h⁻¹, reforça o que Gonçalves (2023) caracterizou ao analisar hidraulicamente um rejeito de minério de ferro, que demonstrou baixa condutividade e tendência ao adensamento, associadas à granulometria fina e ao empacotamento das partículas. Esse comportamento mecânico do rejeito de Brumadinho de redução de permeabilidade e adensamento também foi identificado por Da Fonseca et al. (2022) em ensaios realizados com amostras da própria Barragem I. Esse material apresenta elevada porosidade total, com predominância de microporos, alta densidade de partículas e baixa condutividade hidráulica, o que compromete sua capacidade de drenagem. Condição semelhante foi observada nos Tecnossolos formados pelo rejeito de Fundão, conforme relatado por Almeida et al. (2026) e Silva et al. (2021).

Os resultados obtidos são consistentes com a observação dos agricultores, sistematizada por meio dos etnoindicadores discutidos no Capítulo 1. A redução da capacidade de infiltração, mensurada em laboratório, manifesta-se no cotidiano pela mudança no comportamento da água sobre o solo, conforme relata uma agricultora: “*Quando seca, fica dura que nem cimento; quando chove, a água empoça ou escorre*” (J., 43 anos). A formação de poças e o escoamento superficial descritos na fala correspondem, em linguagem sensorial, à drenagem lenta e ao selamento superficial associados à baixa condutividade hidráulica e à predominância de microporos. O endurecimento do solo após a secagem, por sua vez, é consistente com os resultados de compactação observados em laboratório.

A perda de capacidade de infiltração também foi relatada por Casas (2024), que observou que o rejeito dificultou a entrada de água no solo, associando esse comportamento à falta de estrutura do material, e chegou a registrar podridão em raízes de mandioca cultivadas sobre o rejeito. A repetição do mesmo efeito nas bacias do rio Doce e rio Paraopeba indica que a piora da dinâmica da água é uma consequência da deposição de rejeito de ferro em solos de várzea.

Resistência do solo à penetração em campo e em laboratório

A resistência mecânica do solo à penetração avaliada em campo revelou um padrão dependente da profundidade (Figuras 13c e 13d). A resistência integrada ao longo do perfil (área sob a curva) foi maior nos solos não afetados, sobretudo nas camadas superficiais. Contudo, a interação entre profundidade e impacto foi significativa ($p < 0,001$) a partir de 20 cm, quando os solos afetados passaram a apresentar resistência progressivamente maior do que os não afetados, indicando compactação subsuperficial.

A resistência determinada em laboratório, na camada de 0–5 cm, não diferiu entre as áreas (Figura 14), com valores de AUC de $5,60 \pm 3,49$ em AF vs $6,10 \pm 2,97$ MPa/cm em NA ($p = 0,384$) e de RP média de $1,31 \pm 0,83$ em AF vs $1,43 \pm 0,68$ MPa em NA ($p = 0,322$), o que é coerente com a avaliação de campo nessa mesma profundidade.

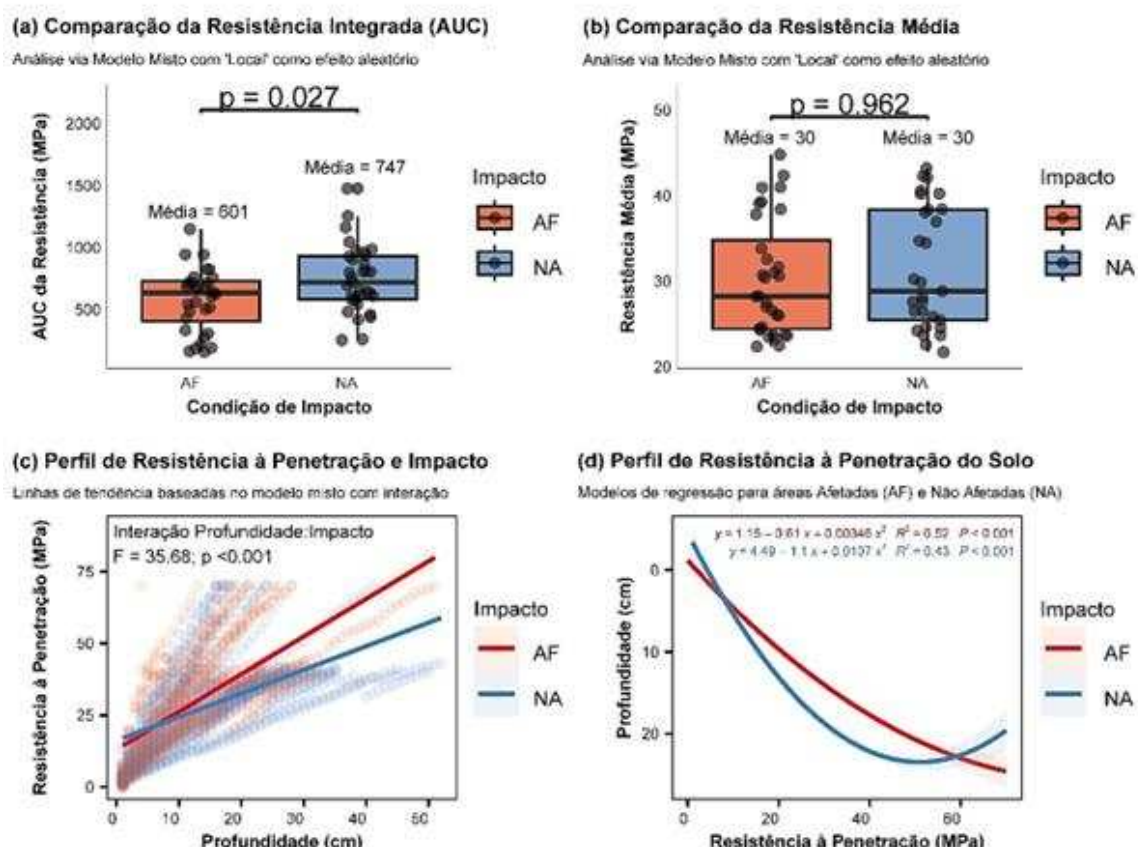


Figura 13- Resistência mecânica do solo à penetração em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) por rejeitos de mineração. (a) Perfil de resistência por profundidade em campo, expressos em termos de área sob a curva de resistência (AUC) por meio de análise de modelo misto (a), comparação da resistência média ao longo dos 40 cm de profundidade (b), perfil de resistência à penetração considerando a interação (profundidade $\times$ impacto) (c) e curvas de regressão entre profundidade e resistência à penetração (d).

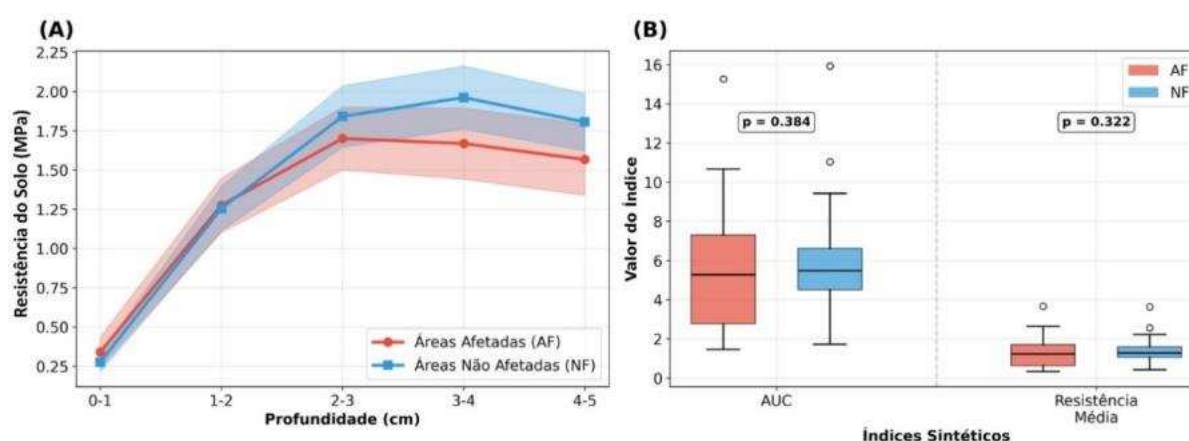


Figura 14- Análise integrada dos dados de resistência do solo à penetração em laboratório em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pela enchente da lama de rejeitos da barragem de Brumadinho, na bacia do rio Paraopeba. Resultados apresentados em termos de curvas de resistência médias por profundidade para áreas afetadas (AF) e não afetadas (NF= NA) (a) e comparação dos índices sintéticos (área sob a curva de resistência – AUC e resistência à penetração média) entre grupos (b). Valores de p do teste U de Mann-Whitney indicam ausência de diferenças significativas.

O padrão de compactação progressiva em profundidade nos solos afetados é consistente com a deposição de material fino e adensado do rejeito, que tende a formar camadas subsuperficiais de maior resistência. Da Fonseca et al. (2022) demonstraram que o rejeito adensado apresenta elevada resistência, resultado corroborado nos estudos de Barbosa & Nierwinski (2024) para rejeitos de mineração em geral. As camadas superficiais concentram o material mais fino e sem estrutura agregada, enquanto nas camadas subsuperficiais a resistência mecânica aumenta progressivamente, reflexo do preenchimento dos poros pelo material fino que migra verticalmente ao longo do tempo. Esse comportamento representa barreira física ao aprofundamento das raízes e à percolação da água, agravando as limitações já impostas pela baixa condutividade hidráulica, uma limitação também reconhecida nos Tecnossolos de rejeito por Almeida et al. (2026).

A compactação do solo é um dos etnoindicadores mais recorrentes nas narrativas das famílias atingidas. Além do relato já mencionado sobre o endurecimento da terra, as famílias descrevem a formação de trincas e crostas superficiais: *“Depois da enchente fica uma camada de rejeito, e quando está secando ficam aquelas trincas na terra”* (VB, 60 anos); A mudança na textura também foi percebida no manejo do solo: *“A poeira sobe mais, ficou mais leve”* (HA, 35 anos). Essas observações correspondem ao adensamento e ao selamento superficial associados à fração fina do rejeito, demonstrando que a observação e vivência cotidiana das famílias permite-lhes identificar os mesmos processos físicos quantificados em laboratório.

A variabilidade observada entre as propriedades, como expressa pelos elevados coeficientes de variação de algumas variáveis, é coerente com a heterogeneidade da deposição descrita em campo. Propriedades com camadas espessas de rejeito próximas ao leito do rio Paraopeba tendem a apresentar impacto mais intenso, enquanto áreas atingidas por águas de ribeirões ou onde o rejeito apenas se misturou ao solo refletem graus distintos de comprometimento. Essa variação espacial do impacto não constitui ruído analítico, mas um achado relevante, uma vez que indica que as ações de monitoramento e recuperação devem ser diferenciadas conforme o nível de comprometimento de cada área, e não tratadas de forma homogênea no território.

A convergência entre os indicadores técnicos e os etnoindicadores reforça o diagnóstico de contaminação. As famílias atingidas identificam a degradação do solo a partir de atributos visíveis e funcionais, como cor, brilho, dureza, infiltração e, sobretudo, o desenvolvimento das plantas, considerado o principal indicador da qualidade da terra: *“a planta ensina se a terra é boa; se ela se desenvolve, a terra é boa”* (MA, 73 anos). Essa leitura sintetiza, em um único indicador integrador, o conjunto de alterações físicas e químicas aqui estudadas, uma vez que o

vigor das plantas responde simultaneamente à estrutura, à aeração, à disponibilidade hídrica e à presença de elementos tóxicos.

A perda de funcionalidade produtiva relatada, com as baixadas férteis tornadas inseguras para o cultivo e a consequente dependência de alimentos adquiridos no mercado, demonstra forte impacto nos modos de vida dos atingidos. O significado último dessas alterações mensuradas articula a dimensão ecológica do dano propriamente dito à insegurança alimentar e à perda de autonomia das famílias.

Por fim, em solos afetados pelo rejeito, a baixa matéria orgânica, a maior proporção de silte e a ausência de estrutura podem tornar os elementos potencialmente tóxicos mais problemáticos mesmo em teores moderados, de modo que, no solo-rejeito, “menos pode ser mais” (Casas, 2024). Essa perspectiva qualifica a interpretação dos teores de metais aqui obtidos, uma vez que a redução de 29% nos teores de matéria orgânica pode reduzir a capacidade dos solos de reter e imobilizar metais, podendo aumentar assim a disponibilidade desses elementos.

CONCLUSÕES

A deposição do rejeito proveniente do rompimento da barragem da Vale S.A, em Brumadinho, alterou simultaneamente os atributos físicos e químicos dos solos afetados na bacia do rio Paraopeba.

Fisicamente, os solos afetados tornaram-se de granulometria mais fina, com maior teor de silte, maior porosidade total associada a ganhos de microporosidade, maior densidade de partículas e menor condutividade hidráulica, conjunto de alterações que compromete a drenagem, a aeração e o desenvolvimento radicular.

Quimicamente, apresentaram menor acidez, resultado da natureza mineralógica do rejeito, e enriquecimento em Ni, Cr, Zn, V, Co, Fe, Mn e Cd, com Ni, Cr, Zn e V destacando-se como os melhores indicadores do impacto. A menor acidez não representa melhoria da qualidade do solo, mas reflete a substituição do material pedogenético original pelo rejeito.

Os resultados demonstram que a deposição do rejeito comprometeu a estrutura dos solos e depositou um passivo de elementos potencialmente tóxicos, com implicações diretas para a segurança alimentar das famílias e para a recuperação ambiental da bacia, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo e de estratégias de remediação ajustadas às especificidades dos solos impactados.

REFERÊNCIAS

- AHIRVAR, B. P.; DAS, P.; SRIVASTAVA, V.; KUMAR, N. M. Perspectives of heavy metal pollution indices for soil, sediment, and water pollution evaluation: an insight. *Total Environment Research Themes*, 2023. DOI: 10.1016/j.totert.2023.100039.
- ALKMIM, F. F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D.; NEVES, B. B. (eds.). *Geologia do continente Sul-Americano*. São Paulo: Beca, 2004. p. 17-35.
- ALLOWAY, B. J. (ed.). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2013. 613 p. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7.
- ALMEIDA, P.; SCHAEFER, C.; FRANCELINO, M.; PACHECO, A.; SANTOS, E.; FERNANDES, E.; IBRAIMO, A.; DEMATTÊ, J. Technosols of Fundão dam tailings: chemical and physical properties in the upper riverine landscapes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2026. DOI: 10.36783/18069657rbcs20250071.
- ALVAREZ, V. V. H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- ANGULO, E. The Tomlinson Pollution Load Index applied to heavy metal, 'Mussel-Watch' data: a useful index to assess coastal pollution. *Science of the Total Environment*, v. 187, p. 19-56, 1996. DOI: 10.1016/0048-9697(96)05128-5.
- BARBOSA, A.; NIERWINSKI, H. Statistical comparative analysis between strength parameters of a bauxite mining tailing through laboratory tests and numerical simulation. *Caderno Pedagógico*, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n3-141.
- BORDON, I.; LIMA, M.; ABESSA, D.; DA SILVA, P. S. C.; COTRIM, M.; ULRICH, J. C.; TAKAHASHI, C. K.; DA SILVA, J. N. R. The Brumadinho mining disaster: immediate impacts of mine tailings 5 days after the dam rupture. *SSRN Electronic Journal*, 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4047544.
- BRASIL- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Brasília: CONAMA, 2009.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Madison: ASA/SSSA, 1982. p. 595-624.

- BUCH, A. C.; NIEMEYER, J.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. Ecological risk assessment of trace metals in soils affected by mine tailings. *Journal of Hazardous Materials*, v. 403, p. 123852, 2021. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123852.
- BUCH, A. C.; NIEMEYER, J.; SIMS, D. B.; MARQUES, E. D.; YADAV, K.; OBAIDULLAH, A. J.; SILVA, C. R. E.; DA SILVA-FILHO, E. V. Phytotoxicity and metal mobility in soils contaminated with mine tailings. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 48, 2026. DOI: 10.1007/s10653-026-03203-x.
- BUCH, A. C.; SIMS, D. B.; DE RAMOS, L. M.; MARQUES, E. D.; RITCHER, S.; ABDULLAH, M. M. S.; SILVA-FILHO, E. Assessment of environmental pollution and human health risks of mine tailings in soil: after dam failure of the Córrego do Feijão Mine (in Brumadinho, Brazil). *Environmental Geochemistry and Health*, v. 46, 2024. DOI: 10.1007/s10653-024-01870-2.
- BUCH, A. C.; SIMS, D.; CORREIA, M.; MARQUES, E. D.; SILVA-FILHO, E. Preliminary assessment of potential pollution risks in soils: case study of the Córrego do Feijão Mine dam failure (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, v. 37, p. 569-589, 2023. DOI: 10.1080/17480930.2023.2226474.
- CARVALHO, A. M. X. de; MENDES, F. Q.; TAVARES, L. de F.; OLIVEIRA, R. de C. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 20, n. 3, e327420312, 2020. DOI: 10.1590/1984-70332020v20n3s46.
- CASAS, N. A. C. "Resistir e construir história": etnoindicadores e indicadores de avaliação dos impactos do rompimento da barragem do Fundão em agroecossistemas na bacia do rio Doce. 2024. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.
- CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. CBH do Rio Paraopeba (SF3) – Minas Gerais. 2020. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/comites-de-afluentes/cbh-do-rio-paraopeba-sf3-minas-gerais/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBH SF. A Bacia. Disponível em < <https://cbhsaofrancisco.org.br/> >. Acesso em: 25 Dez. 2025.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2003.
- CPRM/SGB – Serviço Geológico do Brasil. Boletim de monitoramento compartilhado do rio Paraopeba (jan.–mar. 2019). Brasília: SGB, 2019. Disponível em:

https://www.sgb.gov.br/sace/boletins/Paraopeba/20190313_16-20190313%20-%20165859.pdf. Acesso em: 27 set. 2025.

- DA FONSECA, V.; CORDEIRO, D.; MOLINA-GÓMEZ, F.; BESENZON, D.; FONSECA, A.; FERREIRA, C. The mechanics of iron tailings from laboratory tests on reconstituted samples collected in post-mortem Dam I in Brumadinho. *Soils and Rocks*, 2022. DOI: 10.28927/sr.2022.001122.
- DE SALIS, H. H. C.; CHUMBINHO, A. de L.; STOPA, I. P.; FONTES, M. A. Monitoramento da remobilização de rejeitos após o rompimento da barragem da Vale S.A. em Brumadinho: impactos de cheias extremas avaliados por sensoriamento remoto. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 101898, 2026.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (org.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (org.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: SSSA, 1996. p. 25-37. (SSSA Special Publication, 49).
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D. L. (org.). *Advances in Agronomy*. San Diego: Academic Press, 1996. v. 56, p. 1-54.
- DURÃES, M. F. Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba. 2010. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C.; ASMUS, C. I. R. F.; SILVA, M. A. da; XAVIER, D. R. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 35, n. 5, e00052519, 2019. DOI: 10.1590/0102-311x00052519.
- GABRIEL, F.; SILVA, A.; QUEIROZ, H. M.; FERREIRA, T. O.; HAUSER-DAVIS, R.; BERNARDINO, Â. Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce estuary. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 16, 2020. DOI: 10.1002/ieam.4250.
- GOMES, M. A. F., RIBEIRO, A. C., DA COSTA, L. M., & MOURA FILHO, W. Influência de ferro e de alumínio amorfos do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. *Revista Ceres*, v. 43, n. 248, 1996.

- GUERRA, M. B. B.; NETO, E. L.; PRIANTI, M. T.A.; PEREIRA FILHO, E. R. P.; SCHAEFER, C. E. G. R. Post-fire study of the Brazilian Scientific Antarctic Station: Toxic element contamination and potential mobility on the surrounding environment. *Microchemical Journal*. Elsevier Science, 110:21-27, 2013.
- GUERRA, M. B. B.; TEANEY, B. T.; MOUNT, B. J.; JORDAN, B. T.; BARKER, R. J.; SANTOS, E. E.; SCHAEFER, C. E. G. R. Post-catastrophe analysis of the Fundão tailings dam failure in the Doce River system, southeast Brazil: potentially toxic elements in affected soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 228, p. 252, 2017. DOI: 10.1007/s11270-017-3430-5.
- HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento especial da qualidade da água e sedimentos no rio Paraopeba pós-rompimento da barragem B1. Belo Horizonte: IGAM, 2019–2023.
- KOBAYASHI, H.; GARNIER, J.; MULHOLLAND, D.; QUANTIN, C.; HAURINE, F.; TONHÁ, M.; JOKO, C.; OLIVETTI, D.; FREYDIER, R.; SEYLER, P.; MARTINEZ, J.-M.; ROIG, H. Exploring a new approach for assessing the fate and behavior of the tailings released by the Brumadinho dam collapse (Minas Gerais, Brazil). *Journal of Hazardous Materials*, v. 448, p. 130828, 2023. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.130828.
- KOWALSKA, J.; MAZUREK, R.; GAŚSIOREK, M.; ZALESKI, T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination — a review. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 40, p. 2395-2420, 2018. DOI: 10.1007/s10653-018-0106-z.
- KUMAR, V.; PANDITA, S.; SETIA, R. A meta-analysis of potential ecological risk evaluation of heavy metals in sediments and soils. *Gondwana Research*, 2021. DOI: 10.1016/j.gr.2021.10.028.
- LAUREANO, F.; KWITKO-RIBEIRO, R.; GUIMARÃES, L.; LEÃO, L. Mineralogical fingerprint of iron ore tailings in Paraopeba River bedload sediments after the B1 dam failure in Brumadinho, MG (Brazil). *Minerals*, v. 12, n. 6, p. 716, 2022. DOI: 10.3390/min12060716.
- LIAO, J.; CUI, X.; FENG, H.-Y.; YAN, S. Environmental background values and ecological risk assessment of heavy metals in watershed sediments: a comparison of assessment methods. *Water*, 2021. DOI: 10.3390/w14010051.

- LIMA, V. H. S.; MOURA, J.; PISSARRA, T.; VALLE, R. F. do; SILVA, M. M. A. P. de M.; VALERA, C.; MELO, M. C. de; FERNANDES, L. F.; COSTA, A. M. da; PACHECO, F. Groundwater flow and transport of metals under deposits of mine tailings: a case study in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2024. DOI: 10.1016/j.cscee.2024.100690.
- MARQUES, H. G.; SOARES, L. B.; ANDRADE, F. P. de; CAMPOS, J. M. S. de; PALMIERI, M.; BRASILEIRO-VIDAL, A. C.; BUSTAMANTE, F. O. Biomonitoring of the Paraopeba river: cytotoxic, genotoxic and metal concentration analysis three years after the Brumadinho dam rupture - Minas Gerais, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 964, p. 178618, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178618.
- MELO, V.; LIPSKI, B.; MOTTA, A.; DE PIERRI, L.; LEME, D.; ERCOLE, T.; LIMA, M.; THÁ, E.; BASTOS, L. Integrated environmental assessment of iron ore tailings in floodplain soils and plants after the Fundão Dam disaster in Brazil. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 20, 2023. DOI: 10.1002/ieam.4780.
- MENDES, R. G.; VALLE JUNIOR, R. F. do; SILVA, M. M. A. P. M. da; MORAIS FERNANDES, G. H. de; SANCHES FERNANDES, L. F.; FERNANDES, A. C. P.; PISSARRA, T. C. T.; MELO, M. C. de; VALERA, C. A.; PACHECO, F. A. L. A partial least squares-path model of environmental degradation in the Paraopeba River, for rainy seasons after the rupture of B1 tailings dam, Brumadinho, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 851, p. 158248, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158248.
- MINAS GERAIS - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). Deliberação Normativa nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa nº 116/2008, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos solos. Belo Horizonte: COPAM, 2011.
- NACAB. Resumo Técnico — Solos da Região 3: Caracterização Física e Química. Belo Horizonte: Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens, abr. 2021. Disponível em: <https://nacab.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Resumo-tecnico-Estudo-do-Solo-R3.pdf>
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). Standard Reference Material 2709a: San Joaquin Soil — Certificate of Analysis. Gaithersburg: NIST, 2018. Disponível em: <https://tsapps.nist.gov/srmext/certificates/2709a.pdf>.
- NGOLE-JEME, V.; FANTKE, P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PLoS ONE*, v. 12, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0172517.

- PACHECO, F. A. L.; PISSARRA, T. C. T.; VALERA, C.; MELO, M. C. de; FERNANDES, L. F. S. Tailings dam failures in Brazil: river contamination, ecosystem recovery, and institutional responses to the Mariana and Brumadinho disasters. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2025. DOI: 10.1016/j.coesh.2025.100654.
- PACHECO, F. A. L.; VALLE JUNIOR, R. F. do; SILVA, M. M. A. P. M. da; PISSARRA, T. C. T.; MELO, M. C. de; VALERA, C. A.; SANCHES FERNANDES, L. F. Prognosis of metal concentrations in sediments and water of Paraopeba River following the collapse of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 809, p. 151157, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151157.
- PACHECO, F. A. L.; VALLE JUNIOR, R. F. do; SILVA, M. M. A. P. M. da; PISSARRA, T. C. T.; SOUZA ROLIM, G. de; MELO, M. C. de; VALERA, C. A.; MOURA, J.; FERNANDES, L. F. S. Geochemistry and contamination of sediments and water in rivers affected by the rupture of tailings dams (Brumadinho, Brazil). *Applied Geochemistry*, v. 152, p. 105644, 2023. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2023.105644.
- PARENTE, C. E. T.; CARVALHO, G. O.; LINO, A. S.; SABAGH, L. T.; AZEREDO, A.; FREITAS, D.; RAMOS, V. S.; TEIXEIRA, C.; MEIRE, R.; FERREIRA FILHO, V. J. M.; MALM, O. First assessment of atmospheric pollution by trace elements and particulate matter after a severe collapse of a tailings dam, Minas Gerais, Brazil. *Environmental Research*, p. 116435, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2023.116435.
- PARENTE, C. E. T.; LINO, A. S.; CARVALHO, G. O.; PIZZOCHERO, A. C.; AZEVEDO-SILVA, C. E.; FREITAS, M. O.; TEIXEIRA, C.; MOURA, R. L.; FERREIRA FILHO, V. J. M.; MALM, O. First year after the Brumadinho tailings' dam collapse: spatial and seasonal variation of trace elements in sediments, fishes and macrophytes from the Paraopeba River, Brazil. *Environmental Research*, v. 193, p. 110526, 2020. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110526.
- PEREIRA, L. F.; CRUZ, G. B.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019. DOI: 10.24221/jeap.4.2.2019.2373.122-129.
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python Language Reference, version 3. Disponível em: <https://www.python.org>.
- QUEIROZ, H. M.; YING, S. C.; ABERNATHY, M.; BARCELLOS, D.; GABRIEL, F. A.; OTERO, X. L.; NÓBREGA, G. N.; BERNARDINO, A. F.; FERREIRA, T. O. Manganese:

- the overlooked contaminant in the world largest mine tailings dam collapse. *Environment International*, v. 146, p. 106284, 2020. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106284.
- RAHMANIAN, M.; SAFARI, Y. Contamination factor and pollution load index to estimate source apportionment of selected heavy metals in soils around a cement factory, SW Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 68, p. 903-913, 2020. DOI: 10.1080/03650340.2020.1861252.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011. 420 p.
- ROTTA, L. H. S.; ALCÂNTARA, E.; PARK, E.; NEGRI, R. G.; LIN, Y. N.; BERNARDO, N.; MENDES, T. S. G.; SOUZA FILHO, C. R. The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 90, p. 102119, 2020. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102119.
- SANTOS, L. R. G., CALAZANS, G. M., LEÃO, L. P., GUERRA, R. B., & LEITE, M. G. P. Distribution of trace elements in the tailings of the B1 dam, in the Córrego do Feijão mine, and in soils affected after the dam breach. *Applied Geochemistry*, p. 106561, 2025.
- SANTOS, O. S. H.; AVELLAR, F. C.; ALVES, M.; TRINDADE, R. C.; MENEZES, M. B.; FERREIRA, M. C.; FRANÇA, G.; CORDEIRO, J.; SOBREIRA, F.; YOSHIDA, I.; MOURA, P.; BAPTISTA, M.; SCOTTI, M. R. Understanding the environmental impact of a mine dam rupture in Brazil: prospects for remediation. *Journal of Environmental Quality*, v. 48, n. 2, p. 439-449, 2019. DOI: 10.2134/jeq2018.04.0168.
- SILVA, A.; GUIMARÃES, A.; LOPEZ, B.; ZANCHI, C.; VEGA, C.; BATISTA, É.; SOUZA MOREIRA, F. de; COSTA SOUZA, F. da; PINTO, F.; SANTOS, J.; CARNEIRO, J.; SIQUEIRA, J.; KEMMELMEIER, K.; GUILHERME, L.; RUFINI, M.; SOUZA DIAS, M. de; SILVA ARAGÃO, O. da; CASTRO BORGES, P. de; OLIVEIRA-LONGATTI, S. de; CARNEIRO, M. Chemical, physical, and biological attributes in soils affected by deposition of iron ore tailings from the Fundão Dam failure. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, n. 8, p. 462, 2021. DOI: 10.1007/s10661-021-09234-4.
- SILVEIRA, P. G.; VENÂNCIO, M.; LEITE, J. M. Brumadinho's disaster, mine tailing dams and the environmental licencing in Brazil: preventing risks to human wellbeing, soils, and the environment. In: [obra coletiva]. 2021. p. 241-259. DOI: 10.1007/978-3-030-52317-6_13.
- SIQUEIRA, D.; CESAR, R.; LOURENÇO, R. S.; SALOMÃO, A.; MARQUES, M.; POLIVANOV, H.; TEIXEIRA, M.; VEZZONE, M.; SANTOS, D.; KOIFMAN, G.;

- RIBEIRO, Y.; RODRIGUES, A. S.; ALEXANDRE, K.; CARNEIRO, M.; BERTOLINO, L.; FERNANDES, N.; DOMINGOS, L.; CASTILHOS, Z. Terrestrial and aquatic ecotoxicity of iron ore tailings after the failure of VALE S.A mining dam in Brumadinho (Brazil). *Journal of Geochemical Exploration*, 2022. DOI: 10.1016/j.gexplo.2022.106954.
- SUDA, A.; MAKINO, T. Functional effects of manganese and iron oxides on the dynamics of trace elements in soils with a special focus on arsenic and cadmium: a review. *Geoderma*, v. 270, p. 68-75, 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.12.017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- TERAMOTO, E. H.; GEMEINER, H.; ZANATTA, M. B. T.; MENEGÁRIO, A. A.; CHANG, H. K. Metal speciation of the Paraopeba river after the Brumadinho dam failure. *Science of the Total Environment*, v. 757, p. 143917, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143917.
- THOMPSON, F.; OLIVEIRA, B. C. V. de; CORDEIRO, M. C.; MASI, B. P.; RANGEL, T. P.; PAZ, P.; FREITAS, T.; LOPES, G. R.; SILVA, B. S.; CABRAL, A. S.; SOARES, M.; LACERDA, D.; VERGÍLIO, C. S.; LOPES-FERREIRA, M.; SILVA, C. L.; THOMPSON, C.; REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Science of the Total Environment*, v. 705, p. 135914, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135914.
- TOMLINSON, D. L., WILSON, J. G., HARRIS, C. R., & JEFFREY, D. W. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*, v. 33, n. 1, p. 566-575, 1980. DOI: 10.1007/BF02414780.
- VERGÍLIO, C. S.; LACERDA, D.; OLIVEIRA, B. C. V. de; SARTORI, É.; CAMPOS, G. M.; SOUZA PEREIRA, A. L. de; AGUIAR, D. B. de; SILVA SOUZA, T. da; ALMEIDA, M. G.; THOMPSON, F.; REZENDE, C. E. de. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*, v. 10, p. 5936, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-62700-w.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 743-755, 2009. DOI: 10.1590/s0100-06832009000400001.
- ZHENG, J; XIE, Y; PING, Y; XU, H; LI, Q; LIAO, Q; LI, Q; YANG, Z; YANG, W; & SI, M. Crystal phase conversion of amorphous Fe–Mn binary oxides promote the sequestration and redistribution of arsenic, cadmium, and lead in the soil: Comparison with crystalline form. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.113342>.

DESEMPENHO DE MILHO CRIOULO E HÍBRIDO EM SOLOS IMPACTADOS POR REJEITO DE MINERAÇÃO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Resumo:

O rompimento da barragem da Vale em Brumadinho (MG), em 2019, liberou na bacia do rio Paraopeba grande volume de rejeitos, afetando agroecossistemas e alterando profundamente a qualidade dos solos das várzeas. Neste contexto, este estudo avaliou o crescimento e produção de milho crioulo e milho híbrido cultivados em solos afetados e não afetados pelo rejeito de mineração, sob manejo com e sem adubação orgânica com esterco bovino. As comparações entre os genótipos do milho foram feitas por contrastes planejados (crioulo vs. híbrido em cada combinação de impacto do rejeito e adubação). O milho crioulo superou o híbrido em três dos quatro tratamentos avaliados. A maior vantagem ocorreu em solo não afetado sem adubação, com massa seca da parte aérea, das raízes e total superior no milho crioulo em 71%, 76% e 74% do que no híbrido. A massa seca de raízes foi o parâmetro que mais favoreceu o crioulo, com valores superiores em três dos quatro tratamentos e ganho de até 82%. A adubação orgânica foi o fator de maior efeito nos resultados obtidos, sugerindo seu papel determinante na mitigação parcial dos impactos do rejeito e elevando a biomassa de ambos os genótipos de milho nos solos afetados. Os resultados indicam que a variedade crioula de milho sob manejo de adubação orgânica constitui estratégia sustentável e de baixo custo para a recuperação e a manutenção da produtividade em solos degradados pelos rejeitos de mineração de ferro, contribuindo para sistemas mais resilientes em contextos pós- rompimento da barragem.

Palavras-chave: contaminação; esterco; Brumadinho; soberania alimentar.

INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho (MG), em janeiro de 2019, lançou no meio ambiente milhões de toneladas de rejeito de ferro, contendo teores consideráveis de elementos-traço, em especial Fe e Mn, que contaminaram áreas de solos e os próprios cursos de água na bacia do rio Paraopeba (PEREIRA et al., 2019; PACHECO et al., 2022). A onda de rejeito percorreu o rio Paraopeba e depositou sobre suas margens sedimentos com elevados teores de elementos potencialmente tóxicos sobre os solos ribeirinhos (BUCH et al., 2023; DE SALIS et al., 2026). Antes do rompimento da barragem, as famílias ribeirinhas atingidas utilizavam as áreas de várzea para a produção agrícola, aproveitando a maior fertilidade natural desses solos, enriquecido pelas deposições de sedimentos ricos em nutrientes pelas cheias, como também descrito para sistemas tradicionais de agricultura de várzea na região amazônica e em outras regiões ribeirinhas do Brasil (FRAXE, PEREIRA & WITKOSKI, 2011; FORTES et al. 2022).

As áreas de várzea atingidas pelo rejeito eram tradicionalmente cultivadas com milho, destinado tanto para a produção de grãos visando a alimentação humana e animal, quanto para silagem para o gado. Após seis anos do rompimento da barragem, as famílias continuam sem respostas sobre a extensão da contaminação e dos riscos de cultivar nessas áreas afetadas, e a maior parte delas permanecem sem uso (Capítulos 1). Essa restrição nas áreas de cultivo representa não apenas a perda de um bem produtivo, mas também de um modo de vida construído na relação cotidiana e histórica com o rio e com o solo das várzeas.

Diferentes materiais genéticos de milho têm sido cultivados pelos agricultores ao longo da história. Dentre esses, o milho híbrido e o milho crioulo ainda coexistem em muitas regiões, a depender da proposta de agricultura de cada agricultor, mas sempre respondendo de forma diferente às condições ambientais. O milho híbrido geralmente apresenta maior potencial de rendimento, mas exige condições ótimas de cultivo para expressar essa maior produtividade esperada (BIANCHETTO et al., 2017).

Por sua vez, os milhos crioulos e variedades de polinização aberta costumam apresentar maior rusticidade e adaptação a estresses e solos com menor fertilidade, podendo apresentar boa estabilidade de rendimento em sistemas de baixo nível tecnológico e em diferentes ambientes (ARAÚJO & NASS, 2002; CARPENTIERI-PÍPOLO et al. 2010; SALEEM et al., 2021). Essas variedades tradicionais têm sido mantidas por agricultores por gerações, e seu desempenho pode surpreender ao apresentar rendimentos de grãos equivalentes ou superiores aos do milho híbrido quando manejadas adequadamente (BIANCHETTO et al., 2017).

Recuperar a capacidade produtiva dos solos de várzeas afetadas pela deposição do rejeito de mineração pode devolver às famílias atingidas a possibilidade de voltar a cultivar a cultura do milho com segurança. Neste sentido, o uso de variedades crioulas associado à adubação orgânica desponta como estratégia agroecológica promissora, tendo em vista ser este constituinte frequentemente associado à redução da biodisponibilidade de metais tóxicos no solo e à melhores características de fertilidade, como apontado por Mensah et al. (2025).

Diante do exposto, este estudo teve por objetivo avaliar o desempenho de milhos crioulo e híbrido cultivados em solos afetados pelo rejeito do rompimento da barragem da Vale, localizada em Brumadinho, e fertilizados com adubação orgânica. O presente estudo parte da hipótese que a combinação do genótipo crioulo mais rústico com o adubo orgânico reduz os efeitos negativos do rejeito de mineração e favoreceria o crescimento vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

Solo utilizado no experimento

Os solos utilizados no experimento foram coletados em áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pelo rejeito do rompimento da barragem de mineração, em propriedades da agricultura familiar na bacia do rio Paraopeba. O material foi recolhido, ensacado, seco ao ar, e posteriormente destorroado e homogeneizado para o preenchimento dos vasos do experimento. As coletas foram realizadas em 2024 em uma propriedade familiar atingida pelo rejeito no município de Esmeralda, em Minas Gerais.

As amostras de solo afetado (AF) foram coletadas nas áreas de baixada do município de Esmeralda-MG que foram cobertas pelo rejeito e sedimentos de cheias posteriores. As amostras de solo não afetado (NA) foram coletadas em áreas próximas e contínuas às áreas afetadas, na profundidade de 0 a 20 cm, a partir de amostras compostas produto de três amostras simples. A caracterização química de rotina dos solos utilizados, com e sem adubação orgânica, é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7- Análise química de rotina dos solos utilizados no experimento de cultivo de milho em solos afetados (AF) e não afetados (NA) pelo rejeito de mineração na ausência e presença (AFAO e NAAO) de adubação orgânica, 2024.

		NA	NAAO	AF	AFAO
pH		6,3	6,9	6,9	7,6
P	<i>mg dm⁻³</i>	6	22,7	8,1	11,1
K	<i>mg dm⁻³</i>	24	110	270	530
Ca²⁺	<i>cmol_c dm⁻³</i>	2,5	2,5	1,7	2
Mg²⁺	<i>cmol_c dm⁻³</i>	0,4	0,7	0,6	0,9
Al³⁺	<i>cmol_c dm⁻³</i>	0	0	0	0
H+Al	<i>cmol_c dm⁻³</i>	1	0,7	1,7	0,3
SB	<i>cmol_c dm⁻³</i>	3	3,6	3	4,3
CTC	<i>cmol_c dm⁻³</i>	4	4,2	4,6	4,6
V	<i>%</i>	74,9	84,4	64,4	86,6
MO	<i>dag kg⁻¹</i>	2	1,9	1,1	1,5
Zn	<i>mg dm⁻³</i>	4	3,8	3,1	4,5
Fe	<i>mg dm⁻³</i>	15,5	8,1	177	140
Mn	<i>mg dm⁻³</i>	59,8	50,9	155	158
Cu	<i>mg dm⁻³</i>	0,5	0,3	2,9	2,4
Ba	<i>mg dm⁻³</i>	0,4	0,3	0,2	0,4

P e K disponíveis e Zn, Fe, Mn, Cu, e B extraíveis (Mehlich-1); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis (KCl 1 mol/L); H+Al com acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0, SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t) e a pH 7,0 (T); Índice de Saturação de Bases (V) e Alumínio (m); MO: matéria orgânica.

Experimento

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação do Departamento de Manejo e Conservação do Solo, na Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal-MG. As unidades experimentais foram formadas por vasos de 1 dm³ de capacidade, segundo delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 × 2 × 2, com cinco repetições. Os fatores em estudo foram: impacto do rejeito (AF: áreas afetadas e NA: não afetadas), genótipo de milho (crioulo e híbrido) e adubação orgânica (com e sem esterco bovino). A variedade de milho crioulo foi obtida por doação de uma agricultora atingida na bacia do rio Paraopeba (AM, F. 62 anos), uma variedade que está sendo cultivada na família há gerações. A semente de milho híbrido foi a 'Priorizi M274' (nome comercial Morumbi), de ciclo precoce e com foco na produção de grãos e para silagem. A dose de adubação orgânica foi de 20 g de

esterco de bovino seco por unidade experimental, o que equivale a uma aplicação de 40 t/ha. Durante a aplicação, o esterco foi misturado com todo o conteúdo de solo de cada vaso.

No dia do plantio, três sementes dos dois genótipos de milho foram dispostas a 5 cm de profundidade. Depois de sete dias de cultivo, foi promovido o desbaste, deixando-se uma plântula por unidade experimental. Durante todo o experimento, todos os vasos foram mantidos com umidade próxima a 70% da capacidade de campo.

Ao final de 30 dias de cultivo, as plantas foram avaliadas quanto a parâmetros de crescimento, como: altura (H), diâmetro do colmo (D), largura (LF) e comprimento (CF) das folhas (determinados com régua e paquímetro manual). Na sequência, as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea e sistema radicular, lavadas, secas em estufa a 60°C até peso constante, para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST), sendo que MST foi obtido pela soma de MSPA e MSR.

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o fatorial $2 \times 2 \times 2$ (genótipo $\times$ impacto $\times$ adubação), com auxílio do programa SPEED Stat (CARVALHO et al., 2020). Previamente os resultados foram submetidos à verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos por Jarque-Bera e homogeneidade de variâncias por Bartlett e Cochran, ambos considerando $\alpha = 0,05$. As variáveis que não atenderam os pressupostos sofreram transformação de Box-Cox. As comparações entre genótipos foram conduzidas por contrastes planejados de crioulo vs. híbrido dentro de cada combinação de impacto $\times$ adubação (C1 a C4), e avaliados por meio do Teste t com ajuste de Holm para a família de quatro comparações ($\alpha = 0,05$). Neste procedimento foi utilizado o quadrado médio e os graus de liberdade do resíduo da ANOVA. Os gráficos foram elaborados em linguagem Python, com a biblioteca Matplotlib (HUNTER, 2007).

Para preservar o anonimato, os nomes foram substituídos por siglas formadas pelas iniciais, idade e seguidas da indicação de gênero, p. ex. (MO, 36 anos, F).

Utilização de ferramentas de IA

Durante a redação deste texto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial (IA): ChatGPT (versão 4.0), OpenAI e Claude (versão 4.8 Opus). O objetivo do uso foi para revisar a redação e aprimorar a coesão e fluidez do texto. Após o uso das ferramentas indicadas, o conteúdo gerado foi criticamente revisado buscando evitar imprecisões e alucinações algorítmicas ou interpretações distorcidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e produção de biomassa do milho

A caracterização química dos solos (Tabela 7) confirma a alteração descrita no Capítulo 2 da presente tese. Em relação ao solo não afetado, o solo afetado pelo rejeito e sem a adubação orgânica apresentou maiores teores de Fe (15,5 para 177 mg dm⁻³), Mn (59,8 para 155 mg dm⁻³) e Cu (0,5 para 2,9 mg dm⁻³), com redução de 45% nos teores de matéria orgânica (2,0 para 1,1 dag kg⁻¹), além de menor acidez (pH 6,9 contra 6,3) e maior teor de K disponível. A adubação orgânica elevou os teores de matéria orgânica, P, K e a saturação por bases em ambos os solos.

Os resultados envolvendo o desenvolvimento dos genótipos de milho (crioulo e híbrido) mostraram interações significativas para altura, largura de folha, diâmetro do caule, e produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total. Essas interações dependeram do solo (afetado ou não) e da adubação orgânica (com ou sem), como indicam as interações significativas envolvendo o genótipo. Os genótipos foram comparados dentro de cada combinação de solo e adubação (Tabela 8 e Figuras 15 e 16).

A adubação orgânica foi um fator determinante para os resultados obtidos, proporcionando melhor crescimento e maior produção de biomassa do milho ($p < 0,001$) para os dois genótipos tanto no solo afetado como no não afetado pelos rejeitos. No solo afetado, os ganhos na adição de esterco para altura, o diâmetro do colmo, largura e comprimento da folha do milho crioulo foram de 69%, 93%, 48% e 67%, respectivamente, enquanto para o híbrido foram de 22%, 57%, 36% e 36%. No solo não afetado, por sua vez, os mesmos ganhos foram de 33%, 61%, 51% e 32% para o crioulo, e de 36%, 65%, 45% e 25% para o híbrido.

Na comparação entre os genótipos, o maior ganho ocorreu no solo não afetado sem adubação, com o milho crioulo apresentando maior diâmetro do colmo (+ 41%, $p \leq 0,04$) e produção de massa seca da parte aérea (+71%, $p < 0,0001$), raízes (+76%, $p = 0,021$) e total (+74%, $p < 0,0001$). No solo afetado pelos rejeitos com adubação orgânica, o milho crioulo superou o híbrido em altura (+26%; $p \leq 0,006$), comprimento de folha (+22%; $p \leq 0,0012$) e produção de massa seca de raízes (+41%).

Tabela 8- Crescimento e desenvolvimento de plantas de milho híbrido e crioulo cultivadas por 30 dias em solo afetado (AF) e não afetado (NA) pelo rejeito de mineração, sem e com adubação orgânica.

Variável	Solo afetado (AF)				Solo não afetado (NA)			
	Sem adubação		Com adubação		Sem adubação		Com adubação	
	Híbrido	Crioulo	Híbrido	Crioulo	Híbrido	Crioulo	Híbrido	Crioulo
H (cm)	11,86	10,8	14,50	18,24	12,20	12,34	16,64	16,36
D (mm)	29,6	24,3	46,5	46,9	21,8	30,7	35,9	49,5
LF (cm)	2,22	1,98	3,02	2,94	1,74	1,92	2,52	2,90
CF (cm)	33,08	32,96	45,10	55,00	34,84	35,84	43,60	47,20
MSPA (g)	0,68	0,62	1,32	1,11	0,42	0,71	0,94	1,33
MSR (g)	0,64	0,71	0,67	0,94	0,42	0,75	0,62	1,14
MST (g)	1,32	1,33	1,99	2,06	0,84	1,46	1,56	2,47

Altura (H), diâmetro (D), largura (LF), comprimento (CF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca total (MST).

CV = coeficiente de variação (%): H (11,7); D (5,4); LF (12,0); CF (9,4); MSPA (13,0); MSR (24,1); MST (11,8).

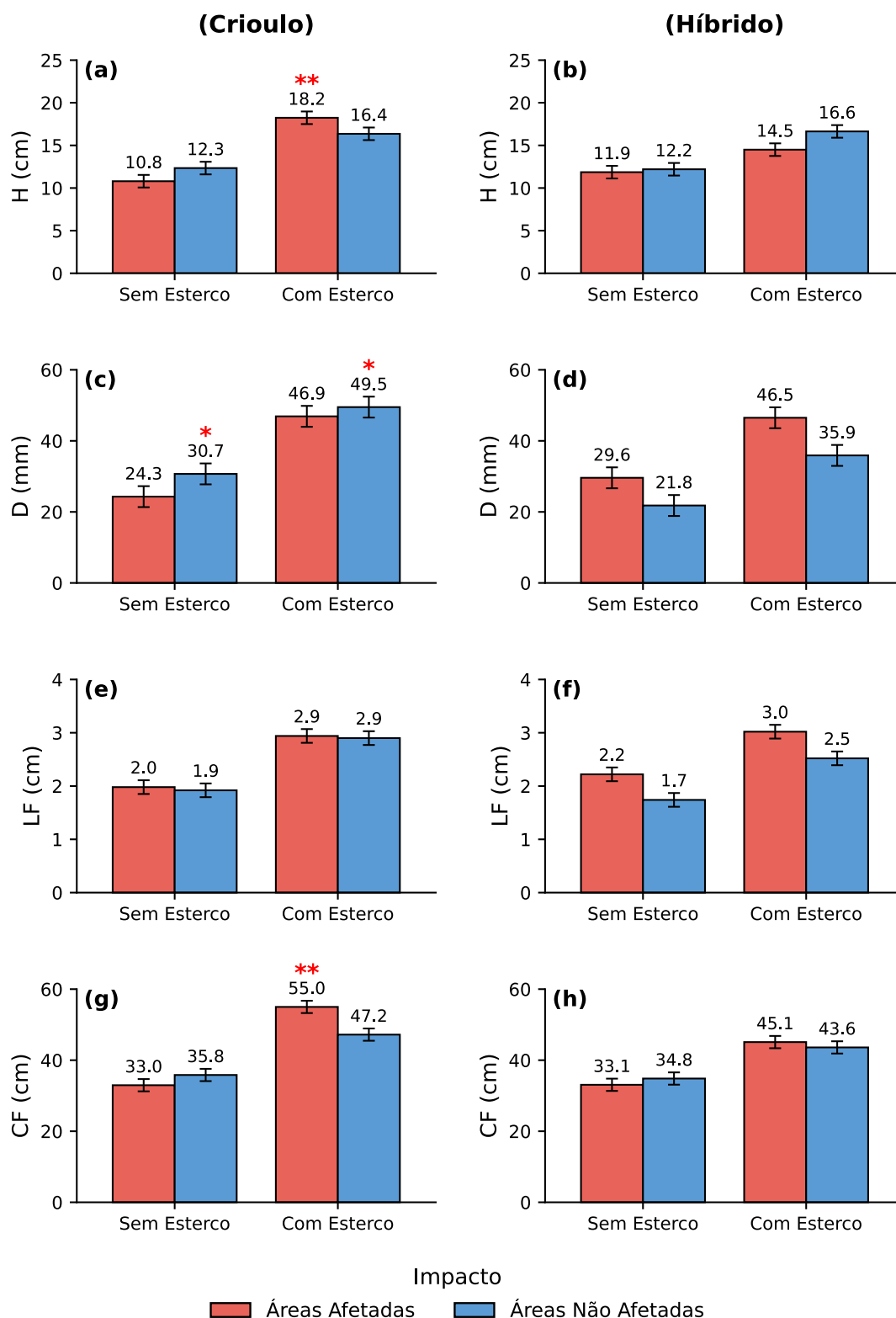


Figura 15- Altura (H), diâmetro do colmo (D), largura (LF) e comprimento da folha (CF) de plantas de milho crioulo e híbrido cultivadas por 30 dias em solo afetado (AF) e não afetado (NA) por rejeito de mineração, na ausência e presença de adubação orgânica (esterco). Valores indicados são médias e barras indicam erro-padrão ($n = 5$). * e ** indicam superioridade do milho crioulo sobre o híbrido na mesma condição (contraste planejado, ajuste de Holm), a 5% e a 1%, respectivamente.

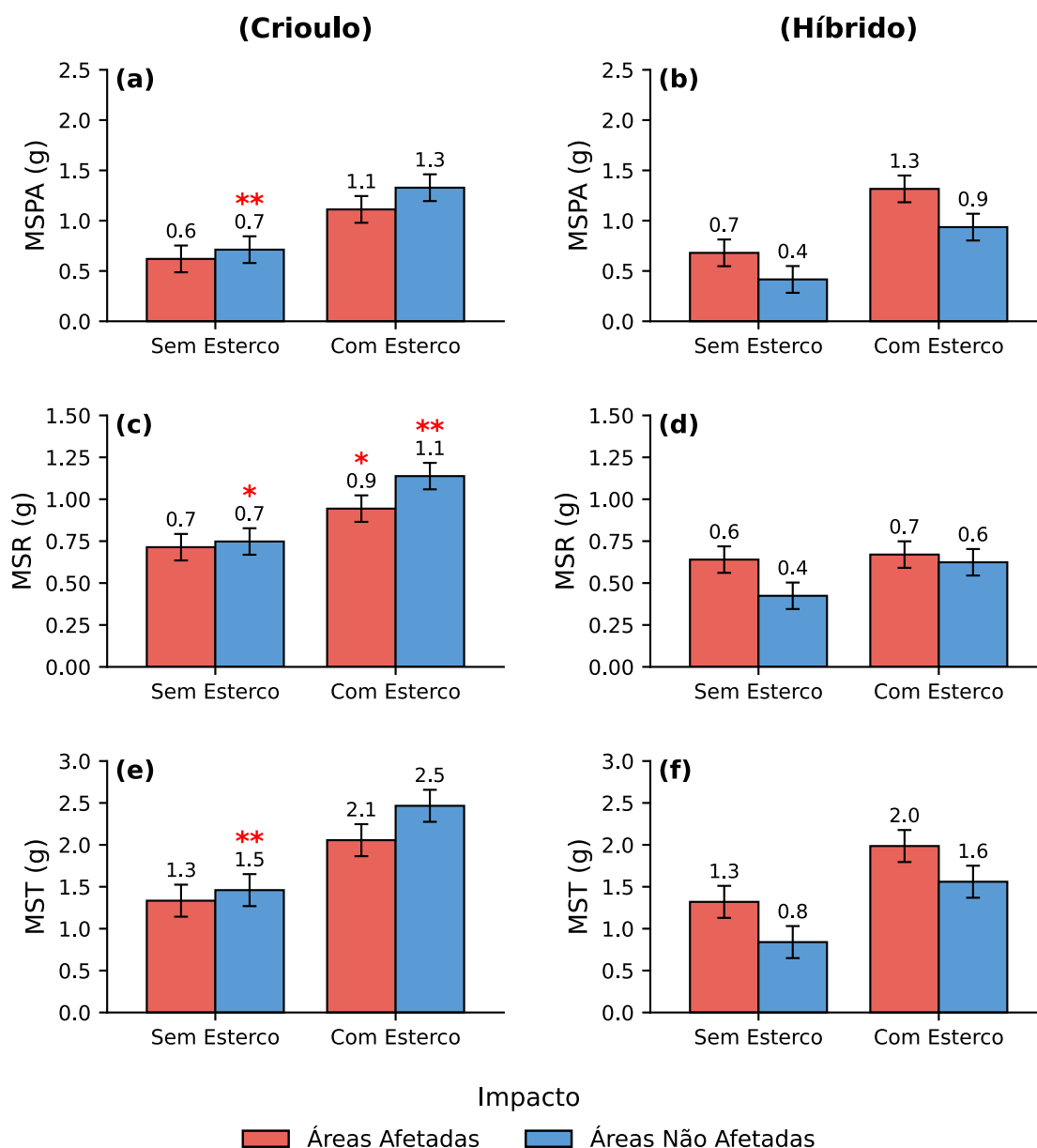


Figura 16- Massa seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR) e total (MST) de plantas de milho crioulo e híbrido cultivadas por 30 dias, em solo afetado (AF) e não afetado (NA) por rejeito de mineração, na ausência e presença de adubação orgânica (esterco). Valores indicados são médias e barras indicam erro-padrão (n = 5). * e ** indicam superioridade do milho crioulo sobre o híbrido na mesma condição (contraste planejado, ajuste de Holm), a 5% e a 1%, respectivamente.

O solo não afetado pelos rejeitos e que recebeu a adubação orgânica apresentou maior produção de massa seca de raízes (+82%; $p \leq 0,0003$) e diâmetro do colmo (+38%; $p \leq 0,03$). Os resultados obtidos são particularmente relevantes quando analisados a partir das características dos solos utilizados no experimento. Os solos afetados pelo rejeito apresentaram baixa acidez e maior aporte de alguns nutrientes, mas essas melhorias não podem ser necessariamente interpretadas como melhoria da qualidade do solo, uma vez que foram associadas a natureza do rejeito e acompanhados do enriquecimento em metais, além da redução de 45% na matéria orgânica (Tabela 7). Neste cenário, a adição do esterco melhorou a matéria orgânica do solo, componente associado à fertilidade, estrutura e retenção da água no solo, e ajudam a explicar o maior crescimento do milho sob esse manejo.

Resultados semelhantes de melhorias no desenvolvimento de culturas em rejeitos de mineração de ferro também foram identificados com vermicomposto (DE FÁTIMA ESTEVES et al., 2020), bioossólidos (AL-LAMI et al., 2019), condicionadores organominerais associados a rizobactérias (BENIDIRE et al., 2021) e a combinação de biochar e composto (VIRÚ-VÁSQUEZ et al., 2025). A inoculação com bactérias endofíticas também reduziu o efeito de Zn e Ni e promoveu o crescimento do milho em solo contaminado (SHAHZAD et al., 2023).

Ao melhorar a fertilidade e diminuir parte das limitações do solo afetado, o uso da adubação orgânica constitui uma estratégia de mitigação dos impactos do rejeito sobre o cultivo (HUSSAIN et al., 2022; MANZOOR et al., 2024). Os condicionadores orgânicos também tendem a reduzir a disponibilidade dos metais em solos de mineração (MENSAH et al., 2025).

Quando comparados os genótipos, o milho crioulo superou o milho híbrido na produção de biomassa em três das quatro condições avaliadas (solo afetado com adubação, e na presença e ausência de esterco no solo não afetado), especialmente de raízes. Esse melhor desenvolvimento de raízes no milho crioulo na presença da adubação orgânica pode ser associado aos maiores ganhos de biomassa. Esses resultados são particularmente relevantes para o solo afetado pelo rejeito, tendo em vista que apresenta baixos teores de matéria orgânica e enriquecimento em metais no solo afetado. Em solos com essas limitações, um sistema radicular bem desenvolvido consegue absorver mais água e nutrientes, além do que maiores teores de matéria orgânica por si só são um dos pilares de uma melhor qualidade do solo. Exemplo dessa relação pode ser desprendida do estudo de Casas (2024) na bacia do rio Doce. A autora observou podridão em raízes de mandioca cultivadas em solos afetados pelo rejeito, associando o fenômeno à perda de estrutura do material e redução da matéria orgânica. Por sua vez, Esteves et al. (2020) atribuíram parte do efeito benéfico do condicionador orgânico à melhoria das condições do solo para o crescimento radicular.

Na condição mais restritiva do solo afetado e sem a adubação, não se verificaram diferenças entre os genótipos em nenhuma das variáveis avaliadas. É importante destacar que esse resultado significa ausência de destaque de diferenças, e não equivalência entre os genótipos avaliados, uma vez que o teste não demonstra igualdade, apenas não foi capaz de encontrar diferenças estatísticas (ALTMAN; BLAND, 1995). O resultado sugere que, sem adubação, as limitações do rejeito são expressivas, tanto físicas (compactação, baixa condutividade) e como químicas (metais tóxicos, baixa matéria orgânica, além de níveis fitotóxicos de Mn e textura mais siltosa), assim como descritas no Capítulo 2.

A deposição do rejeito impõe limitações para ambos os genótipos na ausência do manejo orgânico, ainda que possa haver uma certa tolerância inicial do milho a rejeitos de mineração de ferro (ESTEVES et al., 2020). De uma forma geral, os genótipos de milho seguem a tendência de redução de crescimento e produtividade no solo contaminado, como também observado por Maia et al. (2025).

Os resultados deste experimento corroboram as observações obtidas com os etnoindicadores sistematizados no Capítulo 1 desta tese. As famílias atingidas identificam nas plantas um dos sinais mais confiáveis da qualidade do solo, descrevendo as lavouras das áreas atingidas como “mirradas”, amareladas e “caneludas”, incapazes de completar o ciclo, e associando o vigor vegetativo à fertilidade da terra (*“Reconhecemos pela planta. Quando ela fica amarelada, caneluda, então o solo não tá legal”*, AM, 50 anos).

O experimento conduzido demonstra, em condições controladas, a limitação imposta pelo solo afetado pelo rejeito e o ganho proporcionado pela adubação orgânica associado com o uso de variedades crioulas. Essa constatação adicionalmente oferece subsídio à pergunta recorrente nas comunidades atingidas sobre a possibilidade de retomar o plantio (*“Agora eu preciso plantar? (...) Será que posso plantar novamente?”*, M.A., 73 anos). Neste cenário, os resultados indicam um caminho para a produção de milho nesses solos afetados pelos rejeitos. Entretanto, a capacidade de produzir biomassa não significa segurança para o consumo. Estudos demonstram que o milho e outras culturas cultivadas em solos ou nas proximidades de rejeitos de mineração acumulam metais pesados e As em seus tecidos, com redução de desenvolvimento e risco à saúde de animais e humanos (ARMIENTA et al., 2020; RUIZ-HUERTA et al., 2021; BUCH et al., 2026), a ponto de o consumo ser considerado desaconselhável mesmo quando há crescimento das plantas (ARAÚJO et al., 2022). Além do enriquecimento em Ni, Cr, Cd e outros elementos com a deposição dos rejeitos (como descrito no Capítulo 2), a consequente redução da matéria orgânica dos solos afetados poder aumentar a disponibilidade desses metais (“menos pode ser mais”, CASAS, 2024, p. 84). Desta forma, o uso produtivo dessas áreas deve

ser necessariamente acompanhado do monitoramento da acumulação de metais nas partes comestíveis antes de qualquer destinação à alimentação humana ou animal.

O experimento do presente estudo avaliou o crescimento inicial em vasos em condições de casa de vegetação e por um único ciclo, com foco na produção de biomassa. Assim, os resultados indicam tendências e potencialidades do manejo, e não estimativas de produtividade em condições reais de cultivo.

Do ponto de vista agroecológico e da soberania alimentar, os resultados reforçam o potencial das variedades crioulas associadas à adubação orgânica como estratégia de baixo custo e autônoma para a soberania alimentar das comunidades rurais. Segundo Azevedo (2023), essas sementes “constituem-se no estoque de diversidade genética e atendem ao princípio de se adaptar às condições locais”, garantindo oferta de alimentos diversos e resilientes a variações ambientais. Essa perspectiva está alinhada à definição de soberania alimentar de Wittman et al. (2010), que enfatizam o direito das comunidades de controlar seus sistemas alimentares (métodos de produção, mercados, políticas) e de fomentar circuitos locais de produção agroecológica.

O uso de sementes crioulas dispensa a aquisição anual de sementes e reduz a dependência de pacotes de insumos externos, ao mesmo tempo em que conserva a agrobiodiversidade local, dimensões centrais para famílias que, conforme demonstrado no Capítulo 1, tiveram a produção de milho, feijão e leite reduzida e sua autonomia alimentar comprometida após a remobilização do rejeito com as cheias posteriores.

Como extensão deste trabalho, dados complementares de acumulação de metais pesados no tecido vegetal, amostras de folhas e raízes foram submetidas a análise de ICP-OES, absorção atômica, porém as interpretações completas desses resultados serão apresentadas em publicação subsequente, contribuindo para o entendimento mais holístico do comportamento da planta em relação à disponibilidade de nutrientes e contaminantes.

CONCLUSÕES

A adubação orgânica foi o fator determinante para o crescimento e a produção de biomassa do milho nos solos afetados pelo rejeito, elevando o desempenho de ambos os genótipos e confirmando seu papel na mitigação dos impactos.

O milho crioulo igualou ou superou o híbrido, com vantagem expressiva na produção de raízes, demonstrando maior adaptabilidade a ambientes de estresse e menor dependência de insumos. A combinação de variedades crioulas com adubação orgânica em solos impactados

por rejeitos de mineração de ferro constitui estratégia agroecológica potencialmente eficaz e de baixo custo para recuperar e manter a produção de milho.

Destaca-se que a capacidade de produzir biomassa não equivale à segurança para o consumo. Pesquisas futuras devem avaliar o ciclo completo das plantas em campo, a produção de grãos e, sobretudo, a concentração de elementos potencialmente tóxicos nas partes consumidas, de modo a subsidiar decisões seguras sobre o uso produtivo dos agroecossistemas atingidos.

REFERÊNCIAS

- AL-LAMI, MK, OUSTRIERE, N., GONZALES, E., & BURKEN, JG. Revegetação de rejeitos de mineração assistida por emendas: melhoria da qualidade dos rejeitos e produção de biomassa. *International Journal of Phytoremediation*, v. 21, n. 5, p. 425-434, 2019.
- ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Absence of evidence is not evidence of absence. *BMJ*, v. 311, p. 485, 1995.
- ARAÚJO, BD, MAIA, R., ARANTES-GARCIA, L., OKI, Y., NEGREIROS, D., DE ASSIS, IR, & FERNANDES, GW. Réplicas do desastre de Samarco: crescimento reduzido e aumento do teor de metais em *Raphanus sativus* cultivado em solo com rejeitos de mineração. *Acta Scientiarum. Ciências Biológicas*, v. 44, p. 1-12, 2022.
- ARAÚJO, P. M. de; NASS, L. L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. *Scientia Agricola*, v. 59, p. 589-593, 2002.
- ARMIENTA, M. A., BELTRÁN, M., MARTÍNEZ, S., & LABASTIDA, I. Heavy metal assimilation in maize (*Zea mays* L.) plants growing near mine tailings. *Environmental geochemistry and health*, v. 42, n. 8, p. 2361-2375, 2020.
- AZEVEDO, S. A. Sementes crioulas: patrimônio genético e soberania alimentar. São Paulo: Expressão Popular, 2023.
- BENIDIRE, L., MADLINE, A., PEREIRA, S. I. A., CASTRO, P. M. L., & BOULARBAH, A. Synergistic effect of organo-mineral amendments and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the establishment of vegetation cover and amelioration of mine tailings. *Chemosphere*, v. 262, p. 127803, 2021.
- BIANCHETTO, R., FONTANIVE, D. E., CEZIMBRA, J. C. G., KRYNSKI, Â. M., RAMIRES, M. F., ANTONIOLLI, Z. I., & SOUZA, E. L. Desempenho agrônomo de milho crioulo em diferentes níveis de adubação no Sul do Brasil. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, v. 3, n. 3, p. 528–545, 2017. DOI: 10.21674/2448-0479.33.528-545.

Disponível em: <https://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/993>. Acesso em: 24 nov. 2025.

- BUCH, A. C., NIEMEYER, J. C., SIMS, D. B., MARQUES, E. D., YADAV, K. K., OBAIDULLAH, A. J., Silva, C. R., DA SILVA-FILHO, E. V. Phytotoxicity and metal mobility in soils contaminated with mine tailings. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 48, n. 7, p. 313, 2026.
- BUCH, A. C., SIMS, D. B., CORREIA, M. E. F., MARQUES, E. D., & SILVA-FILHO, E. V. Preliminary assessment of potential pollution risks in soils: case study of the Córrego do Feijão Mine dam failure (Bromadinho, Minas Gerais, Brazil). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 37(8), 569-589. 2023.
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V., SOUZA, A. D., SILVA, D. A. D., BARRETO, T. P., GARBUGLIO, D. D., & FERREIRA, J. M. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 2, p. 229-233, 2010.
- CARVALHO, A. M. X. de et al. The SPEED Stat: a free, intuitive and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 20, n. 3, e327420312, 2020.
- CASAS, N. A. C. “Resistir e construir história”: etnoindicadores e indicadores de avaliação dos impactos do rompimento da barragem do Fundão em agroecossistemas na bacia do rio Doce. Tese (Doutorado em Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.
- DE FÁTIMA ESTEVES, G., DE SOUZA, K. R. D., BRESSANIN, L. A., ANDRADE, P. C. C., JÚNIOR, V. V., DOS REIS, P. E., Silva, A. B., MANTOVANI, J. R., MAGALHÃES, P. C., PASQUAL, M., DE SOUZA, T. C. Vermicompost improves maize, millet and sorghum growth in iron mine tailings. *Journal of environmental management*, v. 264, p. 110468, 2020.
- DE SALIS, H. H. C; CHUMBINHO, A. de L; STOPA, I. P; FONTES, M. A. Monitoring Tailings Remobilization After the VALE SA Dam Failure in Brumadinho: Impacts of Extreme Floods Assessed Through Remote Sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, p. 101898, 2026.
- ESTEVES, G. D. F., BRESSANIN, L. A., DE SOUZA, K. R. D., DA SILVA, A. B., MANTOVANI, J. R., MARQUES, D. M., MAGALHÃES, P. C., PASQUAL, M., DE SOUZA, T. C. Do tailings from the Mariana, MG (Brazil), disaster affect the initial development of millet, maize, and sorghum? *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 31, p. 38662-38673, 2020.

- FORTES, B. C. S., TEIXEIRA, M. C. V., DA COSTA, S. P., WAGNER, M., & SCOTTI, M. (2022). Post-disaster recovery plan for a rural settler's community affected by the Fundão dam tailings in Brazil. *Journal of Rural Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.013>
- FRAXE, T. JP; PEREIRA, H. S.; WITKOSKI, A. C. (Ed.). Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais. Reggo, p. 98130-7129, 2011.
- HUNTER, J. D. Matplotlib: a 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007.
- HUSSAIN, M. I., KHAN, Z. I., AKHTER, P., AL-HEMAID, F. M., AL-HASHIMI, A., ELSHIKH, M. S., YANG, H. H. Potential of organic amendments for heavy metal contamination in soil–coriander system: Environmental fate and associated ecological risk. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11374, 2022.
- MAIA, R., OKI, Y., BARBOSA, M., LOURO BARBARA, R. L., & FERNANDES, G. W. Maize grown in soil contaminated by mining tailings shows reduced growth and yield. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, v. 47, n. 1, 2025.
- MANZOOR, M. Z., SARWAR, G., IBRAHIM, M., REHAN, S. S., HASNAIN, Z., RAIS, A., KHAN, S. Remediation quantum of organic amendments to immobilize potentially toxic heavy metals in wastewater-contaminated soils through maize cultivation. *Frontiers in Environmental Science*, v. 12, p. 1420705, 2024.
- MENSAH, A. K.; SEKYI-ANNAN, E.; AMOAKWAH, E. Availability and mobilization of potentially harmful elements in contaminated mining sites: A systematic review of using soil amendments and plants for remediation. *Journal of Trace Elements and Minerals*, p. 100234, 2025.
- PACHECO, F. A. L., DO VALLE JUNIOR, R. F., DE MELO, M. M. A. P., PISSARRA, T. C. T., DE MELO, M. C., VALERA, C. A., & FERNANDES, L. F. S. Prognosis of metal concentrations in sediments and water of Paraopeba River following the collapse of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). *Science of The Total Environment*, v. 809, p. 151157, 2022.
- PEREIRA, L. F.; DE BARROS CRUZ, G.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 122-129, 2019.
- RUIZ-HUERTA, E. A., ARMIENTA-HERNÁNDEZ, M. A., DUBROVSKY, J. G., & GÓMEZ-BERNAL, J. M. Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (*Zea mays* L)

grown close to mine tailings strongly impacts plant development. *Ecotoxicology*, v. 31, n. 3, p. 447-467, 2022.

- SALEEM, S., MUSHTAQ, N., SHAH, W. H., RASOOL, A., HAKEEM, K., & REHMAN, R. Morpho-Physiological, Biochemical and Molecular Adaptation of Millets to Abiotic Stresses: A Review. *Phyton*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.014826>
- SHAHZAD, A.; SIDDIQUE, A.; FERDOUS, S.; AMIN, M.; QIN, M.; ASLAM, U.; NAEEM, M.; BASHIR, T.; SHAKOOR, A. Heavy metals mitigation and growth promoting effect of endophytic *Agrococcus terreus* (MW979614) in maize plants under zinc and nickel contaminated soil. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1255921.
- VIRÚ-VASQUEZ, P., PILCO-NUÑEZ, A., TINEO-CORDOVA, F., MADUEÑO-SULCA, C. T., QUISPE-OJEDA, T. C., ARROYO-PAZ, A., NUÑEZ-BUSTAMANTE, E. Integrated biochar–compost amendment for *zea mays* L. phytoremediation in soils contaminated with mining tailings of Quiulacocha, Peru. *Plants*, v. 14, n. 10, p. 1448, 2025.
- WITTMAN, H.; DESMARAIS, A. A.; WIEBE, N. (Orgs.). *Soberania alimentar: uma introdução*. São Paulo: Editora Expressão Popular, 2010.

PESQUISA PARTICIPATIVA EM TERRITÓRIOS ATINGIDOS: INTERCÂMBIOS AGROECOLÓGICOS COMO METODOLOGIA CIENTÍFICA

Resumo: O rompimento da barragem da Vale S.A., em Brumadinho (MG), em 2019, atingiu o solo, a água, a biodiversidade e as comunidades rurais da bacia do rio Paraopeba, que seguem excluídas das decisões sobre a reparação de seus territórios. Neste cenário, este estudo teve por objetivo analisar a contribuição dos intercâmbios agroecológicos como método de pesquisa para monitoramento participativo conduzido segundo princípios da pesquisa-ação, buscando a construção do conhecimento agroecológico, o monitoramento ambiental participativo e o diálogo dos resultados da pesquisa com as famílias atingidas. Três intercâmbios agroecológicos foram realizados com famílias da Região 3 da referida bacia entre 2024 e 2025, cada um com um dos seguintes objetivos específicos: socialização dos etnoindicadores identificados nas entrevistas; promoção da observação crítica do território e apresentação da Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo; e diálogo com os resultados das análises de solos e do experimento com milho crioulo e híbrido. Os encontros seguiram um percurso metodológico comum, composto pelas etapas: mística, história da família, caminhada com instalação artístico-pedagógica, círculo de cultura, troca de sementes e mesa da partilha, e foram analisados por meio da análise de conteúdo. As famílias construíram etnoindicadores das mudanças do território organizados em sete categorias (solo, água, plantas e biodiversidade, alimentação, fauna, emoções e memória, e resistência), que dialoga com a alteração da qualidade do solo e com o desempenho do milho crioulo, assuntos tratados nos capítulos anteriores. A observação das famílias foi capaz de identificar alterações nos solos que a análise química de rotina não foi capaz de demonstrar. Os intercâmbios mostraram-se um método capaz de: integrar conhecimento científico e saberes locais, devolver às famílias o conhecimento produzido sobre seu território e reconhecer a capacidade desses atores sociais de observar, analisar e diagnosticar o ambiente em que vivem, contribuindo assim para a construção da necessária reparação socioambiental.

Palavras-chave: agroecologia; atingidos; etnoindicadores; pesquisa-ação; troca de saberes.

INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem da Vale S.A., em Brumadinho (MG), em 2019, provocou danos ao solo, à água, à biodiversidade e às comunidades rurais da bacia do rio Paraopeba, somando aos prejuízos ambientais uma série de perdas econômicas e sociais, bem como à saúde física e mental das famílias atingidas (PEREIRA et al., 2019; PACHECO et al., 2022; NACAB, 2023). A esses danos soma-se ainda outro, menos visível, que se refere ao fato de os atingidos serem frequentemente excluídos das decisões que dizem respeito à própria vida e ao próprio território nas instâncias de reparação, onde políticos e cientistas são frequentemente chamados a opinar, mas os que realmente vivem e conhecem o lugar o são raramente (FREITAS et al., 2019; CASAS, 2024).

O conhecimento científico apresenta grande relevância, mas não tem a capacidade de substituir integralmente o saber das pessoas que vivem em comunidades atingidas. Esse saber, acumulado na convivência cotidiana com a terra, a água e as plantas, constitui um sistema próprio de leitura do ambiente (TOLEDO; BARRERA-BASSOLS, 2008). Desconsiderar esse saber simplifica o diagnóstico dos impactos e compromete a construção de respostas adequadas às necessidades locais; e reconhecê-lo, por outro lado, exige métodos capazes de articular, e não apenas aplicar, o conhecimento técnico e o conhecimento local (LARANJEIRA et al., 2019).

Entre esses métodos com capacidade de articulação do conhecimento técnico e local está a pesquisa-ação. Sob essa abordagem investigar a realidade e transformá-la são tarefas inseparáveis e os sujeitos do território são reconhecidos como co-pesquisadores (THIOLLENT, 1986; TRIPP, 2005; REASON; BRADBURY, 2008). Fals Borda nomeou e sistematizou essa abordagem na América Latina ao defender que conhecer a realidade implica participar dela para transformá-la (BORDA, 1979, 2008). No Brasil, a agroecologia incorporou esses princípios para a construção do conhecimento agroecológico, ancorada na crítica freiriana à extensão rural e na educação popular, que tomam a comunicação como prática emancipadora (FREIRE, 1983; BRANDÃO; BORGES, 2007). Neste contexto, o conhecimento é produzido de forma coletiva e situada, articulando corpo, território e memória em ações educativas (DA SILVA, 2020; LARANJEIRA et al., 2019).

A valorização do saber local sobre a natureza aproxima a pesquisa-ação das etnociências, as quais estudam os conhecimentos das populações sobre os elementos de seu ambiente. No caso do solo, foco desta tese, o campo é a etnopedologia, que analisa as observações, as classificações e o manejo do solo elaborados pelos agricultores e os aborda

como sistemas complexos, historicamente construídos e transmitidos entre gerações (BARRERA-BASSOLS; ZINCK, 2003; TOLEDO; BARRERA-BASSOLS, 2008).

Na etnopedologia recorre-se com frequência aos etnoindicadores de qualidade do solo, que são sinais e parâmetros que os agricultores utilizam para avaliar o solo a partir da sua observação e experiência (BARRIOS et al., 2006; CALIXTO, 2015). Quando construídos conjuntamente por agricultores e pesquisadores, esses indicadores ampliam a precisão ambiental e a relevância sociocultural da avaliação (CALIXTO, 2015; CARDOSO; FERRARI, 2006). Os etnoindicadores ambientais são sinais e observações com que as comunidades avaliam mudanças no solo, vegetação, água e clima e, de forma mais ampla, mostram-se sensíveis às transformações do território e úteis para o monitoramento ambiental, sobretudo em contextos de conflito e injustiça socioambiental (CASTILLO; ROSTAGNO; LADIO, 2020; DIAS, 2022; CASAS, 2024).

A construção desses etnoindicadores e o diálogo entre saberes requerem espaços de encontro. Os intercâmbios agroecológicos cumprem esse papel e, para além de momentos formativos, constituem instrumentos metodológicos da pesquisa participativa, nos quais se articulam observação direta, reflexão coletiva, sistematização e experimentação (ZANELLI; DA SILVA, 2017; CARDOSO et al., 2021). Nesses intercâmbios, os participantes aprendem ao fazer junto, em um movimento que aproxima teoria e prática, ciência e vida cotidiana, e que produz efeitos pedagógicos, culturais e políticos (ZANELLI, 2015; REYES, 2018). Por isso, os intercâmbios favorecem tanto a identificação de etnoindicadores quanto a socialização e o debate dos resultados da pesquisa com as famílias.

A partir desses princípios foram realizados intercâmbios agroecológicos com famílias atingidas pelos rejeitos provenientes do rompimento de uma barragem de mineração, na Região 3 da bacia do rio Paraopeba, no âmbito de uma pesquisa de monitoramento ambiental participativo conduzida segundo a pesquisa-ação. Neste cenário, o presente estudo objetivou analisar a contribuição dos intercâmbios agroecológicos como método dessa pesquisa visando a construção do conhecimento agroecológico, o monitoramento ambiental participativo e o diálogo dos resultados de pesquisas com as famílias atingidas.

METODOLOGIA

A pesquisa e os três intercâmbios agroecológicos

Os intercâmbios agroecológicos integraram a pesquisa *"Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba"*, conduzida segundo os princípios da pesquisa-ação (BORDA, 1979; THIOLLENT, 1986), em parceria com o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas (NACAB). Três intercâmbios foram realizados entre abril de 2024 e agosto de 2025, cada um correspondente a uma etapa do ciclo de ação-reflexão-ação e voltado a um objetivo específico (Tabela 9). Cada encontro foi precedido de três a quatro reuniões de planejamento entre as equipes da pesquisa e do NACAB, nas quais se definiram tema, participantes convidados, formas de condução e a infraestrutura e logística necessária para a sua realização.

Tabela 9- Intercâmbios agroecológicos realizados como parte da pesquisa de *"Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba"*, na Bacia do Rio Paraopeba- MG.

<i>Intercâmbio</i>	<i>Data</i>	<i>Local</i>	<i>Objetivo</i>
<i>Sinais da Terra</i>	13/04/2024	Fazenda Ciclos, Esmeraldas (MG)	Socializar e dialogar com as famílias atingidas os etnoindicadores de mudança ambiental identificados nas entrevistas semiestruturadas.
<i>Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo</i>	13/11/2024	Ribeirão do Ouro, Florestal (MG)	Estimular a observação crítica das mudanças ambientais e apresentar a Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo.
<i>Como está a terra que você pisa?</i>	16/08/2025	Ribeirão do Ouro, Florestal (MG)	Socializar e dialogar com os resultados das análises de solo (química e física) e do crescimento do milho em solos afetados e não afetados.

Estrutura metodológica dos intercâmbios

Todos os intercâmbios agroecológicos seguiram um percurso comum, orientado pela horizontalidade e pelo protagonismo das famílias atingidas em todas as etapas de sua organização (Tabela 10). A mobilização ficou sobre a responsabilidade da equipe técnica do NACAB, sendo efetuada por meio do uso de mensagens do aplicativo WhatsApp (Meta Platforms, Inc.) e de visita domiciliares. Em ambos esses momentos era efetuado o convite, com a orientação de que os participantes levassem alimentos, mudas e sementes para a mesa da partilha e a troca.

Cada intercâmbio agroecológico foi iniciado com uma mística de abertura, momento simbólico de acolhimento e reconexão com o território, seguida da apresentação dos participantes em círculo (nome, comunidade e instituição). Na sequência, a família anfitriã contava sua história ou a história do lugar, trazendo um pouco da relação com a terra, dos impactos do desastre e nas estratégias de permanência no território. Em seguida ocorria a caminhada pela propriedade, guiada pelos anfitriões ou responsáveis, em que se percorria os quintais e as áreas afetadas pelo rejeito valorizando a observação e pedindo que os participantes recolhessem algum elemento que pudesse compor a Instalação Artístico Pedagógica (IAP) previamente montada composta de elementos naturais e culturais que estimulavam a leitura do ambiente.

De volta ao local do intercâmbio promovia-se o círculo de cultura (CARDOSO et al., 2021), momento em que cada participante apresentava o elemento recolhido na caminhada e o incluía na IAP. As falas dos participantes ao apresentar o seu elemento eram registradas em tarjetas (cartões de 20 × 10 cm) e agrupadas por tema para a síntese coletiva posterior. O encontro seguia com a troca de sementes e mudas e a mesa da partilha, com alimentos tradicionais das propriedades, e encerrava-se em círculo, com uma mística final, com orações, músicas, poesias e falas de avaliação.

Tabela 10- Percurso metodológico comum aos intercâmbios agroecológicos como parte da pesquisa de "Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba", na Bacia do Rio Paraopeba- MG.

Ação e objetivo	Realização
Mobilização: convidar e sensibilizar as famílias.	Visitas domiciliares, convites por WhatsApp e assessoria técnica (NACAB).
Mística de abertura: iniciar as atividades, acolher e reconectar ao território.	Conduzida pela equipe organizadora ou por um(a) participante, com elementos simbólicos.
Apresentação dos participantes: identificar-se e integrar o grupo.	Em círculo, cada pessoa diz o seu nome, comunidade e instituição.
História da família: criar empatia e fortalecer pelo exemplo do outro.	Os anfitriões narram suas histórias ou do lugar, a relação com a terra, os impactos do desastre e na resistência.
Caminhada pela propriedade: reconhecer práticas e impactos; trocar saberes.	Guiada pelos anfitriões, em quintais e áreas afetadas, com apoio de uma IAP.
Círculo de cultura: socializar saberes e problematizar coletivamente.	Cada participante apresenta um elemento recolhido na caminhada e seu significado; falas registradas em tarjetas.
Troca de sementes e mudas: circular a agrobiodiversidade.	Famílias levam sementes crioulas e mudas, doadas ou trocadas.
Mesa da partilha: valorizar a memória e a cultura alimentar.	Alimentos e receitas tradicionais levados e compartilhados pelas famílias.
Encaminhamentos: articular as próximas ações.	Definição coletiva do próximo encontro e das temáticas.
Mística de encerramento e avaliação: celebrar e fortalecer vínculos.	Orações e falas de avaliação e agradecimentos.

Participantes

Os participantes dos intercâmbios agroecológicos foram as famílias diretamente envolvidas na pesquisa, além de outras famílias atingidas da Região 3 da bacia do rio Paraopeba, bem como integrantes das equipes da pesquisa e do NACAB, que atuaram como co-pesquisadores. O número de participantes foi de 45 no primeiro evento (Sinais da Terra), 47 no segundo (Caminhos do Monitoramento) e 70 no terceiro (Como está a terra que você pisa?). Desse conjunto, 47 pessoas participaram de pelo menos um intercâmbio e 28 pessoas estiveram presentes em todos os encontros.

Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo foi elaborada a partir dos etnoindicadores identificados nas entrevistas semiestruturadas e no primeiro intercâmbio, e organizada em cinco categorias: plantas; solo; água; animais domésticos e silvestres; e saúde, renda e convivência. Trata-se de um instrumento de registro cotidiano das observações das famílias sobre o ambiente em que vivem, principalmente após a contaminação pelo rejeito da mineração de suas terras. Por meio da atribuição de notas e de anotações, a caderneta permite que as famílias acompanhem a qualidade ambiental de seus agroecossistemas ao longo do tempo, visando registrar, organizar e preservar o conhecimento tradicional e de subsidiar iniciativas de reparação no território. A caderneta foi apresentada e entregue às famílias no segundo intercâmbio.

Registros e análise de conteúdo

Os solos discutidos no terceiro intercâmbio foram provenientes de áreas afetadas (AF) e não afetadas (NA) pelo rejeito, em propriedades da agricultura familiar da bacia do Paraopeba, conforme discutido nos Capítulos 2 e 3. Os registros dos intercâmbios, relatórios, anotações, fotografias, vídeos e resumos apresentados em eventos acadêmicos, foram avaliados por meio da análise de conteúdo (BARDIN, 2011), em três etapas. Na primeira, os vídeos foram transcritos na íntegra e todo o material foi lido, para uma compreensão ampla do conjunto. Na segunda, extraíram-se as falas dos participantes das comunidades atingidas, de docentes e de técnicos, organizadas por temas. Na terceira, as interpretações foram feitas em diálogo com a literatura científica. Para preservar o anonimato, os nomes foram substituídos por siglas formadas pelas iniciais, idade e seguidas da indicação de gênero, p. ex. (MO, 36 anos, F).

Utilização de ferramentas de IA

Durante a redação deste texto, foram utilizadas as seguintes ferramentas de Inteligência Artificial (IA): ChatGPT (versão 4.0), OpenAI e Claude (versão 4.8 Opus). O objetivo do uso da IA foi para revisar a redação e aprimorar a coesão e fluidez do texto. Após o uso das ferramentas indicadas, o conteúdo gerado foi criticamente revisado buscando evitar imprecisões e alucinações algorítmicas ou interpretações distorcidas.

RESULTADOS

Os resultados de cada intercâmbio agroecológico são discutidos à continuação. Componentes comuns aos intercâmbios são apresentados na sequência.

Sinais da Terra

A **mística de abertura** foi realizada na forma de uma caminhada até um córrego afluente do rio Paraopeba (Figura 17). A relação afetiva dos participantes com o território foi manifestada e percebida desde o primeiro momento. Em resposta ao serem solicitados para expressar uma palavra-síntese que representasse aquele momento nota-se manifestações que expressam dor e esperança: "resiliência", "vida", "esperança", "sagrado", "reverência", "perseverança", "renascimento", "reflorescimento", ao lado de "indignação", "fragilidade" e "não desistir, ir para a luta". Essas palavras atravessavam todo o encontro, confirmando a observação das perdas e a afirmação da resistência.

A **história do lugar** narrada pelos anfitriões situou a comunidade em uma trajetória de vínculos e organização coletiva. Os moradores relataram um passado de trocas de trabalho nos roçados e colheitas, de laços estreitos entre as famílias e da transformação, após mobilização comunitária, de um antigo prédio escolar em um espaço de formação, uma "escola de comunidade". A narrativa apresentou a comunidade não apenas pelas perdas sofridas, mas pela sua capacidade de se organizar e redefinir seus rumos.

No **círculo de cultura** (Figura 18), cada participante apresentou um elemento recolhido durante a caminhada e, a partir dele, expressou sua leitura do ambiente (Tabela 11). As falas converteram objetos simples em indicadores das transformações do território. A mamona foi o sinal mais recorrente da degradação. Segundo as palavras dos participantes, onde "*antes tudo nascia*" passou a predominar a mamona e o assa-peixe, indicadores reconhecidos pelas famílias de solo degradado e de área que deixou de produzir. A fauna do solo apareceu como bioindicador na observação de que "*os cupins fugiram, não morreram, estão fugindo de onde não está bom para eles*", assim como a folha seca que "*representa a árvore e a nascente que o*

rejeito matou". As mudanças na água também foram sinalizadas, por exemplo, quando se manifesta que verificam "*cor avermelhada e o odor forte*" e na proibição relatada da pesca no Paraopeba, indicando o comprometimento da vida aquática.



Figura 17- Mística de abertura do intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento), com caminhada até o afluente do rio Paraopeba, na Fazenda Ciclos, Esmeraldas, MG; 2024. Imagens: NACAB.



Figura 18- Instalação Artístico-Pedagógica representando o rio antes e depois do rompimento; e participante expondo o elemento escolhido. Intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento). Imagens: NACAB/Arquivo pessoal

Tabela 11- Síntese do círculo de cultura do intercâmbio “Sinais da Terra” (1º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG.

Informante e informações (*)	Interpretações (**)
(AB, F); flor; <i>“oportunidade e alegria na troca de conhecimento”</i> .	Felicidade em participar do encontro e trocar conhecimentos.
(F, M); flor; <i>“Jesus Cristo vai nos orientar na luta”</i> .	A fé como combustível na luta.
(VB, M); terra contaminada; <i>“antes a gente plantava e nascia, hoje só tem mamona”</i> .	Sentimento de frustração por não poder mais cultivar em sua área.
(VR, M); flor pequena; <i>“frágil, mas tem sua importância, não é só coisas grandes”</i> .	Sentimento de que cada passo dado tem sua importância na recuperação da natureza.
(JC, M); semente de macaúba; <i>“quebrar a casca de macaúba é difícil, mas a planta rompe e cresce, que a natureza e a gente se recuperem”</i> .	Não desistir. Sentimento de que unidos podem superar os desafios.
(P, F); jurubeba; <i>“muito amargo, mas resiliente, mesmo sem cuidado ela se mantém ali”</i> .	A natureza ela cria seus mecanismos para existir, expressa que as pessoas têm que ter resiliência.
(L, M); resto de madeira; <i>“alimenta o fogo, mantém a cultura da partilha, lugar público tem que ser preservado”</i> .	Importância das relações comunitárias na luta. Memórias.
(L, M); seixo rolado; <i>“simboliza o tempo, o processo e o tempo da natureza é diferente do nosso”</i> .	Conhecimento sobre o processo das rochas na formação do solo.
(AA, F); galho seco; <i>“a natureza se transforma o tempo todo. Nada está perdido, é se unir a natureza”</i> .	Conhecimento sobre o processo de reciclagem da natureza.
(AD, M); bambu; <i>“a gente via muito na calha do Paraopeba. Será que teremos esse tempo e paciência para esperar a natureza se transformar?”</i>	Sentimento de preocupação e se teremos tempo para ver a natureza recuperada.

Tabela 11- continuação

Informante e informações (*)	Interpretações (**)
(MA, F); carrapicho; <i>“ele é forte e precisamos ser fortes também”</i> .	Sentimento de esperança e força.
(RS, F); galhos; <i>“a força de renascer na terra e dar frutos”</i> .	Conhecimento sobre o ciclo de nutrientes das plantas.
(NA, M); pedaço de madeira; <i>“nós não estamos tão conscientizados para manter a natureza viva, a Vale fez algo muito maior, mas temos nossa parcela”</i> .	Sentimento de responsabilização com o cuidado com a natureza.
(R, M); cupins; <i>“os cupins fugiram. Não morreram, eles estão fugindo de onde não está bom para eles”</i> .	Conhecimento da fauna do solo como bioindicador.
(AA, M); folha seca; <i>“representa uma árvore e a nascente do rio, e a lama matou”</i> .	Relato sobre a perda da vegetação após a contaminação do rio.

(*) participante; elemento (em negrito); síntese da fala

(**) indicador/sentido atribuído feito pela pesquisadora.

Ao lado dos sinais de perda, os participantes trouxeram elementos de resistência e de leitura do tempo da natureza. A semente de macaúba que *“rompe a casca”* para germinar; a jurubeba *“amarga, mas resiliente, que se mantém mesmo sem cuidado”*; e o carrapicho *“forte”* foram associados à própria capacidade de resistir das famílias. O seixo rolado evocou o tempo geológico (*“o tempo da natureza é diferente do nosso”*), e o galho seco indicou a reciclagem e a transformação contínua do ambiente. A dimensão espiritual e comunitária esteve presente nas falas sobre a fê *“como combustível na luta”*, sobre a *“alegria na troca de conhecimento”* e sobre a madeira *“que alimenta o fogo e mantém a partilha”*, ressaltando o comum como condição para cuidar do território. A responsabilização da empresa e de todos também foi expressa na fala *“a Vale S/A fez algo muito maior, mas temos a nossa parcela”* de cuidado com a natureza.

Ao final do intercâmbio, os participantes apontaram a necessidade de se ampliar as pesquisas e de implementar um monitoramento participativo contínuo que abrangesse fauna, flora, e solo e água, com análises laboratoriais periódicas e capazes de produzir informações para a reconstrução dos territórios atingidos.

Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo

A **mística de abertura** do intercâmbio agroecológico “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” foi conduzida com a música "Canto do Paraopeba", criando um ambiente de pertencimento e que foi recebido com palmas, manifestações de alegria, finalizando com uma participante atingida recitando espontaneamente um poema, em afirmação coletiva.

Canto do Paraopeba

*É o rio que parte,
É o rio que vem,
É a água que marca o caminho de alguém.*

*É vida na margem,
A corrente a correr,
É o tempo que leva e traz o viver.*

*É a terra que nutre,
O chão a brotar,
O verde que insiste, o peixe, o lugar.*

*Paraopeba é saudade,
É memória também,
É a lama que chega, é o grito que vem.*

*É o sonho no rio,
A paz que se espera,
A água que limpa a dor dessa terra.*

*É o povo que clama
Por justiça e valor,
É o Paraopeba pedindo amor.*

Autora: Maria Eunice Paula de Souza, 2024

A poesia que complementou a introdução musical teve por título "O encontro", de autoria de Dona Ione Maria da Silva, que narra o percurso de uma água cristalina, nascida na rocha, até perder a pureza ao encontrar o "grande rio Paraopeba" contaminado por metais pesados. A poesia traduziu, em linguagem própria do território, a observação da contaminação das nascentes e do rio.

O Encontro

*“Subi as montanhas para observar,
Na fenda da rocha, eu pude contemplar,
Gotas que caem entre as folhas,
Desciam nas rochas, molhando os ramos, galhos e raízes,
Chegando nos vales, corria nas planícies,
Até chegar nos ribeirões,
Corre, corre sem se misturar,
Com as muitas águas,
Até que chegou a um grande rio,
Então deixou a sua cor cristalina,
Deixou de ser pura,
Transformou-se em apenas água contaminada,
Com metais pesados,
Quando teve um encontro com o grande rio Paraopeba,
Assim tem sido o fim das nossas nascentes,
Com apenas um encontro com o grande rio.”*

Autora: Ione Maria da Silva, 2024.

A **caminhada** de observação percorreu o agroecossistema do Sr. Mário, cuja propriedade encontra-se em transição agroecológica (Figura 19). Os participantes foram organizados em três grupos temáticos, plantas, água e solo, cujas observações foram socializadas posteriormente na etapa seguinte quando do retorno ao local do evento (Figura 20; Tabela 13).



Figura 19- Instalação Artístico-Pedagógica e caminhada na propriedade no intercâmbio “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba-MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/NACAB.



Figura 20- Socialização dos grupos (plantas, água, solo) na caminhada pelo agroecossistema em transição, socializadas no círculo de cultura do intercâmbio “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. Imagens: NACAB

Tabela 12- Observações e interpretações dos grupos (plantas, água, solo) na caminhada pelo agroecossistema em transição, socializadas no círculo de cultura do intercâmbio “Caminhos do Monitoramento Ambiental Coletivo” (2º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG.

Grupo	Exemplo observado	Interpretação
Plantas	Diversidade de plantas	Sistema agroflorestal de frutíferas, plantas nativas e adubos verdes demonstrando biodiversidade no sistema produtivo.
	Quintal produtivo	Diversidade de hortaliças cultivadas.
Água	Fontes de água	Observação e proteção de nascente com mata ciliar, garantindo fonte perene de água limpa.
	Conservação da água	Adoção de barraginhas para assegurar água na propriedade; tanque para criação de tilápias.
Solo	Fertilidade do solo	Aplicação de composto orgânico nos canteiros para aumentar a fertilidade de forma natural.
	Cobertura do solo	Solo mantido coberto com braquiária, palhada ou adubação verde para manter a umidade e a ciclagem de nutrientes.
	Conservação do solo	Construção de curvas de nível e barreiras vivas para evitar erosão em áreas inclinadas.

A propriedade em transição agroecológica funcionou como referência concreta de manejo que conserva o solo, a água e a biodiversidade, além proporcionar o exercício da observação para registros na caderneta. Ao final, a "Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo" foi apresentada e entregue a cada participante (Figura 21).

No **círculo de cultura**, o grupo das plantas destacou o sistema agroflorestal, com frutíferas, espécies nativas e adubos verdes; e o quintal produtivo, com diversidade de hortaliças. Também destacaram as plantas alimentícias não convencionais (PANCs), como o peixinho (*Alternanthera sissoo*). O grupo da água observou a nascente protegida por mata ciliar, as barraginhas de contenção e o tanque de criação de tilápias. O grupo do solo registrou o uso de composto orgânico nos canteiros, a cobertura permanente do solo com braquiária, palhada e adubação verde, e as curvas de nível e as barreiras vivas para o controle da erosão.

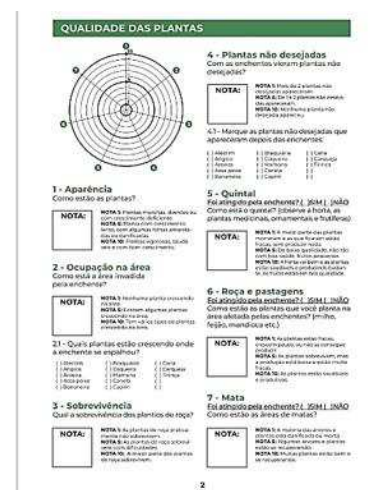


Figura 21– Apresentação da Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo, instrumento elaborado como parte desta pesquisa, na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal.

Como está a terra que você pisa?

A **mística de abertura** do intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” propôs as seguintes perguntas geradoras: “Onde eu piso? Por onde caminho e semeio? Onde me enraízo?”. Cada participante apresentou-se enquanto recebia uma semente de milho crioulo e um toque de terra no braço, em um gesto que associava corpo e território (Figura 22). As falas sobre as trajetórias e raízes múltiplas “*minhas raízes estão em diversos lugares*” revelou a diversidade de origens e a relação afetiva com os lugares por onde passaram. Aproximadamente 80 lugares de enraizamento (origem) foram apontados pelos participantes.

Na **caminhada** pela Instalação Artístico-Pedagógica (Figura 23), orientada pela pergunta “Como está a terra que você pisa?”, os participantes escolheram elementos simbólicos e, no **círculo de cultura**, expressaram suas observações das transformações do território (Figura 24).

As reflexões, registradas em tarjetas, foram organizadas em sete dimensões: solo (terra), água, plantas e biodiversidade, alimentação e produção, animais e fauna aquática, emoções e memória, e resistência e futuro (Tabela 13).

Na dimensão solo, as observações de terra “*poeirenta*”, “*dura*”, “*sem minhoca*”, que “*racha muito*” e “*precisa de esterco*” revelam a observação da perda da estrutura, de porosidade e de vida.

Na dimensão água, as falas sobre o “*ribeirão com pouca água*”, o “*poço interditado*” e a “*água da cisterna turvada pela enchente*”, além de “*não poder usar o rio para fins religiosos*”, apontam para escassez, contaminação e perda de acesso, inclusive espiritual.



Figura 22- Mística de abertura no terceiro intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: PH Reinaux/NACAB



Figura 23- Caminhada na Instalação Artístico-Pedagógica e grupos de diálogo durante o intercâmbio “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: PH Reinaux/NACAB



Figura 24- Socialização dos elementos simbólicos coletados durante a caminhada pela Instalação Artístico-Pedagógica, realizada no intercâmbio “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024.

Tabela 13- Síntese dos etnoindicadores percebidos pelas famílias no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG.

Categoria	Indicadores	Interpretações
1. Solo (terra)	<i>“Poeirenta”, “dura”, “sem minhoca”, “terra precisa molhar mais e manejar com esterco”, “solo precisa de tempo para se formar”, “muito seco”, “racha muito”</i>	Sugere perda de estrutura e porosidade, compactação e sem vida no solo.
2. Água	<i>“Ribeirão com pouca água”, “não tem mais água boa para beber e plantar”, “poço interditado”, “água da cisterna turvada pela enchente”, “não pode usar o rio para fins religiosos”, “percebo com tristeza a poluição”</i>	Reflete escassez hídrica e contaminação, perda de qualidade e de acesso inclusive espiritual à água.
3. Plantas e biodiversidade	<i>“Plantas não desenvolvem”, “frutos diminuíram”, “goiaba e pêssego pequenos e duros”, “árvores morrendo”, “poucas minhocas”, “não tem mais borboletas”, “maracujá pequeno”, “laranja santa (limão rosa) resistiu”, “mamona é planta resistente”</i>	Mostra redução da fertilidade e da biota. A “laranja santa” aparece como planta bioindicadora de resistência.
4. Alimentação e produção	<i>“Plantação seca”, “menor quantidade de alimento”, “insegurança alimentar”, “produção não está desenvolvendo”, “terra arrendada em pedacinhos de baixada” para garantir a alimentação</i>	O solo contaminado compromete a segurança alimentar e o sentido de pertencimento à terra.
5. Animais e fauna aquática	<i>“Não pode mais pescar”, “hoje o rio não tem mais vida”, “acabaram os bagres e mandis”, “antes tinha sapos”, “os passarinhos não têm o que comer no rio e vêm comer a plantação”</i>	Redução da fauna associada à água e à fertilidade do ambiente; peixes, anfíbios, insetos e aves como indicadores da perda de equilíbrio ecológico.

Tabela 14- Continuação

Categoria	Indicadores	Interpretações
6. Emoções e memória	<i>“Tragédia, foi uma grande derrota”, “tristeza”, “não chega projetos para a comunidade”, “sentimento de perda”, “passado saudável”, “vida interrompida”, “violação de direitos”, “os sonhos ficaram no meio da estrada”, “perda de esperança” “tragédia para quem foi e para quem ficou”</i>	Indica dimensão simbólica e afetiva da degradação ambiental. A terra adoecida é também a memória ferida.
7. Resistência e futuro	<i>“Buscar reconstruir a vida do solo”, “olhar pra frente sem esquecer”, “jovens devem dar continuidade”, “terra de esperança”, “estamos nos organizando, só juntos temos chance de conseguir algo”, “solo precisa de tempo para se formar”.</i>	Representa a vontade de reorganização comunitária e a observação do tempo.

Na dimensão plantas e biodiversidade registraram-se que *"as plantas não desenvolvem"*, que *"os frutos diminuíram"* e que faltam minhocas e borboletas, enquanto a *"laranja santa"* e a mamona foram citadas como plantas resistentes.

As demais dimensões reuniram a insegurança alimentar (*"menor quantidade de alimento"*, *"terra arrendada em pedacinhos de baixada"*), a redução da fauna aquática (*"não pode mais pescar"*, *"acabaram os bagres e mandis"*), a dimensão afetiva e da memória (*"tristeza"*, *"vida interrompida"*, *"violação de direitos"*) e a resistência (*"buscar reconstruir a vida do solo"*, *"os jovens devem dar continuidade"*, *"terra de esperança"*).

Diferentemente dos anteriores, este intercâmbio incluiu um momento expositivo e dialogado de socialização dos resultados de laboratório. A reflexão aprofundou a distinção entre solo afetado e não afetado (Figura 25). As famílias reconheceram que as áreas não afetadas eram situadas na transição entre a baixada e os morros, aonde o rejeito não chegou, enquanto as áreas afetadas estão nas várzeas, antes as mais férteis das propriedades.



Figura 25- Perfil de solo de uma das áreas analisadas na pesquisa, com solo afetado (esquerda) e solo não afetado (direita) por rejeito de mineração na bacia do Rio Paraopeba – MG.

O diálogo partiu da pergunta "O que existe na terra?" e da constatação coletiva de que o solo é um corpo vivo, "*não é apenas um amontoado de minerais*", mas abriga matéria orgânica e "*os seres vivos da terra*". Ao discutir a química do solo, os participantes refletiram sobre a dependência de fertilizantes importados e sobre a perda da vida do solo associada à substituição da adubação orgânica por insumos químicos. Um ponto destacado foi que, embora a análise química de rotina não tenha apontado grandes diferenças entre as áreas, as famílias afirmaram que os solos das baixadas, antes mais férteis do que os das encostas, deixaram de produzir após a deposição do rejeito. Essa constatação demonstra a sensibilidade da observação local a mudanças que análises *stricto sensu* como as de rotina não conseguem identificar.

Quando foi discutido a física do solo, os participantes identificaram de forma unânime o solo afetado como o de menor qualidade, por ser mais "*fino e poeirento*", somente observando as fotos com os resultados (Figura 26). Na sequência foram discutidas a granulometria (areia, silte e argila), porosidade, umidade e densidade do solo. Foi destacado que o solo afetado pelo rejeito apresentou maior umidade, indicando menor drenagem, e coerente com sua posição mais nas baixadas, além de apresentar maior densidade de partículas associada ao alto teor de metais do minério. As famílias relataram que no solo afetado "*a água não infiltra como antes, forma poças e demora*", e que "*nas camadas mais fundas a água nem chega*", observação que auxiliou na discussão sobre a perda de poros e de vida do solo, sintetizada na fala de um dos agricultores

de que o solo "*fecha o corpo*". Também ficou evidenciado que mesmo as encostas não atingidas pelo rejeito apresentam compactação do solo, causadas pelo uso e do manejo sobretudo com pastagens, e que as mudanças climáticas podem agravar a degradação, reforçando a importância de se manter o solo coberto.



Figura 26- Participantes observando o painel com os dados de química e física do solo, no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: NACAB

Por fim, foram socializados os resultados do experimento com milho crioulo e híbrido em solos afetados e não afetados (Figura 27). Como destaque principal dessa solicitação foi a constatação de que a adubação orgânica foi o fator de maior efeito no desenvolvimento plantas de milho, que se tornara maiores e mais vigorosas com os dois genótipos. Na comparação entre os genótipos, o milho crioulo superou o milho híbrido, com ganhos expressivos na produção de biomassa, sobretudo de raízes, e maior diferença no solo não afetado pelo rejeito e sem a adubação. O milho híbrido não superou o milho crioulo em nenhum dos tratamentos testados. Os participantes entenderam as comparações testadas e manifestaram sua observação de que o milho crioulo pode ser associado à autonomia, à diversidade e à adaptação local, e o milho híbrido, por sua vez, à dependência de insumos e à padronização. Algumas manifestações indicaram que "*o milho híbrido é uma praga*" e que esse genótipo "*gosta é de adubo químico*".



Figura 27– Socialização dos resultados de desenvolvimento dos genótipos de milho em solos afetados e não afetados pelo rejeito no intercâmbio agroecológico “Como está a terra que você pisa?” (3º evento), na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: NACAB

Troca de sementes e mudas e a mesa da partilha

A troca de sementes e mudas e a mesa da partilha são momentos comuns a todos os intercâmbios agroecológicos. Esses são momentos de circulação da agrobiodiversidade e de fortalecimento dos vínculos (Figura 28 e 29).

Como registro das diferentes sementes e mudas compartilhadas durante os intercâmbios agroecológicos, destacam-se diversas variedades de milho crioulo (amarelinho, roxo, branco, preto, vermelho, caiana, entre outros), abóbora, quiabo, mostarda, castanha do Maranhão, pitaya, limão siciliano, moranga jerimum, crotalária, pimentas diversas, alecrim, feijão preto, fava, feijão-de-porco, bálsamo, jamelão, maracujá, guandu-anão, trigo, milheto, crambe, tamarindo, variedades de arroz (agulhinha, arrozinho e vermelho), jicatupe, mucunã, graviola, mertiolate, erva baleeira, lab-lab, moringa, jatobá, chuchu, cury indiano, café arábica, pepino, múltiplas espécies de plantas medicinais, mandioca, bucha, onze-horas, açafrão, cúrcuma, árvore da vida, jardineira, amendoim, dentre outras. Para a ampla maioria de sementes e mudas era apresentado por quem trouxe para a partilha a história de uso, além de informações do ciclo da planta, modo de uso e preparo e eventual aplicação alimentícia, ornamental, espiritual e, ou medicinal.



Figura 28- Troca de sementes e mudas realizadas nos diferentes intercâmbios agroecológicos realizados na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/ NACAB



Figura 29- Mesa da partilha e encerramento dos intercâmbios agroecológicos como parte da pesquisa "Rompimento, Rejeito e Resistência: Monitoramento Participativo da Qualidade do Solo em Territórios atingidos por mineração na Bacia do Rio Paraopeba", na Bacia do Rio Paraopeba- MG. 2024. Imagens: Arquivo pessoal/ NACAB

A mesa da partilha reuniu diferentes alimentos produzidos nas propriedades, que incluíram diversos e variados tipos de biscoitos (especialmente o de polvilho), queijos, requeijões, pães, doces, frutas, sucos e bolos. Todos foram trazidos para serem partilhados no momento de acolhimento e reconhecimento mútuo.

Encerramento

O encerramento de todos os intercâmbios agroecológicos foi realizado com os participantes reunidos em roda, sendo marcado por sentimentos de gratidão e pertencimento. Frequentemente os participantes expressavam a alegria de viver um dia de aprendizado e de reencontrar pessoas que não viam havia tempo.

Uma avaliação do evento era realizada com os participantes fazendo seus comentários e sugestões para a melhoria das atividades e o melhor aproveitamento do momento que por unanimidade foi considerado uma pausa relevante de reflexão, troca de experiências e aprendizado coletivo.

Síntese dos etnoindicadores

Ao longo dos três intercâmbios agroecológicos realizados, as observações das famílias sobre as transformações do território convergiram para um conjunto de etnoindicadores ambientais, organizados em sete dimensões que foram consolidadas no Quadro 13. No solo, os sinais de terra *"poeirenta"*, *"dura"*, *"sem minhoca"*, que *"racha muito"* e *"precisa de esterco"* apontam perda de estrutura, de porosidade e de vida. Na água, o *"ribeirão com pouca água"*, o *"poço interditado"*, a *"água turvada pela enchente"* e a impossibilidade de *"usar o rio para fins religiosos"* indicam escassez, contaminação e perda de acesso, inclusive espiritual. Nas plantas e na biodiversidade, as observações de que *"as plantas não desenvolvem"*, de frutos pequenos e da ausência de minhocas e borboletas sinalizam a redução da fertilidade e da biota, enquanto a mamona e a laranja santa destacam-se como plantas bioindicadoras de resistência. Na alimentação e produção, a *"menor quantidade de alimento"* e o arrendamento da terra *"em pedacinhos de baixada"* expressam a insegurança alimentar. Nos animais e fauna aquática, o fim da pesca e o desaparecimento de bagres, mandis, sapos e aves indicam o desequilíbrio ecológico. Nas emoções e memória, palavras como *"tristeza"*, *"vida interrompida"* e *"violação de direitos"* revelam a dimensão afetiva da degradação. E na resistência e futuro, falas como *"reconstruir a vida do solo"*, *"os jovens devem dar continuidade"* e *"terra de esperança"* afirmam a vontade de reorganização comunitária e a observação de que *"o solo precisa de tempo para se formar"*.

Todos esses etnoindicadores que foram construídos coletivamente ao longo dos intercâmbios agroecológicos dialogam com aqueles sistematizados a partir das entrevistas descritas no Capítulo 1, e reforçam a observação das famílias sobre a realidade vivenciada e os desafios enfrentados com o rejeito e o processo de reparação dos danos causados. Tal observação foi claramente expressa nesses eventos coletivos, bem como registrada na

Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo adotada durante a pesquisa. O intercâmbio agroecológico, portanto, demonstrou-se um instrumento legítimo e eficiente para a avaliação ambiental do território atingido pelos rejeitos da barragem de mineração.

DISCUSSÃO

Os três intercâmbios agroecológicos constituíram etapas de um ciclo de ação-reflexão-ação, próprio da pesquisa-ação, no qual investigar o território e nele intervir são tarefas inseparáveis (BORDA, 1979; THIOLENT, 1986; TRIPP, 2005). Em cada encontro, a observação direta dos agroecossistemas, a reflexão coletiva nos círculos de cultura e a sistematização das falas produziram conhecimento de forma compartilhada, com as famílias atingidas reconhecidas como co-pesquisadores, e não como simples informantes (REASON; BRADBURY, 2008). Essa construção coletiva, situada e dialógica é a mesma que sustenta a produção do conhecimento agroecológico no país (LARANJEIRA et al., 2019; CARDOSO; FERRARI, 2006), e seguiu o princípio freiriano de partir da leitura do mundo para então ler a palavra e, neste caso, os dados científicos (FREIRE, 1983).

A mística, a música e a poesia utilizadas nos intercâmbios não foram ornamentos dos encontros, mas parte do método. Ao abrir cada intercâmbio com uma caminhada ao rio, uma canção ou perguntas sobre o enraizamento, criou-se uma linguagem comum e um campo de afetos, memória e pertencimento que predispôs os participantes ao diálogo. A poesia "Encontro" de Dona Ione traduziu em imagens próprias do território a contaminação das nascentes, e a provocação de que o solo "*fecha o corpo*" condensou, em uma metáfora, a perda de vida e de poros do solo. Na agroecologia, de abordagem transdisciplinar e participativa, esses elementos simbólicos ampliam a compreensão da realidade e integram a dimensão espiritual à leitura do ambiente (TEIXEIRA et al., 2004; REYES, 2018).

As observações construídas nos intercâmbios agroecológicos configuram etnoindicadores de qualidade ambiental, no campo da etnopedologia, que trata os conhecimentos locais sobre o solo como sistemas complexos e legítimos (BARRERA-BASSOLS; ZINCK, 2003; BARRIOS et al., 2006; CALIXTO, 2015). Relatos de observações da predominância da mamona onde "*antes tudo nascia*", a fuga dos cupins, a terra "*finca e poeirenta*" e a água que "*forma poças e não infiltra*" funcionam como indicadores sensíveis das transformações do território (BARRIOS et al., 2006; CASTILLO; ROSTAGNO; LADIO, 2020; DIAS, 2022; CASAS, 2024). A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo elaborada a partir desses etnoindicadores converte essa leitura do ambiente em um instrumento de acompanhamento contínuo e de autonomia das famílias sobre o próprio território.

Um aspecto importante surgiu no terceiro intercâmbio realizado. Embora as análises químicas de rotina não tenham apontado diferenças expressivas entre os solos das baixadas e das encostas, as famílias afirmaram que a experiência vivenciada localmente indica sem qualquer tipo de dúvida que as baixadas, antes as mais férteis, deixaram de produzir após a deposição do rejeito. Embora aparente contradição, na verdade deve ser entendida como uma complementaridade, e evidencia que os etnoindicadores podem ampliar o alcance da avaliação técnica, registrando alterações que a análise convencional não tem sensibilidade para detectar. Disto destaca-se a recomendação de se buscar articular conhecimento local e conhecimento técnico no monitoramento de áreas contaminadas (BARRIOS et al., 2006; CALIXTO, 2015).

Os intercâmbios também permitiram discutir os resultados desta tese com a observação das famílias dos atingidos, utilizando componentes de sua própria realidade. As observações do solo "*fino e poeirento*", da água que não infiltra e do solo "*sem minhoca*" convergem com a alteração da qualidade do solo verificada no Capítulo 2, que revelou textura mais fina, menor teor de matéria orgânica e o enriquecimento em metais nas áreas afetadas. Os etnoindicadores identificados convergem ainda com aqueles sistematizados nas entrevistas do Capítulo 1. O reconhecimento do milho crioulo como expressão de autonomia e adaptação ao longo dos intercâmbios corrobora com os resultados de melhor desempenho deste genótipo observado no experimento do Capítulo 3. Os intercâmbios cumpriram, assim, o papel de devolver às famílias o conhecimento produzido sobre o seu território e proporcionar um espaço de discussão e troca de experiências, um direito que deveria ser natural aos atingidos, sobretudo diante da ausência de respostas institucionais sobre os riscos e o processo de recuperação das áreas afetadas.

A troca de sementes e mudas, bem como a mesa da partilha, revelaram-se mais do que gestos de partilha. Ao se compartilhar variedades crioulas e valorizar a cultura alimentar local, fortalecem-se a agrobiodiversidade e a soberania alimentar das comunidades, como indicado por CARDOSO et al. (2021). Cada semente circulou acompanhada de sua história de uso e de manejo, o que reduz a dependência de insumos externos e reafirma o protagonismo das famílias nas decisões do seu cotidiano. Como todo método participativo, os intercâmbios agroecológicos apresentam limites, uma vez que não produzem generalizações estatísticas e dependem de tempo, confiança e continuidade para alcançarem seus objetivos. Mas é certo também que essa proposta metodológica é capaz de construir conhecimentos mais completos e socialmente enraizados sobre os impactos ambientais de grandes proporções, como foi o caso do rompimento das barragens de mineração objeto deste estudo.

CONCLUSÕES

Os intercâmbios agroecológicos mostram-se capazes de socializar e dialogar com os resultados da pesquisa com as famílias atingidas, identificar os etnoindicadores de mudança ambiental, estimular a observação crítica do território e discutir, em linguagem dialógica, os dados de análises de solo e de experimentos controlados. Também contribuem para o processo de pesquisa-ação ao permitir a construção de conhecimento útil para que as famílias decidam sobre o manejo dos seus solos, sobre a sua alimentação e sobre a sua permanência no território.

As reflexões coletivas vivenciadas nos intercâmbios agroecológicos reconstróem o entendimento do solo como organismo vivo, em suas dimensões química, física, biológica e cultural. Adicionalmente contribuem para o entendimento nas dimensões afetiva e espiritual, presente nas místicas, nas poesias e nas falas, revelando-se fundamental para sustentar os vínculos, a memória e o compromisso coletivo.

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo, por sua facilidade de uso e por ser construída a partir da realidade dos atingidos, constitui-se como um instrumento de organização e monitoramento contínuo dos impactos no território.

Os intercâmbios agroecológicos integram a produção do conhecimento científico e os saberes das famílias e produzem diagnósticos mais completos sobre os impactos do rompimento. Diante da ausência de respostas institucionais, esses eventos reafirmam que os atingidos têm plena capacidade de observar, analisar, dialogar e construir diagnósticos sobre o ambiente em que vivem, e reconhecer esse conhecimento como legítimo é, também, um passo na reparação socioambiental.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. Análise de conteúdo. São Paulo. Edições 70. 288p. 2011.
- BARRERA-BASSOLS, N., ZINCK, J.A. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma* 111, 171–195. 2003.
- BARRIOS, E. A, DELVE, R.J., BEKUNDA M., MOWO, J., AGUNDA J., E., RAMISCH, J., TREJO, M. T., THOMAS, R.J. Indicators of soil quality: A South–South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma* 135, 248–259. 2006.
- BORDA, O. F. Investigating reality in order to transform it: The colombian experience. *Dialectical Anthropology*. vol 4, 33-55, 1979. BORDA, O. F. El socialismo raizal y la Gran Colombia bolivariana: Investigación Acción Participativa. Fundación Editorial el perro y la rana. Caracas, 2008. 116 p.

- BRANDÃO, C. R.; BORGES, M. C. A pesquisa participante: um momento da educação popular. *Rev. Ed. Popular*, Uberlândia, v. 6, p.51-62. jan./dez. 2007.
- CALIXTO, J. S. De palmo em palmo a terra muda de jeito: diálogos sobre qualidade do solo. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos e Nutrição de Plantas. 158 f. 2015.
- CARDOSO, I. M.; FERRARI, E. A. Construindo o conhecimento agroecológico: Trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. *Agriculturas*. Vol 3, no. 4, f 28 - 33. 2006.
- CARDOSO, I. M.; MUGGLER, C.C.; MENDONÇA, M. A.; SILVA, L. H.; BOTELHO, M. I.; CRUZ, N. A.; ZANELLI, F. V.; RESENDE, E. M.; FERNANDES, G. B.; BARBOSA, W. Educação do campo e agroecologia ecoam na Zona da Mata Mineira. In: *Saber e fazer agroecológico*. HALISKI, A. M.; LOPES, K. C.; PADILHA, R. DE F. Orgs. Curitiba. CRV. 2021, 186 p.
- CASAS, N. A. C. “Resistir e construir história”: etnoindicadores e indicadores de avaliação dos impactos do rompimento da barragem do Fundão em agroecossistemas na bacia do rio Doce. Tese (Doutorado em Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024.
- CASTILLO, L.; ROSTAGNO, C. M.; LADIO, A. Ethnoindicators of Environmental Change: Local Knowledge used for Rangeland Management Among Smallholders of Patagonia. *Rangeland Ecology & Management*, v. 73, n. 5, p. 594–606, set. 2020.
- DA SILVA, M. G. Pedagogia do movimento agroecológico: Fundamentos teórico metodológicos. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-graduação em Educação. 197 f. Niteroi, 2020.
- DA SILVA, S. S.; ANTONIAZZI, E.; NOVAK, M. A. L. O PRONAF como instrumento de fixação do agricultor familiar no campo, evitando o êxodo rural. *Revista Desenvolvimento Socioeconômico em debate*. v.5 n.2 (2019).
- DIAS, P. P. Saberes do rio Gualaxo do Norte: etnoindicadores e ecotoxicologia para monitoramento ambiental. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. 96 f. 2022.
- FREIRE, P. *Extensão ou Comunicação?* 8. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1983. 127 p
- FREITAS, C. M. D., BARCELLOS, C., ASMUS, C. I. R. F., SILVA, M. A. D., & XAVIER, D. R. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de saúde pública**, v. 35, p. e00052519, 2019.
- LARANJEIRA, N. P. F.; CARCELLE, S. J. A.; DE MIRANDA, D.; DE ABREU SÁ, T. D. TRENTO, L. G.; DE SOUZA, T. S.; CARDOSO, I. M. Para uma ecologia de saberes:

- trajetória da construção do conhecimento agroecológico na ABA. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, n. 2, p. 15-15, 2019.
- LIMA, A. T., BASTOS, F. A., TEUBNER JR., F. J., NETO, R. R., COOPER, A., BARROSO, G. F. Strengths and Weaknesses of a Hybrid Post-disaster Management Approach: the Doce River (Brazil) Mine-Tailing Dam Burst. *Environmental Management* 65:711–724, 2020. DOI 10.1007/s00267-020-01279-4
- NACAB. (In)segurança alimentar e nutricional na Região 3: resultados dos estudos e espacialização dos danos. Assessoria de Comunicação. ISSN 2764 4952. 2023. <chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://nacab.org.br/wpcontent/uploads/2023/06/Mobilizacao-008.pdf>. Acesso em 21 jun. 2024.
- PACHECO, F. A. L.; DO VALLE JUNIOR, R. F.; SILVA, M. M. A. P. de M.; PISSARRA, T. C. T.; MELO, M. C.; VALERA, C. A.; FERNANDES, L. F. S. Prognosis of metal concentrations in sediments and water of Paraopeba River following the collapse of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 809, p. 151157, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151157.
- PEREIRA, L. F., DE BARROS CRUZ, G., & GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 122-129. 2019.
- REYES B., J. A. Como conocer la realidad para transformarla por la praxis: una aproximación a la construcción del conocimiento popular. *TraHs Números especiales N°3*, 86-99 p, 2018
- TEIXEIRA, E. F. B.; MULLER, M. C.; DA SILVA, J. D. T. Espiritualidade e qualidade de vida / Organizadores: Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. 224 p. 140
- THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1986 (Temas básicos de Pesquisa-ação).
- TOLEDO, V.M., BARRERA-BASSOLS, N. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria editorial, 2008.
- TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005
- ZANELLI, F. V. Educação do campo e territorialização de saberes: Contribuições dos intercâmbios agroecológicos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Educação. 146 f. Viçosa, 2015.
- ZANELLI, F. V.; DA SILVA, L. H. Intercâmbios agroecológicos: processos e práticas de construção da agroecologia e da Educação do Campo na zona da mata mineira. *Perspectiva*. Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 638-657, 2017. DOI: 10.5007/2175-795X.2017v35n2p638.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi motivada a partir das insatisfações das pessoas atingidas com o Processo de Reparação dos impactos causados pelo rompimento da barragem B1 da Vale S.A. em Brumadinho. Depois de 6 anos do evento, as famílias atingidas da Região 3 da bacia do rio Paraopeba seguem sem respostas sobre a extensão dos danos e sobre quando poderão voltar a cultivar, pescar e viver com segurança em seus territórios. Neste cenário, o presente estudo adotou a pesquisa-ação, proposta que articula conhecimentos científicos e populares, mobilizando métodos das ciências ambientais e sociais, objetivando não apenas medir a degradação, mas construir e compartilhar com quem vive os impactos ainda presentes no território o conhecimento produzido nos laboratórios e nas experiências vivenciadas ao longo do processo.

O saber popular, elaborado a partir do conhecimento local e aprimorado ao longo do tempo, mostrou-se sensível para identificar com precisão as mudanças ocorridas após a chegada do rejeito, devendo ser considerado nas decisões sobre o consumo de alimentos e sobre as medidas de reparação e recuperação nos territórios atingidos. Analisar a problemática ambiental apenas pelos conhecimentos técnicos e acadêmicos e desconsiderando o saber popular, pode conduzir a ações e medidas que prejudicam mais uma vez as vítimas. Neste cenário é preciso que o conhecimento acadêmico seja produzido em cooperação e em diálogo com as pessoas atingidas, para que a pesquisa não se torne um instrumento apenas de dominação do saber técnico sobre o saber dos agricultores e das agricultoras.

A articulação entre os conhecimentos acadêmico e popular convergiram quanto aos resultados do presente estudo. A presença e a redistribuição de elementos potencialmente tóxicos (EPTs), associadas às alterações na estrutura física do solo, como o aumento das frações finas e da densidade de partículas, e redução da condutividade hidráulica, indicam perda de funcionalidade do solo, comprometendo a infiltração de água, a ciclagem de nutrientes, a produção agrícola, a segurança alimentar e os modos de vida.

A degradação ambiental diagnosticada na área estudada não foi homogênea, sendo modulada pela posição na paisagem, uso da terra e histórico de deposição dos rejeitos, o que reforça a necessidade de monitoramento contínuo, de estratégias de recuperação ecossistêmica e de políticas de reparação que reconheçam a diversidade dos impactos e a centralidade do território para as comunidades atingidas.

Nos solos afetados pelo rejeito da mineração, o uso do milho crioulo associado com a adubação orgânica oferece um caminho produtivo possível, desde que acompanhado de

monitoramento sobre a acumulação de metais nos tecidos vegetais, já que a produção de biomassa não garante segurança para o consumo.

Os resultados dos etnoindicadores e dos indicadores químicos e físicos foram compartilhados com os atingidos em três intercâmbios agroecológicos, realizados em articulação com a Assessoria Técnica Independente (ATI) PARAPEBA-NACAB. Os intercâmbios foram eficientes para oferecer instrumentos que facilitam a comunicação entre as famílias atingidas e os pesquisadores, e contribuem para o processo de pesquisa-ação, ao permitir a construção de conhecimento útil para as famílias decidirem sobre o manejo dos seus agroecossistemas, gerando um novo ciclo de ação-reflexão-ação.

Os intercâmbios agroecológicos são ainda um espaço para a expressão de sentimentos e para o reconhecimento do valor simbólico e espiritual da natureza, como se fez presente nas místicas, poesias, falas, e na alegria da dança, do canto e da partilha. Adicionalmente, esses eventos podem constituir um espaço para a denúncia sobre o processo de reparação e para o fortalecimento social que acalente a indignação dos que conviveram e convivem com os impactos do desastre-crime ocorrido.

A Caderneta de Monitoramento Ambiental Participativo pode se consolidar como um instrumento estratégico de ciência cidadã, ao possibilitar o acompanhamento contínuo das mudanças ambientais, a democratização do acesso à informação técnica e o fortalecimento da autonomia das comunidades atingidas. Ao sistematizar observações cotidianas, a caderneta amplia a compreensão da capacidade do solo de funcionar como um ecossistema vivo que sustenta plantas, animais e pessoas. Sua continuidade e aprimoramento são fundamentais para acompanhar processos recorrentes de degradação e subsidiar ações de reparação socioambiental. Como perspectivas para pesquisas futuras, sugerem-se a integração com ferramentas digitais e cartográficas participativas, o fortalecimento de processos formativos continuados e a inclusão dos povos de terreiro no monitoramento ambiental, considerando suas relações históricas, territoriais e espirituais com a natureza, ampliando a visibilidade de impactos historicamente invisibilizados e fortalecendo abordagens de justiça socioambiental.

A ausência de efetiva recuperação no território identificada pelo monitoramento participativo deve ser lida como denúncia. O Plano de Recuperação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba, elaborado sem a participação das comunidades, não tem produzido efeitos mensuráveis na vida das famílias, contrariando a reparação integral prevista na Política Nacional dos Atingidos por Barragens. A perda de qualidade dos solos impactados foi evidenciada e precisa ser monitorada continuamente. Neste processo, torna-se fundamental o uso combinado de indicadores químicos, físicos, biológicos e de etnoindicadores, de forma

participativa, o que exige a continuidade de processos de pesquisa-ação como o avaliado e referendado neste estudo.

O presente estudo apresenta algumas limitações. As análises restringem-se às áreas e ao período estudados, e o experimento com milho avaliou o crescimento inicial em casa de vegetação, sem se chegar à produção de grãos e nem à concentração de metais nos grãos ou outros tecidos vegetais. Uma parte dos dados gerados, como os teores de elementos potencialmente tóxicos em amostras de água e na massa seca do milho, será objeto de publicações específicas, que aprofundam o risco da transferência de metais para a cadeia alimentar. Como desdobramentos e sugestões para estudos futuros, recomenda-se a avaliação do ciclo completo de culturas de interesse local em condições de campo e da acumulação de metais nas partes comestíveis; o aprimoramento dos instrumentos participativos, tornando-os mais sensíveis e capazes de organizar as observações de quem vive e acompanha o território; e o trabalho com os povos de terreiro e as comunidades tradicionais de matriz africana, cuja relação com a natureza, com as águas, as plantas e os territórios sagrados, é constitutiva de sua existência e de sua luta em defesa do território, e cuja escuta pode ampliar tanto a compreensão dos impactos quanto as estratégias de reparação, sugestões de questões para elaboração de um instrumento para os povos de terreiro (APÊNDICE D).

Diante da ausência de respostas institucionais para uma reparação mais efetiva, esta tese reafirma que os atingidos têm plena capacidade de observar, analisar, dialogar e construir diagnósticos sobre o ambiente em que vivem. A pesquisa-ação aponta caminhos para uma recuperação ambiental efetivamente comprometida com as pessoas atingidas, com a natureza e com uma ciência que avança ao integrar diferentes formas de conhecimento, o que exige, ainda, a articulação de universidades, organizações de assessoria técnica e entidades governamentais para superar limitações de tempo e de recursos. Reconhecer o conhecimento das famílias como legítimo e incorporá-lo às decisões sobre os territórios é mais do que uma escolha metodológica: é um passo necessário na reparação socioambiental e na reconstrução dos modos de vida na bacia do rio Paraopeba.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Carta convite enviada para as famílias participarem da pesquisa



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
Universidade Federal de Viçosa, 35670-900 – Viçosa – MG
E-mail: snp@ufv.br



CARTA CONVITE PARA PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DE PESQUISA

Olá Região 3!

Eu sou a Maria, sou filha de agricultor familiar lá do sertão da Bahia, vim para Minas pra estudar agroecologia na Universidade Federal de Viçosa, atualmente, estou desenvolvendo um projeto de pesquisa como parte do meu doutorado e conta com a coordenação da Prof. Irene e do Prof. Raphael, com o apoio do NACAB.

Venho fazer um convite a vocês pessoas atingidas para estar participando da minha pesquisa, a pesquisa fala sobre o "MONITORAMENTO PARTICIPATIVO DOS AGROECOSSISTEMAS NA BACIA DO RIO PARAÓPEBA- MG". A proposta é identificar e construir os etnoindicadores para compreender o processo de recuperação das áreas atingidas. O que seria esses etnoindicadores? Etnoindicadores são os sinais que observamos e que refletem sobre a situação dos animais, das plantas ou da terra, como por exemplo: minhocas e cupins na terra, plantas amareladas, peixes saudáveis, a planta não cresce, esse etnoindicadores indicam o estado de conservação ou degradação de uma área.

Porque essa pesquisa é importante? Porque as análises ambientais realizadas pelos pesquisadores por si só não conseguem responder à complexidade do problema nas áreas atingidas. A discussão de um problema ambiental requer também o olhar das pessoas que convivem com ele. São vocês pessoas atingidas, que possuem conhecimentos sobre o lugar onde vivem, portanto, vocês atingidos precisam participar e opinar sobre os problemas advindos do rompimento e apontar soluções de acordo com a realidade. Para isso, é preciso que vocês tenham condições para que observem e avaliem o que está acontecendo com as áreas atingidas pela lama e avaliem se é possível plantar nestas áreas e se pode comer dos produtos oriundos destes cultivos, por isso a importância da participação ativa.

A pesquisa está prevista para ter uma duração de um ano e conta com a participação de vocês atingidas para identificar esses etnoindicadores de monitoramento e juntos construir uma caderneta de monitoramento, para acompanhar ao longo de um período, durante esse tempo iremos fazer algumas coletas de solo e água. Também teremos encontros de socialização para conversar sobre esses etnoindicadores, resultados de análises e como cada pessoa poderá contribuir para ajudar a



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
Universidade Federal de Viçosa, 35670-900 – Viçosa – MG
E-mail: snp@ufv.br



natureza a se recuperar mais rápido.

Acreditamos que sua participação, conhecimento e contribuições serão importantes para enriquecer ainda mais o nosso trabalho. Nós podemos trocar conhecimentos e discutir como preservar o meio ambiente, produzir alimentos saudáveis e fortalecer as comunidades locais. Sua participação é fundamental para o sucesso deste projeto.

Eu ficarei muito feliz com sua participação e você pessoa atingida que estiver interessado(a) em participar, por favor, informe-nos sua disponibilidade para uma visita para discutirmos mais detalhes sobre o projeto e seu papel nele. Ficarei à disposição para responder a quaisquer perguntas ou esclarecimentos que possam surgir.

Um grande abraço e até logo!!

Maria Oliveira, doutoranda em solos, Departamento de solos/ UFV Contato: (75)999234195.

APÊNDICE B– Questionário aplicado às famílias agricultoras

Roteiro entrevista semiestruturada- Adaptado de Codorna Casas (2024)

1. Identificação (levantamento prévio com a NACAB)

Quantas pessoas residem na propriedade? Quais os nomes das pessoas? Quantas mulheres? Quantos homens? Quantas crianças e jovens? Qual a idade das pessoas?

2. Trajetória de vida:

Onde você nasceu? Quando veio morar aqui no território? O que fazem/faziam seus pais? Você deu continuidade à atividade que eles faziam? 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, participar de reuniões ou alguma outra atividade coletiva?

3. Depois da lama

Como você ficou sabendo do rompimento da barragem de Brumadinho? 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 Paraopeba na época do rompimento? Você costumava pescar no rio? Como a pesca foi interrompida depois do rompimento da barragem? Quais peixes costumava pegar? Como isso modificou sua vida?

Como o rompimento alterou o lazer da família? Afetou as interações sociais e relações com vizinhos e amigos na comunidade? Alguma área na região de importância cultural ou religiosa foi afetada pelo rompimento da barragem?

4. Significado do quintal e do solo

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

5. 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 animais vocês observam em seus quintais? Nas plantas? Na terra?

6. Significado do rio Paraopeba

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

7. Qualidade da Água

De onde vem a água que consomem? Há quanto tempo? Houve mudança?

Como é a captação da água? () Bomba () Manual () Outros, quais? 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? Como você sabe que sua água é boa para sua família beber? E para os animais? Quais as características dos peixes quando a água não é de boa qualidade?

8. Perspectiva de futuro

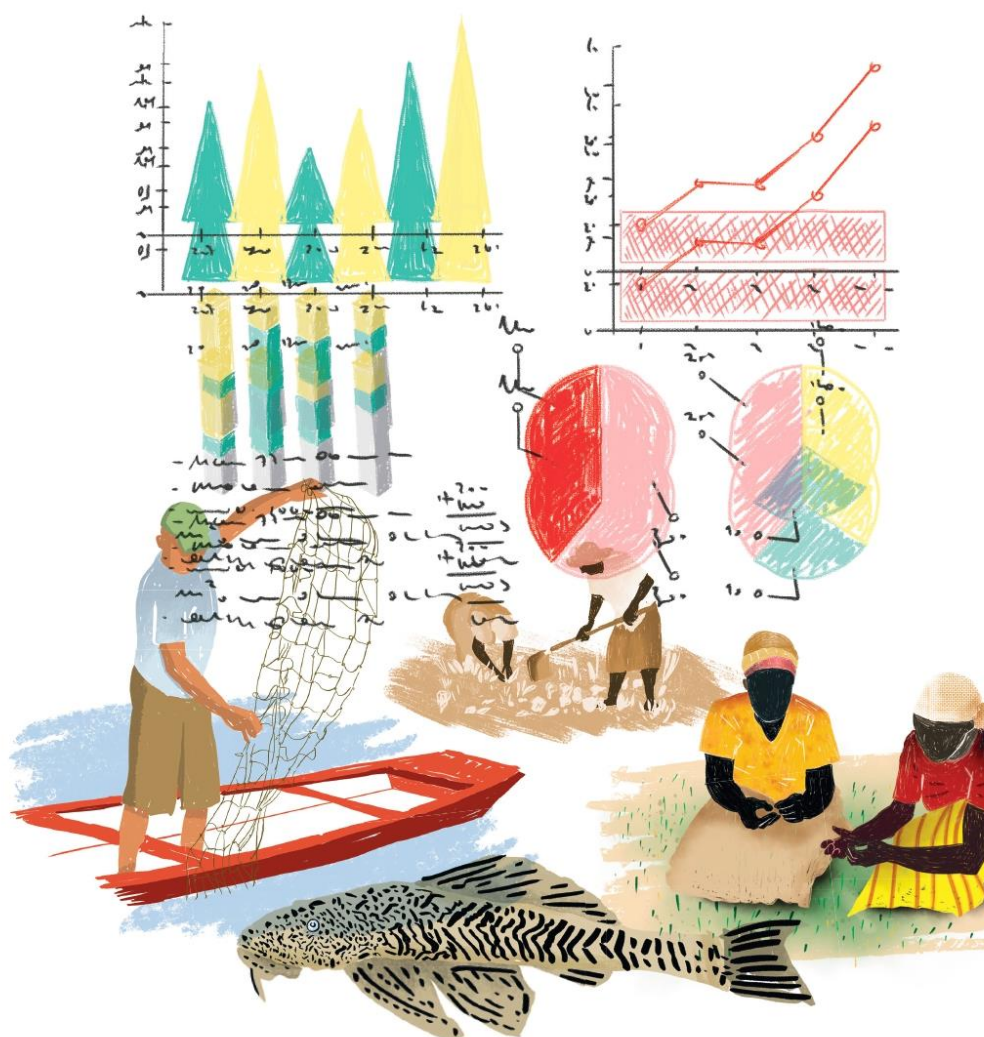
Quais as suas expectativas em relação ao futuro? Você acha que vai conseguir voltar a pescar no rio? Você acha que vai conseguir voltar a plantar e consumir os produtos do quintal? Você espera que seus filhos/netos continuem com as atividades que você faz? Que continuem morando nesse lugar?

• O que você acha que pode ser feito para melhorar a qualidade de vida dos atingidos.

APÊNDICE C- Caderneta de Monitoramento Ambiental Coletiva (Participativa)

Caderneta de Monitoramento Ambiental Coletiva

Registro das Transformações Ambientais nas Áreas Atingidas pelo Rejeito da Barragem de Brumadinho



Doutoranda - Maria Oliveira

Figura C2- Introdução e identificação das famílias

Caderneta de Monitoramento Ambiental Coletiva

Registro das Transformações Ambientais nas Áreas Atingidas pelo Rejeito da Barragem de Brumadinho

O rio Paraopeba, suas águas, margens, pessoas e animais foram gravemente impactadas pelo rejeito de mineração proveniente do rompimento do complexo de barragens da Vale. Passados alguns anos do impacto, às famílias atingidas já começam a notar mudanças na natureza. Alguns relataram pequenos sinais de recuperação, como o crescimento de plantas sobre os rejeitos e o retorno de algumas espécies de peixes ao rio. Ou seja, a natureza está dando seus primeiros passos e mostrando sinais de recuperação.

Nós podemos ajudar a natureza e contribuir com a recuperação, mas para isso precisamos compreender os sinais da natureza. Como podemos compreender melhor os sinais de que a natureza está nos oferecendo? Para compreendermos estes sinais precisamos observar a natureza de forma cuidadosa. Em nossas observações, a sabedoria adquirida por cada família do território ao longo de gerações é muito útil. Essa sabedoria nos ajuda a

lidar com os impactos e nos oferece pistas valiosas para adaptação, inovação e melhoria na qualidade do ambiente afetado.

As observações devem ser feitas de forma coletiva, com a participação das pessoas que vivem nesta bela região há gerações. Por isso, convidamos você e sua família a se tornarem observadores dessa transformação, registrando nesta caderneta os sinais de recuperação que a natureza nos apresenta. Chamamos esse processo de observação coletiva de Monitoramento Ambiental Participativo. Neste monitoramento, todas as pessoas observam e registram os sinais de recuperação ou não que a natureza nos oferece.

O monitoramento ambiental participativo da bacia do Rio Paraopeba é uma iniciativa de estudantes e professores da Universidade Federal de Viçosa, em parceria com o NACAB - Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens.

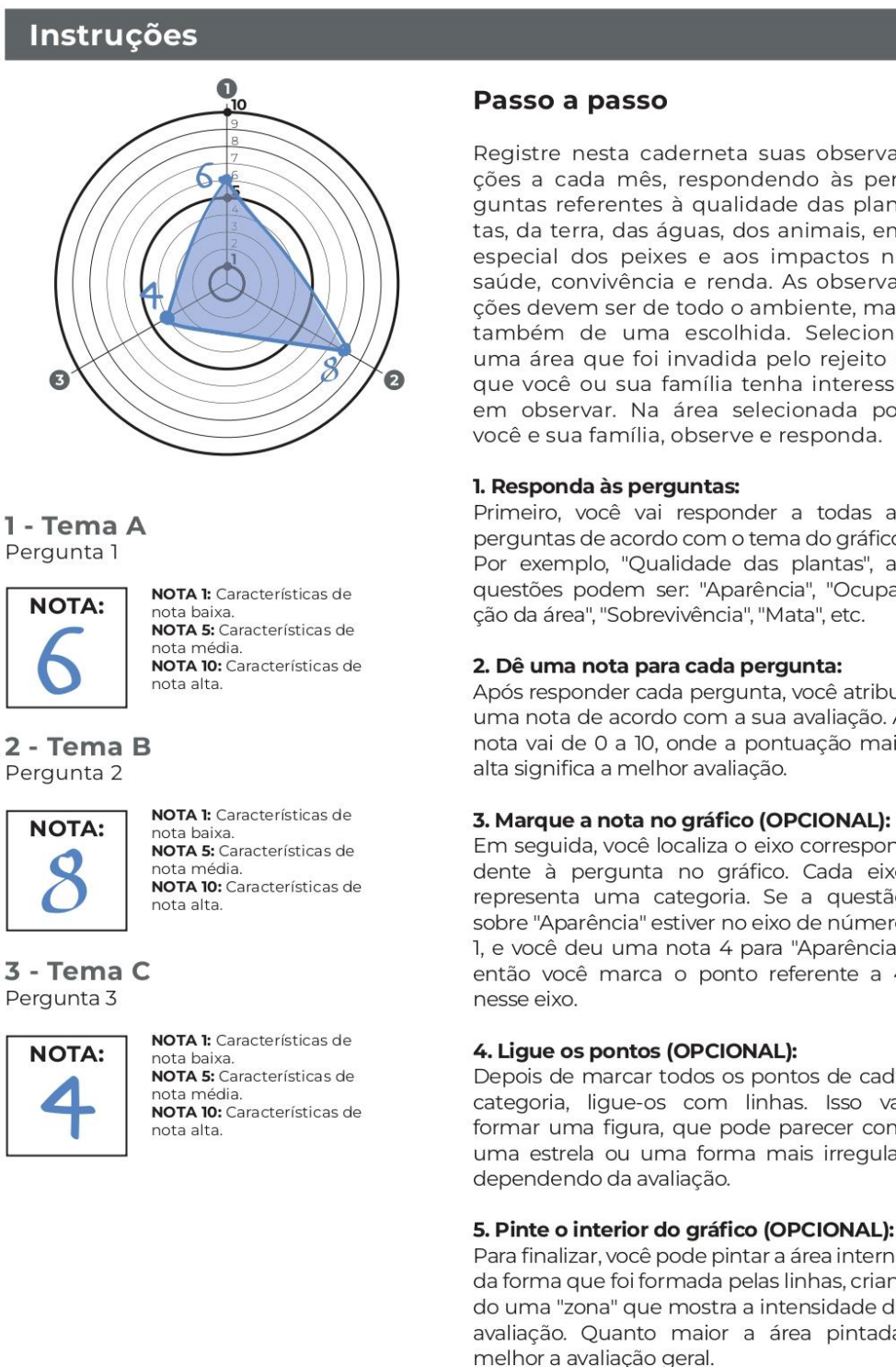
Quer fazer parte daqueles que irão observar estes sinais?

Nome/família:	
Cidade/comunidade:	
Mês/ano observado:	
Área de observação:	
Como está o tempo:	

Assessoria
Técnica
Independente
PARAOPEBA

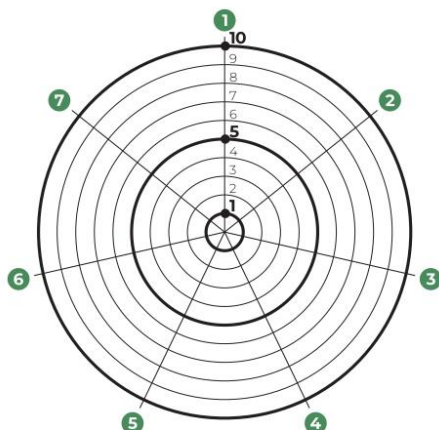
NACAB
NÚCLEO DE ACESSORIA
ÀS COMUNIDADES ATINGIDAS
POR BARRAGENS

Figura C3- Instrução para o preenchimento da caderneta



Figuras C4- Páginas de registro das observações das Plantas.

QUALIDADE DAS PLANTAS



1 - Aparência

Como estão as plantas?

NOTA:

NOTA 1: Plantas murchas, doentes ou com crescimento deficiente.

NOTA 5: Planta com crescimento lento, com algumas folhas amareladas ou danificadas.

NOTA 10: Plantas vigorosas, saudáveis e com bom crescimento.

2 - Ocupação na área

Como está a área invadida pela enchente?

NOTA:

NOTA 1: Nenhuma planta crescendo na área.

NOTA 5: Existem algumas plantas crescendo na área.

NOTA 10: Tem vários tipos de plantas crescendo na área.

2.1 - Quais plantas estão crescendo onde a enchente se espalhou?

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ☐ Alecrim | ☐ Braquiária | ☐ Cana |
| ☐ Angico | ☐ Coqueiro | ☐ Carqueja |
| ☐ Aroeira | ☐ Mamona | ☐ Tiririca |
| ☐ Assa peixe | ☐ Canela | ☐ |
| ☐ Bananeira | ☐ Capim | ☐ |

3 - Sobrevivência

Qual a sobrevivência dos plantios de roça?

NOTA:

NOTA 1: As plantas de roça praticamente não sobrevivem.

NOTA 5: As plantas de roça sobrevivem com dificuldades.

NOTA 10: A maior parte das plantas de roça sobrevivem.

4 - Plantas não desejadas

Com as enchentes vieram plantas não desejadas?

NOTA:

NOTA 1: Mais de 2 plantas não desejadas apareceram.

NOTA 5: De 1 a 2 plantas não desejadas apareceram.

NOTA 10: Nenhuma planta não desejada apareceu.

4.1 - Marque as plantas não desejadas que apareceram depois das enchentes:

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ☐ Alecrim | ☐ Braquiária | ☐ Cana |
| ☐ Angico | ☐ Coqueiro | ☐ Carqueja |
| ☐ Aroeira | ☐ Mamona | ☐ Tiririca |
| ☐ Assa peixe | ☐ Canela | ☐ |
| ☐ Bananeira | ☐ Capim | ☐ |

5 - Quintal

Foi atingido pela enchente? ☐ SIM ☐ NÃO

Como está o quintal? (observe a horta, as plantas medicinais, ornamentais e frutíferas)

NOTA:

NOTA 1: A maior parte das plantas morreram e as que ficaram estão fracas, sem produzir nada.

NOTA 5: De baixa qualidade, não tão com boa saúde, frutos pequenos.

NOTA 10: A horta vai bem e as plantas estão saudáveis e produzindo bastante. As frutas estão em boa qualidade.

6 - Roça e pastagens

Foi atingido pela enchente? ☐ SIM ☐ NÃO

Como estão as plantas que você planta na área afetada pelas enchentes? (milho, feijão, mandioca etc.)

NOTA:

NOTA 1: As plantas estão fracas, crescem pouco, ou não se consegue produzir.

NOTA 5: As plantas sobrevivem, mas a produção está baixa e estão muito fracas.

NOTA 10: As plantas estão saudáveis e produtivas.

7 - Mata

Foi atingido pela enchente? ☐ SIM ☐ NÃO

Como estão as áreas de matas?

NOTA:

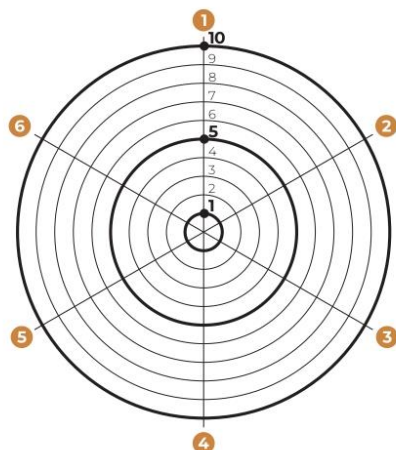
NOTA 1: A maioria das árvores e plantas está danificada ou morta.

NOTA 5: Algumas árvores e plantas estão se recuperando.

NOTA 10: Muitas plantas estão bem e se recuperando.

Figuras C5- Páginas de registro das observações dos Solos

QUALIDADE DA TERRA



1 - Cor

Como está a cor da terra depois das enchentes?

NOTA:

NOTA 1: A terra está avermelhada, anda com resíduos da enchente, brilhante, bem diferente do que era antes, com trincas formando blocos (uniforme).

NOTA 5: A cor mudou um pouco, mas tem mistura da terra de antes com a da enchente.

NOTA 10: A cor da terra voltou ao normal, sem sinais de alteração.

4 - Cobertura

Como está a cobertura vegetal da terra pelas enchentes?

NOTA:

NOTA 1: A terra afetada segue descoberta (sem nenhuma planta).

NOTA 5: A terra afetada está um pouco descoberta (só algumas plantas).

NOTA 10: A terra afetada está totalmente coberta (não se vê o chão).

2 - Consistência seca

Como fica a terra quando está seca?

NOTA:

NOTA 1: Muito dura (tipo "cimento"), quando aperta com a mão é difícil de quebrar ou muito empoeirada.

NOTA 5: A terra está dura, se aperta sente resistência para quebrar.

NOTA 10: A terra está solta e macia, fácil de trabalhar.

5 - Baixadas

A área foi cercada? () SIM () NÃO

Como estão as partes mais baixas afetadas pelas enchentes?

NOTA:

NOTA 1: A área foi perdida, sem acesso ao rio e sem possibilidade de cultivo.

NOTA 5: A maior parte da área foi cercada, mas ainda se consegue cultivar em algumas partes.

NOTA 10: Segue com acesso ao rio e cultiva nas margens.

3 - Infiltração

Como está a entrada de água na terra quando chove?

NOTA:

NOTA 1: A água não entra na terra, a terra não "suga" a água, forma poças ou escorre.

NOTA 5: A terra "suga" parte da água, com formação de poucas poças e parte escorre.

NOTA 10: A terra "suga" bem a água.

6 - Bichos da terra

Têm observado a presença de bichos da terra? Quais?

NOTA:

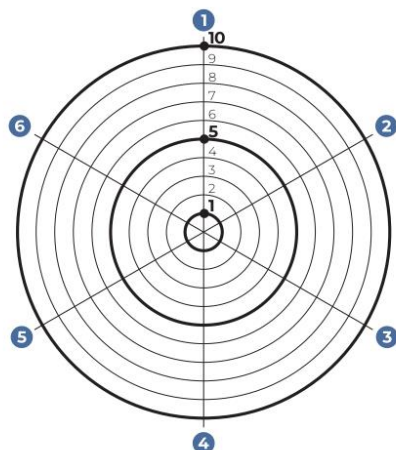
NOTA 1: Não se vê nenhum bicho na terra, sumiram os que tinham na área.

NOTA 5: Alguns bichinhos na terra.

NOTA 10: Há muitos bichos diferentes na terra.

Figuras C6- Páginas de registro das observações das Águas

QUALIDADE DAS ÁGUAS (Rio, ribeirão, poços, cisternas, etc)



1 - Cor do rio

Qual a cor da água do rio/ribeirão?

NOTA:

NOTA 1: Água suja, muita avermelhada e brilhante.

NOTA 5: Água barrenta, suja e pouco avermelhada.

NOTA 10: Água com a cor normal, limpa e sem presença de sujeira.

2 - Cheiro do rio

Qual o cheiro do rio/ ribeirão? O cheiro te lembra o que?

NOTA:

NOTA 1: Cheiro muito forte de produto químico. (diferente do normal).

NOTA 5: Cheiro ruim.

NOTA 10: Cheiro normal, como água limpa.

3 - Tamanho do rio

Quando você olha para a água do rio/ribeirão ela está rasa ou funda?

NOTA:

NOTA 1: Está muito raso para a época do ano.

NOTA 5: Um pouco mais raso que o normal.

NOTA 10: Tamanho normal para época do ano.

4 - Cheiro da água de consumo

Foi atingido pela enchente? ()SIM ()NÃO

Como está o cheiro da água? O cheiro te lembra o que?

NOTA:

NOTA 1: Odor forte.

NOTA 5: Pouco cheiro.

NOTA 10: Sem cheiro/ normal.

5 - Cor da água de consumo

A água de consumo tem cor?

NOTA:

NOTA 1: Cor forte. Marrom/Avermelhada/Barrenta.

NOTA 5: Cor fraca. Amarelada.

NOTA 10: Sem cor. Transparente.

6 - Qualidade para consumo

A água de consumo está boa para beber ou outros usos?

NOTA:

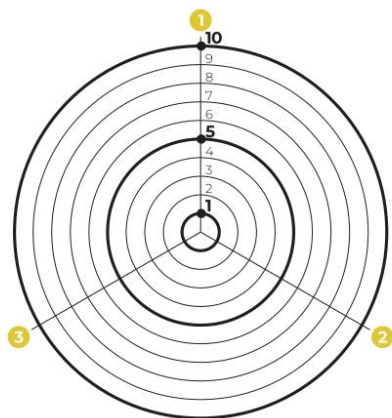
NOTA 1: Ruim. Imprópria para consumo.

NOTA 5: Não é boa para beber, mas serve para outros usos.

NOTA 10: Sim, a água é boa para beber.

Figuras C7- Páginas de registro das observações dos Peixes

QUALIDADE DOS PEIXES



1 - Diversidade de peixes

Você vê muitos peixes no rio ou ribeirão?

NOTA:

NOTA 1: Sumiram alguns tipos de peixes.
NOTA 5: Está com os mesmos tipos de peixes.
NOTA 10: Está com mais peixes que antes.

3 - Sumiço de peixes

Algum peixe desapareceu do rio ou ribeirão?

NOTA:

NOTA 1: Muitos peixes sumiram.
NOTA 5: Alguns peixes sumiram. (mais de 2 tipos de peixes).
NOTA 10: Poucos ou nenhum peixe sumiu. (menos de 2 tipos de peixes).

2 - Novos peixes

Surgiram novos peixes no rio ou ribeirão?

NOTA:

NOTA 1: Mais de 2 tipos de peixes novos apareceram.
NOTA 5: Apareceram só um ou dois tipos de peixes novos.
NOTA 10: Não apareceu nenhum peixe novo, tá igual de antes.

3.1 - Quais peixes sumiram?

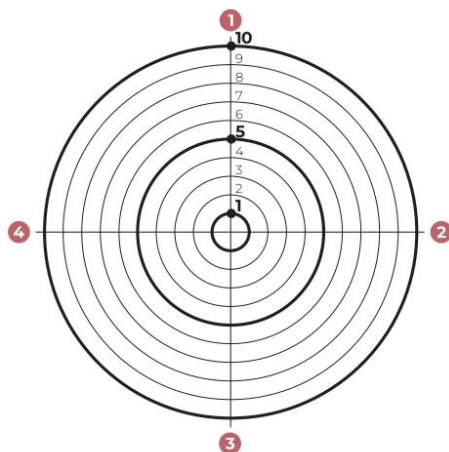
☐ Surubim	☐ Pacamã	☐
☐ Curimatã	☐ Corvina	☐
☐ Mandi	☐ Piranha	☐
☐ Piau	☐ Pacu	☐
☐ Dourado	☐ Tucunaré	☐

2.1 - Quais peixes apareceram?

☐ Surubim	☐ Pacamã	☐
☐ Curimatã	☐ Corvina	☐
☐ Mandi	☐ Piranha	☐
☐ Piau	☐ Pacu	☐
☐ Dourado	☐ Tucunaré	☐

Figuras C8- Páginas de registro das observações doas Animais domésticos e silvestres

QUALIDADE DOS ANIMAIS (Domésticos e silvestres)



1 - Alimentação dos animais

Como estão as áreas de pastejo dos animais afetadas pelas enchentes?

NOTA:

NOTA 1: Sem condições para alimentar os animais.
NOTA 5: Insuficiente, precisa complementar a alimentação dos animais.
NOTA 10: Suficiente para alimentar os animais.

2 - Morte de animais

Como está a mortalidade de animais na sua propriedade?

NOTA:

NOTA 1: Continua perdendo animais sem entender o motivo.
NOTA 5: Às vezes perdemos algum animal sem entender o motivo.
NOTA 10: As perdas estão normalizadas. (como era antes).

2.1 - Quais animais morreram?

- () Bovinos ()
 () Galinhas ()
 () Abortos de vacas ()

3 - Sumiço de animais

Algum animal silvestre desapareceu?

NOTA:

NOTA 1: Mais de 2 animais desapareceram.
NOTA 5: De 1 a 2 animais desapareceram.
NOTA 10: Nenhum animal desapareceu.

3.1 - Quais animais sumiram?

- () Grilos ()
 () Capivaras ()
 () Pássaro preto ()

4 - Novos animais

Apareceram animais silvestres?

NOTA:

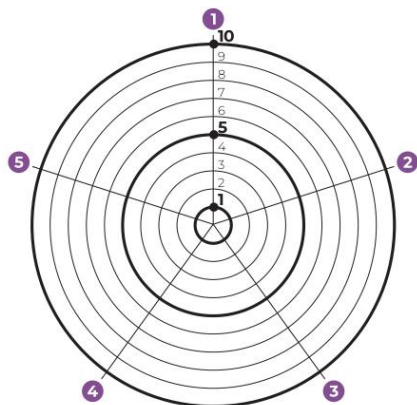
NOTA 1: Apareceram mais de 2 novos animais.
NOTA 5: De 1 a 2 novos animais apareceram.
NOTA 10: Não apareceram novos animais.

3.1 - Quais animais apareceram?

- () Insetos () Lontra
 () Teiú () Crustáceos/moluscos
 () Besouros () Seriema
 () Sapos () Canarinho
 () Javali ()
 () Arara ()

Figuras C9- Páginas de registro das observações de qualidade da saúde, convivência e renda

QUALIDADE DA SAÚDE, CONVIVÊNCIA E RENDA



1 - Saúde

Como está a saúde da família depois do rompimento? Sentem algum sintoma? Quais são mais frequentes?

NOTA:

NOTA 1: Estamos com muitos problemas de saúde.
NOTA 5: Às vezes alguém aparece doente sem saber a causa.
NOTA 10: A saúde continua igual a antes.

2 - Poeira

Como está a qualidade do ar na área e na comunidade?

NOTA:

NOTA 1: Piorou, e a poeira é diferente da que era antes.
NOTA 5: Aumentou a poeira.
NOTA 10: Normal, continua como era antes.

3 - Convivência

Como está a convivência entre as pessoas na comunidade?

NOTA:

NOTA 1: Não estamos nos encontrando e não conseguimos mais festejar nossas festividades como era antes.
NOTA 5: Estamos voltando a nos encontrar e a festejar algumas festividades.
NOTA 10: Os encontros e festividades seguem normalmente.

4 - Renda

Qual o impacto do rompimento na renda da família?

NOTA:

NOTA 1: Está ruim, perdi minha fonte de renda e não consegui recuperar.
NOTA 5: Estou começando a recuperar minha renda.
NOTA 10: Consegui recuperar minha renda.

5 - Equipamentos

Como o rompimento afetou suas instalações e equipamentos?

NOTA:

NOTA 1: Perdi tudo e gastei bastante com poços, encanamentos e outros equipamentos.
NOTA 5: Tive algumas perdas e precisei gastar com manutenção.
NOTA 10: Não tive perdas e quase não precisei gastar com reparos.

Figuras C10- Páginas para anotações ou desenhos que as pessoas atingidas achassem pertinente registrar e compartilhar.

Anotações e desenhos

APÊNDICE D- PROPOSTA- CADERNETA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL PARTICIPATIVO GUARDIÕES DA NATUREZA E DO SAGRADO

1. Identificação dos Elementos Sagrados

- Quais elementos naturais são considerados sagrados pela comunidade (terreiro, casa, illê, etc.)? (árvores sagradas, rios, pedras, plantas medicinais, entre outros.)
- Esses elementos sofreram alguma mudança após o rompimento?
- Como essas mudanças afetam os rituais e as práticas espirituais?

2. Espaços de Culto e Rituais

- O espaço sagrado foi afetado de alguma forma (estruturalmente ou ambientalmente)? (terreiros, casas e outros locais de encontro com o sagrado)
- Existem dificuldades para realizar os rituais, como falta de água limpa, acesso a plantas sagradas etc.?
- Como as mudanças no ambiente físico influenciam a conexão espiritual do terreiro/casa?

3. Plantas e Animais de uso ritualístico

- Há plantas sagradas ou medicinais que foram afetadas que deixaram de crescer e/ ou ser utilizada no terreiro/casa?
- Animais específicos (como pássaros, peixes, serpentes ou outros) ainda estão presentes na área?
- Houve alterações no ciclo de vida dessas plantas ou animais, impactando a realização dos rituais?

4. Sinais e Presenças Espirituais

- Existem sinais espirituais que indicam desequilíbrio ambiental (como a ausência de cantos de pássaros, animais que não aparecem mais, entre outros)?
- A comunidade identificou mudanças na presença de entidades ou guias espirituais relacionadas às mudanças ambientais?
- Quais práticas espirituais estão sendo adotadas para lidar com os impactos?

5. Impactos sobre a Saúde Espiritual e Física

- Houve aumento de doenças físicas ou espirituais que a comunidade relaciona aos impactos no ambiente?
- A comunidade tem sentido desequilíbrio na saúde espiritual ou na força dos rituais realizados?
- Quais práticas de cura e restabelecimento espiritual estão sendo utilizadas para enfrentar essas mudanças?

6. Práticas de Proteção e Resiliência Espiritual

- Quais práticas espirituais têm sido realizadas para proteger o território e os elementos sagrados?
- A comunidade iniciou algum ritual ou prática nova como resposta aos impactos ambientais?
- Existem ações coletivas para fortalecer a espiritualidade e a resiliência frente ao processo de reparação e aos desafios ambientais?

7. Observação do Tempo e das Estações Sagradas

- Houve alteração nos ciclos naturais que guiam os rituais (como a floração, chuvas, migração de animais)?
- As festas e rituais que seguem o calendário natural foram alterados devido aos impactos ambientais?

8. Integração com a Comunidade e o Coletivo Espiritual

- Houve mudança na frequência de encontros religiosos e comunitários devido aos impactos ambientais?
- A comunidade espiritual percebe mudanças na energia coletiva durante os rituais ou encontros?

APÊNDICE E- Química dos solos afetados (AF) e não afetados (NA) pela lama contaminada com rejeito de mineração

TRAT	REP	pH H ₂ O	pH KCl	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-Rem
NA	1	5,99	5,16	18	199	2,93	1	0	3,6	4,44	4,44	8,04	55,2	0	3,58	39,9
NA	2	5,53	4,58	5,2	64	2,91	0,49	0,06	3,7	3,56	3,62	7,26	49	1,7	2,06	37,5
NA	3	5,16	4,12	3,7	71	1,39	0,4	0,36	3,7	1,97	2,33	5,67	34,7	15,5	1,56	34,6
NA	1	5,79	4,89	1,3	82	2,73	0,77	0	2,8	3,71	3,71	6,51	57	0	1,87	32,7
NA	2	5,76	4,75	2,4	91	2,66	0,73	0	3,4	3,62	3,62	7,02	51,6	0	2,02	34,6
NA	3	5,81	4,84	1,5	97	2,36	0,77	0	3	3,38	3,38	6,38	53	0	2,01	32,9
NA	1	5,16	4,26	65,9	228	2,32	0,91	0,08	5,1	3,81	3,89	8,91	42,8	2,1	2,17	35,9
NA	2	5,43	4,38	56,8	228	2,57	0,91	0,08	4,6	4,06	4,14	8,66	46,9	1,9	2,55	37,5
NA	3	5,48	4,39	59	262	2,37	0,95	0,06	4,9	3,99	4,05	8,89	44,9	1,5	2,72	31,1
NA	1	5,55	4,25	2	88	2,43	0,79	0,14	3,9	3,45	3,59	7,35	46,9	3,9	2,88	30,9
NA	2	7,7	6,91	7,1	82	4,44	0,86	0	0,4	5,51	5,51	5,91	93,2	0	1,43	39,3
NA	3	5,67	4,3	1,5	48	2,02	0,54	0,16	2,7	2,68	2,84	5,38	49,8	5,6	2,2	39,7
NA	1	5,1	4,15	3,5	142	1,55	0,65	0,38	5,2	2,56	2,94	7,76	33	12,9	3,02	22,9
NA	2	4,61	3,86	8,7	56	0,9	0,3	1,13	6,1	1,34	2,47	7,44	18	45,7	2,49	21,7
NA	3	5,16	4,25	16,7	210	2,17	0,68	0,16	5	3,39	3,55	8,39	40,4	4,5	2,49	29,8
NA	1	5,78	4,62	1,3	130	2,06	1,12	0,1	3,3	3,51	3,61	6,81	51,5	2,8	3,86	39
NA	2	5,79	4,42	0,6	107	1,33	0,84	0,18	3,3	2,44	2,62	5,74	42,5	6,9	1,35	35,4
NA	3	5,33	4,21	0,5	41	1,08	0,58	0,26	3,1	1,77	2,03	4,87	36,3	12,8	3,18	35,1
NA	1	4,24	3,81	2,1	68	0,83	0,4	1,09	5,9	1,4	2,49	7,3	19,2	43,8	2,83	24
NA	2	4,25	3,82	1,4	98	0,52	0,43	1,13	6,5	1,2	2,33	7,7	15,6	48,5	3,18	24,5
NA	3	4,34	4,36	1	58	0,72	0,43	1,28	6,9	1,3	2,58	8,2	15,9	49,6	3,55	22,3
NA	1	5,77	4,91	5,7	252	2,32	1,19	0	3,4	4,16	4,16	7,56	55	0	2,03	42,9
NA	2	6,08	5,24	4,3	228	2,86	1,24	0	3	4,68	4,68	7,68	60,9	0	2,28	44
NA	3	6,1	5,16	69	339	2,51	0,99	0	2,6	4,37	4,37	6,97	62,7	0	2,07	47,8
NA	1	5,56	4,67	4,3	69	2,13	0,63	0	2,1	2,94	2,94	5,04	58,3	0	1,96	38,6
NA	2	5,52	4,67	1,6	82	2,72	0,76	0	3,4	3,69	3,69	7,09	52	0	2,63	33,9
NA	3	5,4	4,43	1,3	88	2	0,62	0,2	3,9	2,85	3,05	6,75	42,2	6,6	2,87	32
NA	1	5,51	4,84	27,8	119	2,6	0,93	0	2,7	3,84	3,84	6,54	58,7	0	1,81	46,2
NA	2	5,34	4,75	23,8	66	2,56	0,84	0	3	3,57	3,57	6,57	54,3	0	1,73	46,7
NA	3	5,41	4,76	25,7	105	2,52	0,9	0	3	3,69	3,69	6,69	55,2	0	2,26	44
NA	1	5,02	4,23	1,2	56	1,61	0,94	0,41	6	2,69	3,1	8,69	31	13,2	2,99	18,6
NA	2	5,24	4,31	1,1	135	1,56	0,9	0,35	5	2,81	3,16	7,81	36	11,1	2,89	20,6
NA	3	5,19	4,27	0,7	62	1,91	0,79	0,32	5,2	2,86	3,18	8,06	35,5	10,1	2,77	22,4
AF	1	5,38	4,61	2,3	51	3,28	1,17	0	4,4	4,58	4,58	8,98	51	0	3,44	22,4
AF	2	5,3	4,43	1,5	140	3,22	1,02	0,16	4,9	4,6	4,76	9,5	48,4	3,4	3,2	19,6
AF	3	5,12	4,32	2,1	105	3,48	0,88	0,2	5,1	4,63	4,83	9,73	47,6	4,1	3,21	22,1
AF	1	5,59	4,4	23,5	99	1,99	0,68	0,12	3,7	2,92	3,04	6,62	44,1	3,9	2,1	37,8
AF	2	5,75	4,89	13,2	166	2,79	0,71	0	3,4	3,93	3,93	7,33	53,6	0	2,2	35
AF	3	5,55	4,52	5,3	68	2,06	0,47	0,08	3,5	2,7	2,78	6,2	43,5	2,9	1,74	35,1
AF	1	5,78	4,55	2,9	78	2,71	0,59	0,06	3,7	3,5	3,56	7,2	48,6	1,7	2,42	31,9
AF	2	5,55	4,54	1,9	35	3,33	0,74	0,08	3,6	4,16	4,24	7,76	53,6	1,9	1,95	27,2
AF	3	5,5	5,23	2,3	37	2,09	0,49	0	1,6	2,67	2,67	4,27	62,5	0	0,97	37
AF	1	6,41	5,52	13,9	104	3,89	1,03	0	2,2	5,19	5,19	7,39	70,2	0	1,8	20,6
AF	2	6,33	5,41	8,3	128	3,27	0,87	0	2,3	4,47	4,47	6,77	66	0	1,92	21,1
AF	3	6,5	5,5	7,9	155	3,47	0,95	0	2,2	4,82	4,82	7,02	68,7	0	1,85	21,4
AF	1	5,89	4,81	2,5	62	1,79	0,55	0	2,5	2,5	2,5	5	50	0	1,28	25,5
AF	2	6,16	5,1	2,3	88	1,41	0,47	0	1,7	2,11	2,11	3,81	55,4	0	0,52	30,9
AF	3	6,07	5,23	2,7	64	2,32	0,75	0	1,9	3,23	3,23	5,13	63	0	1,85	22,2
AF	1	4,73	3,99	6,3	41	0,98	0,32	0,53	4,4	1,41	1,94	5,81	24,3	27,3	1,72	28,9
AF	2	5,14	4,29	15,2	81	1,63	0,6	0,14	3,8	2,44	2,58	6,24	39,1	5,4	2,1	35
AF	3	5,97	5,29	11,1	257	3,9	1,39	0	2,9	5,95	5,95	8,85	67,2	0	3,32	41,3
AF	1	4,96	4,27	10,9	99	2,46	0,75	0,08	4,1	3,46	3,54	7,56	45,8	2,3	2,92	38,6
AF	2	5,48	4,74	47,4	93	3,4	1,19	0	3,6	4,83	4,83	8,43	57,3	0	3,57	38,1
AF	3	6,84	6,28	234,6	153	5,62	0,72	0	1,5	6,73	6,73	8,23	81,8	0	2,37	44,8
AF	1	5,15	5,95	2,8	75	2,31	0,62	0,14	4,3	3,12	3,26	7,42	42	4,3	3,18	30,3
AF	2	6,59	4,73	4	37	3,98	0,58	0	1,3	4,65	4,65	5,95	78,2	0	2,26	36,9
AF	3	5,51	6,33	1,4	48	2,42	0,32	0	3,5	2,86	2,86	6,36	45	0	1,96	32,5
AF	1	5,87	5,04	6	95	2,3	0,69	0	2,8	3,23	3,23	6,03	53,6	0	1,56	25,3
AF	2	6,2	5,32	6	42	2,66	0,74	0	2,4	3,51	3,51	5,91	59,4	0	1,27	25
AF	3	6,24	5,39	7,5	227	2,17	0,67	0	2,1	3,42	3,42	5,52	62	0	1,35	27,4
AF	1	5,56	4,9	6,8	98	2,65	0,65	0	3,1	3,55	3,55	6,65	53,4	0	2,24	23,1
AF	2	6,02	5,3	9	134	3,55	0,9	0	3	4,79	4,79	7,79	61,5	0	2,11	21,1
AF	3	6,03	5,38	5,5	102	3,32	0,78	0	2,5	4,36	4,36	6,86	63,6	0	2,03	19,6
AF	1	5,97	5,22	3,9	88	2,42	0,67	0	1,9	3,32	3,32	5,22	63,6	0	1,16	27,7
AF	2	6,02	5,37	4	119	2,8	0,74	0	1,6	3,85	3,85	5,45	70,6	0	1,48	24,2
AF	3	6,13	5,48	4,6	110	2,8	0,71	0	1,9	3,79	3,79	5,69	66,6	0	1,19	24

APÊNDICE F- Teores de metais pesados nos solos afetados (AF) e não afetados (NA) pela lama contaminada com rejeito de mineração

PROP	REP	ID	AS	BA	CD	CO	CR	C	FE	MN	NI	PB	V	ZN
1	1	AF	0,000	0,000	11,294	32,164	0,000	27,418	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	2	AF	0,000	2321,471	0,000	74,432	249,699	43,908	119974,233	2279,698	146,666	66,249	169,734	721,158
1	3	AF	0,000	2210,634	9,642	41,834	237,925	27,786	90341,518	2039,717	301,169	0,000	126,303	522,331
2	1	AF	0,000	1340,102	0,000	59,112	354,772	234,907	125526,740	834,331	261,480	0,000	214,940	612,287
2	2	AF	0,000	1091,969	14,783	50,735	334,412	60,429	93842,784	1706,382	330,103	0,000	161,817	728,748
2	3	AF	266,171	1205,770	16,752	38,012	296,143	28,590	97690,843	1177,905	151,196	0,000	129,560	596,180
3	1	AF	25,609	2212,189	12,673	44,335	473,439	16,464	81352,688	2044,351	170,617	3,162	127,185	714,214
3	2	AF	102,283	2210,045	0,000	78,059	404,046	6,432	68723,474	1890,953	2813,065	0,000	96,407	532,121
3	3	AF	34,628	2623,125	0,000	18,765	158,448	110,970	51445,703	2362,904	115,808	58,576	69,197	565,136
4	1	AF	0,000	698,847	7,697	74,609	201,958	122,711	123628,291	1401,913	1644,415	0,000	283,144	357,017
4	2	AF	413,130	676,576	0,000	53,461	207,081	10,027	120591,653	1501,459	2073,112	0,000	316,634	441,754
4	3	AF	283,509	1147,571	13,156	59,190	180,404	53,959	120905,798	1682,876	106,284	0,000	280,239	568,650
5	1	AF	0,000	1572,214	33,336	115,293	524,540	201,386	673923,977	7837,654	203,643	0,000	502,578	632,190
5	2	AF	0,000	1385,643	13,068	124,252	447,112	48,705	710711,188	8037,792	1348,214	0,000	360,971	846,873
5	3	AF	0,000	1314,672	34,608	96,148	423,968	217,846	631004,724	7279,207	192,844	56,392	341,842	1056,584
6	1	AF	164,142	1278,490	13,551	80,390	243,942	105,360	132041,411	2973,874	101,438	0,000	253,266	663,434
6	2	AF	360,496	1328,559	16,569	76,974	262,399	146,216	152412,696	3387,340	146,905	0,000	239,992	463,052
6	3	AF	44,876	1190,186	45,472	104,913	399,133	15,790	835495,234	5342,025	180,842	105,118	330,482	712,776
7	1	AF	0,000	1342,299	4,703	89,376	334,747	72,719	276380,359	4170,946	3400,422	0,000	231,499	204,029
7	2	AF	0,000	1774,800	28,266	116,698	520,703	142,865	395623,389	5791,727	1050,247	0,000	356,830	723,571
7	3	AF	276,094	2267,439	26,172	120,484	762,736	62,651	500506,484	8714,700	289,461	0,000	466,347	764,714
8	1	AF	263,703	1931,918	30,326	156,479	528,313	160,617	604025,110	16452,340	267,507	0,000	457,300	680,963
8	2	AF	0,000	2506,195	44,905	142,189	697,657	207,908	756498,879	19097,674	359,299	0,000	608,112	1164,613
8	3	AF	63,689	2271,244	42,398	144,878	618,164	340,970	733056,017	17924,599	267,996	0,000	547,892	1430,179
9	1	AF	0,000	1837,326	47,072	106,366	429,846	72,689	559780,038	6344,302	205,532	0,000	399,232	775,472
9	2	AF	107,452	1894,666	42,530	96,842	407,043	226,475	700063,833	16751,900	204,699	0,000	368,666	1049,721
9	3	AF	129,329	2260,630	26,980	107,002	581,245	86,237	631100,237	9962,290	265,896	97,310	480,046	826,573

10	1	AF	0,000	2067,888	44,702	121,106	544,662	131,815	651235,623	8510,812	232,798	0,000	474,641	375,496
10	2	AF	323,577	2180,771	28,899	104,209	1200,154	274,211	781414,841	10591,413	623,390	0,000	544,855	682,420
10	3	AF	250,192	2306,623	23,038	138,059	627,356	244,602	686028,841	10708,831	271,724	0,000	534,611	646,660
11	1	AF	257,074	2732,781	45,798	114,723	703,288	118,422	476122,593	9637,267	325,741	0,000	579,991	1006,587
11	2	AF	338,876	2654,037	34,211	138,722	606,668	105,184	368298,935	6159,461	285,633	0,000	512,103	1042,656
11	3	AF	0,000	1813,972	24,986	91,428	336,705	179,412	226574,446	3353,807	162,143	0,000	331,931	735,460
1	1	NA	29,105	1648,672	23,361	33,907	94,223	110,385	84392,242	1592,107	77,906	0,000	175,231	385,430
1	2	NA	239,176	2921,103	0,000	31,883	38,914	113,592	77689,272	1180,415	31,112	0,000	100,699	462,718
1	3	NA	0,000	2653,447	7,210	38,066	100,723	80,567	69781,390	1064,789	78,107	78,480	70,461	395,254
5	1	NA	202,445	2423,689	18,987	42,690	297,351	20,805	275524,435	4028,378	150,212	0,000	240,712	803,317
5	2	NA	237,650	2625,484	0,000	58,896	325,964	184,862	251719,501	4786,199	218,486	0,000	220,468	844,220
5	3	NA	215,513	2558,449	15,589	11,200	255,563	29,299	151043,465	5032,319	133,021	0,000	132,626	754,674
6	1	NA	0,000	1478,598	21,135	111,416	450,246	83,660	207832,595	4558,735	185,266	0,000	509,199	643,200
6	2	NA	417,203	836,495	12,760	61,694	303,497	107,847	130657,559	2929,656	126,636	0,000	312,314	430,907
6	3	NA	0,000	1122,467	0,000	96,699	450,858	126,064	182015,958	3647,294	223,238	0,000	460,570	356,671
7	1	NA	245,971	1928,267	11,415	19,992	76,051	138,546	73160,350	763,634	74,425	0,000	129,407	489,009
7	2	NA	0,000	1105,041	7,164	33,211	62,764	55,141	33478,672	503,577	48,059	14,663	70,307	366,027
7	3	NA	226,458	2481,908	37,163	48,191	73,219	0,000	50796,014	776,671	70,836	0,000	106,070	318,479
8	1	NA	45,283	2067,766	1,747	64,177	379,336	86,158	284949,014	5044,743	205,974	0,000	370,674	584,445
8	2	NA	0,000	1811,644	13,703	67,028	224,296	197,311	147350,169	2694,055	137,742	0,000	237,406	540,352
8	3	NA	0,000	1378,125	15,898	35,919	153,927	48,902	110801,186	1944,028	72,887	0,000	200,599	297,885
2	1	NA	167,652	1795,067	29,181	48,348	182,217	177,103	166848,992	1782,627	140,515	0,000	218,734	421,839
2	2	NA	159,628	943,652	14,938	41,439	101,788	192,030	121084,685	1238,635	93,977	0,000	183,043	299,465
2	3	NA	0,000	832,323	0,835	35,427	266,645	146,356	134617,754	1946,247	155,341	0,000	236,830	320,384
3	1	NA	0,000	3724,022	21,422	7,163	17,497	81,120	58683,297	1775,288	53,656	0,000	82,181	250,383
3	2	NA	0,000	4250,278	23,309	25,566	133,557	110,820	84454,978	2018,003	134,788	0,000	110,916	458,782
3	3	NA	283,100	3916,475	0,000	24,117	35,833	135,855	86755,285	1701,600	92,172	0,000	119,089	438,299
4	1	NA	0,000	485,199	17,043	78,953	108,491	143,194	164708,376	1201,372	127,175	0,000	446,908	358,191

4	2	NA	0,000	526,712	0,000	109,363	151,043	214,273	226167,465	1306,738	108,205	0,000	644,137	419,869
4	3	NA	212,595	439,825	7,611	64,668	123,020	96,188	187142,310	1189,672	83,783	52,216	529,752	396,158
9	1	NA	60,957	2338,720	17,801	20,216	199,826	106,906	63688,506	802,288	144,267	0,000	70,148	182,002
9	2	NA	327,167	2565,970	6,756	18,581	75,579	141,392	58981,928	998,105	66,434	0,000	50,729	336,193
9	3	NA	295,033	2817,177	10,326	36,322	86,626	108,523	61919,218	1119,653	74,773	75,700	67,119	307,459
10	1	NA	306,412	4138,197	11,175	33,481	112,903	79,228	45242,520	1798,643	76,212	0,000	55,069	343,516
10	2	NA	96,425	4071,520	0,000	23,280	90,912	164,044	43960,889	2334,094	75,626	72,119	142,899	403,474
10	3	NA	275,845	3654,121	12,107	10,021	85,938	129,922	33810,898	1466,694	73,226	33,547	118,075	396,202
11	1	NA	0,000	929,666	17,659	103,041	148,285	191,915	224301,687	5048,579	134,760	0,000	457,316	526,016
11	2	NA	0,000	828,583	2,384	176,530	193,410	177,870	272145,065	5615,084	153,862	0,000	536,510	594,477
11	3	NA	107,111	830,843	34,938	152,661	276,759	131,630	242314,049	4905,882	161,793	0,000	513,235	557,816

APÊNDICE G- Médias do desenvolvimento morfológico e produção de massa seca do milho crioulo em solos afetados (AFMC) e não afetados (NAMC) e com esterco (AO) e do milho híbrido em solo afetado (AFMH) e não afetados (NAMH) e com esterco (AO).

TRAT	REP	H (cm)	D (mm)	LF (cm)	CF (cm)
AFMH	1	10	36	2	29
AFMH	2	14	34	2,3	36
AFMH	3	9,8	27	2,3	32,5
AFMH	4	14	23	2,3	36,5
AFMH	5	11,5	28	2,2	31,4
AFMHAO	1	13	50	2,8	40,5
AFMHAO	2	13	46,5	3	42
AFMHAO	3	13	36	2,8	46
AFMHAO	4	17,5	63	3,5	51
AFMHAO	5	16	37	3	46
AFMC	1	9,5	25	1,8	30
AFMC	2	9,5	19,5	1,8	34
AFMC	3	14,2	28	2	36,8
AFMC	4	11,3	29,5	2,3	33
AFMC	5	9,5	19,5	2	31
AFMCAO	1	19,2	54	3,5	54
AFMCAO	2	18,3	41	2,7	55
AFMCAO	3	17	50	3,1	54,5
AFMCAO	4	19,2	42	2,2	57
AFMCAO	5	17,5	47,5	3,2	54,5
NAMH	1	9,5	29,5	1,8	33
NAMH	2	12	15,5	1,6	33,5
NAMH	3	13	23,5	2,1	34,5
NAMH	4	14	23	1,6	36,2
NAMH	5	12,5	17,5	1,6	37
NAMHAO	1	18	36,5	2,9	43,5
NAMHAO	2	15,5	34	2,5	39,5
NAMHAO	3	17,2	39	2,6	46
NAMHAO	4	15,5	33	2,2	49,5
NAMHAO	5	17	37	2,4	39,5
NAMC	1	10,2	25,5	2	32,5
NAMC	2	12	28,5	1,7	34,2
NAMC	3	13	26	1,9	33,7
NAMC	4	13	46,5	2,1	42,8
NAMC	5	13,5	27	1,9	36
NAMCAO	1	14,3	49	2,9	38,5
NAMCAO	2	18	44,5	2,9	54
NAMCAO	3	17,5	56,5	3,2	50,5
NAMCAO	4	16	53,5	3,2	51,5
NAMCAO	5	16	44	2,3	41,5

TRAT	PESO SECO	
	PLANTA	RAIZ
AFMH	0,71	0,88
AFMH	0,51	0,47
AFMH	0,71	0,61
AFMH	0,86	0,76
AFMH	0,61	0,48
AFMHAO	1,87	0,8
AFMHAO	1,14	0,57
AFMHAO	1,18	0,63
AFMHAO	0,91	0,48
AFMHAO	1,48	0,87
AFMC	0,5	0,58
AFMC	0,45	0,66
AFMC	0,79	0,75
AFMC	0,83	0,88
AFMC	0,53	0,7
AFMCAO	0,89	1,2
AFMCAO	0,69	0,78
AFMCAO	0,7	0,9
AFMCAO	2,18	1,2
AFMCAO	1,1	0,64
NAMH	0,33	0,39
NAMH	0,43	0,36
NAMH	0,52	0,52
NAMH	0,32	0,33
NAMH	0,48	0,52
NAMHAO	0,88	0,58
NAMHAO	0,96	0,62
NAMHAO	1,24	0,85
NAMHAO	0,72	0,41
NAMHAO	0,88	0,66
NAMC	0,69	0,67
NAMC	0,67	0,61
NAMC	0,62	0,67
NAMC	0,8	0,99
NAMC	0,78	0,8
NAMCAO	0,85	0,81
NAMCAO	1,29	1,09
NAMCAO	1,54	1,16
NAMCAO	1,61	1,12
NAMCAO	1,35	1,51