



INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO
DA NATUREZA

Juliana Correia Reis

DIFERENÇAS NA ASSIMETRIA FLUTUANTE E NA MASSA DE FÍGADOS EM
UMA POPULAÇÃO DE ANFÍBIOS AFETADA PELO MAIOR DESASTRE
AMBIENTAL DO BRASIL

Juiz de Fora

2023

Juliana Correia Reis

**DIFERENÇAS NA ASSIMETRIA FLUTUANTE E NA MASSA DE FÍGADOS EM
UMA POPULAÇÃO DE ANFÍBIOS AFETADA PELO MAIOR DESASTRE
AMBIENTAL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Renato Christensen Nali

Juiz de Fora

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Reis, Juliana Correia.

Diferenças na assimetria flutuante e na massa de fígados em uma população de anfíbios afetada pelo maior desastre ambiental do Brasil / Juliana Correia Reis. -- 2023.

49 p. : il.

Orientador: Renato Christensen Nali

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, 2023.

1. Barragem de Fundão. 2. Metais pesados. 3. Animais bioindicadores. 4. Hipertrofia do fígado. 5. Bioacumulação. I. Nali, Renato Christensen , orient. II. Título.

JULIANA CORREIA REIS

Diferenças na assimetria flutuante e na massa de fígados em uma população de anfíbios afetada pelo maior desastre ambiental do Brasil,

Dissertação
apresentada ao
Programa de Pós-
Graduação em
Biodiversidade e
Conservação da
Natureza
da Universidade
Federal de Juiz de
Fora como requisito
parcial à obtenção do
título de Mestre em
Biodiversidade e
Conservação da
Natureza. Área de
concentração:
Comportamento,
Ecologia e
Sistemática.

Aprovada em 31 de maio de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato Christensen Nali - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Mirco Solé Kienle

Universidade Estadual de Santa Cruz

Dra. Paula Cabral Eterovick

Technische Universität Braunschweig

Juiz de Fora, 12/05/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Renato Christensen Nali, Professor(a)**, em 31/05/2023, às 11:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mirco Solé Kienle, Usuário Externo**, em 31/05/2023, às 11:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paula Cabral Eterovick, Usuário Externo**, em 31/05/2023, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1280520** e o código CRC **C92BC227**.

Dedico esse trabalho à minha querida mãe,
aos meus irmãos pelo apoio e incentivo,
e ao meu orientador por acreditar na minha
capacidade em realiza-lo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha querida mãe, pois, sem a dádiva da vida que ela me deu juntamente com os seus cuidados, amor, carinho, conselhos e apoio, jamais poderia chegar até aqui.

Ao meu querido pai que já se encontra desencarnado, mas que também me deu a dádiva da vida e sempre demonstrou muito amor, carinho e proteção por mim quando em vida. Acredito que onde esteja ainda continua me protegendo e torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus irmãos Ramon, Ewerton e Aline, por sempre estarem ao meu lado nos momentos mais difíceis, sempre me fazendo acreditar que sou merecedora das minhas conquistas e capaz de alcançar todos os meus objetivos e sonhos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato C. Nali, por toda paciência com o meu processo de amadurecimento científico, pelo apoio emocional nos momentos mais cruciais da minha vida e nas minhas dificuldades e limitações como pós graduanda. Pela sua dedicação como orientador, cumprindo sempre com suas responsabilidades e me ajudando a evoluir como pesquisadora.

Ao meu colaborador Prof. Dr. Renan Nunes Costa, pelas grandes contribuições que fez para o desenvolvimento deste trabalho, possibilitando grandes melhorias e amadurecimento da minha visão sobre as aplicações das ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa. Tenho certeza de que, com sua ajuda, conseguiremos publicar esta dissertação na forma de artigo científico.

Aos membros do Laboratório de Ecologia Evolutiva de Anfíbios (LECEAN-UFJF) pela colaboração no desenvolvimento desse trabalho, participando das apresentações prévias das etapas dessa pesquisa, contribuindo através das nossas trocas das suas experiências e sugestões para melhoria desse projeto. Em especial, agradeço ao Pedro L. Aguiar, pela elaboração do mapa aqui apresentado.

Ao Eduardo Borges e ao Prof. Dr. José Carlos de Oliveira, por terem me ajudado com as coletas de campo, pela paciência na busca ativa dos anuros, e por enfrentar os desafios do campo à noite, colaborando para que as análises tivessem andamento.

Aos membros do Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Helminhos (LABTECH/Odile Bain-UFJF) em especial à Prof. Dra. Sueli de Souza Lima, por permitir o acesso ao seu laboratório, pelas trocas e aprendizado, que me proporcionaram uma riqueza de conhecimento científico.

Ao Departamento de Zoologia do Instituto de Ciências Biológicas, principalmente ao Laboratório de Ecologia Evolutiva de Anfíbios (LECEAN-UFJF), por todo apoio e suporte que precisei para conseguir desenvolver as etapas desse projeto.

Ao senhor Eduardo Lanna, sua filha Dra. Flávia Lanna, e seu genro Dr. Emanuel Masiero, que viabilizaram e proporcionaram acesso à Fazenda Apaga Fogo, situada no município de Barra Longa, onde foram realizadas as coletas desse trabalho. Sou muito grata por nos receber, por permitir nossa estadia em sua residência e nos ajudar com informações essenciais sobre as áreas afetadas pela lama, bem como nos levar até esses locais. Além disso, sou grata também por suas coletas e tombamento de espécimes de anuros em anos anteriores a este trabalho, as quais foram imprescindíveis para a consecução dos objetivos.

Em especial, deixo meu agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado em março do ano de 2022, o que permitiu que este trabalho fosse finalizado com sucesso.

RESUMO

O maior desastre ambiental brasileiro ocorreu em novembro de 2015 com o rompimento da barragem de Fundão (Mariana, MG). Na ocasião, foram lançadas toneladas de rejeitos de minério nos ambientes terrestres e aquáticos, o que levou a altas concentrações de metais pesados e expôs os organismos a diferentes níveis de toxicidade, incluindo os anfíbios. Devido à alta susceptibilidade a agentes químicos e ao ciclo de vida aquático/terrestre da maioria dos anfíbios, animais deste grupo podem elucidar evidências de contaminação através da variação em atributos utilizados como indicadores de estresse, como os desvios na estabilidade do desenvolvimento (e.g. assimetria flutuante - AF) e alterações no tamanho de órgãos responsáveis por filtrar substâncias tóxicas (e.g. fígado). Neste estudo, analisamos o impacto do rompimento da barragem de Fundão através da avaliação da assimetria flutuante e da massa do fígado de indivíduos de *Boana albopunctata* (Anura: Hylidae). Utilizamos espécimes pós-metamórficos coletados antes do desastre (2014) e em dois momentos após o desastre (2018 e 2022) em uma fazenda no município de Barra Longa (MG), por onde os rejeitos passaram. Mensuramos 12 estruturas bilaterais em cada indivíduo e calculamos índices de AF para cada estrutura, seguindo um protocolo que analisa o tipo de assimetria existente e o tamanho do erro de medição. Extraímos o fígado de cada indivíduo e pesamos com uma balança analítica. Comparamos, então, os índices de AF e massa dos fígados entre os três anos distintos, esperando observar maiores índices de assimetria flutuante e maior massa dos fígados após o desastre. Do total de traços mensurados, três deles apresentaram AF e os demais foram excluídos das análises subsequentes após detecção de erros de medição, assimetria do tipo direcional e/ou antissimetria. Espécimes coletados em 2022 apresentaram um índice de AF na área do tímpano menor do que em anos anteriores. Isso pode estar relacionado à seleção de indivíduos com tímpanos simétricos sete anos após o acidente, pois já foi demonstrada a importância deste fator na fonotaxia de fêmeas de anuros para cantos de machos. Por outro lado, observamos um aumento da massa dos fígados dos indivíduos após o acidente, especificamente na comparação entre 2014 e 2022, o que sugere a resiliência da função deste órgão nos indivíduos e em seus descendentes após exposição aos rejeitos. Embora os resultados observados possam ter sido influenciados por processos ecofisiológicos não mensurados, demonstramos, pela primeira vez, que o desastre ambiental da barragem de Fundão causou respostas diferenciadas em uma população de anfíbios em ambiente natural. Nosso estudo enfatiza que os efeitos da mineração em organismos podem ser multifacetados, indicando a

necessidade de conduzir estudos detalhados com os diversos grupos afetados para compreender a magnitude deste e de outros desastres similares.

Palavras-chave: desastre ambiental, metais pesados, barragem de Fundão, animais bioindicadores, hipertrofia do fígado, bioacumulação, Amphibia, Neotrópico

ABSTRACT

The largest environmental disaster in Brazilian history occurred in November 2015 with the collapse of the Fundão dam in the municipality of Mariana, Minas Gerais state, Brazil. The incident released tons of ore tailings into both terrestrial and aquatic environments, leading to high concentrations of heavy metals and exposing organisms, including amphibians, to different levels of toxicity. Amphibians are particularly susceptible to chemical agents and their life cycle usually involves both aquatic and terrestrial phases. As a result, they can provide evidence of contamination through variations in indicators of stress, such as deviations in developmental stability (e.g. fluctuating asymmetry - FA) and changes organs responsible for filtering toxic substances (e.g. liver). To analyze the impact of the disaster, we assessed the fluctuating asymmetry and liver mass of *Boana albopunctata* (Anura: Hylidae) individuals. We analyzed post-metamorphic specimens collected before the disaster (2014) and at two time points after the disaster (2018 and 2022) from a farm in the municipality of Barra Longa, Minas Gerais state, Brazil, through which the tailings passed. We measured 12 bilateral structures in each individual and calculated FA indices for each structure, using a protocol that analyzes the type of existing asymmetry and possible measurement errors. We also weighed the liver of each specimen using an analytical balance. Finally, we compared the FA indices and liver masses among the three different years, expecting higher FA levels and larger livers after the disaster. Of the total traits measured, three showed FA, while the others were excluded from subsequent analyses due to measurement errors, directional asymmetry, and/or anti-symmetry. We observed lower FA indices in the tympanic area of specimens collected in 2022 compared with previous years, which could be related to the selection of individuals with more symmetrical eardrums seven years after the accident. This is significant, as the importance of symmetrical eardrums in the phonotaxis of female frogs to male calls has been demonstrated. However, we also observed an increase in liver masses of individuals after the accident, specifically when comparing 2014 and 2022. This suggests that the function of this organ remained resilient in individuals and their offspring after exposure to the tailings. Although the observed results may have been influenced by unmeasured ecophysiological processes, our study is the first to demonstrate differential responses of an amphibian population in a natural environment affected by the Fundão dam environmental disaster. We emphasize that the effects of mining on organisms can be multifaceted and indicate the need to conduct more detailed studies with various affected groups to understand the magnitude of this and other similar disasters.

Keywords: environmental disaster, heavy metals, Fundão dam, bioindicator animals, liver hypertrophy, Amphibia, Neotropics

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 COLETA DE DADOS.....	16
3.2 AVALIAÇÃO DA ASSIMETRIA FLUTUANTE.....	16
3.3 AVALIAÇÃO DA MASSA DE FÍGADOS.....	18
4 RESULTADOS.....	20
4.1 ASSIMETRIA FLUTUANTE.....	20
4.2 MASSA DOS FÍGADOS.....	20
5 DISCUSSÃO.....	25
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS.....	31
APÊNDICE A – Vouchers dos espécimes utilizados para o estudo.....	41
ANEXO A – Laudo técnico de avaliação de impacto ambiental.....	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com o maior potencial mineral do mundo, o que faz da extração de minérios uma importante atividade para seu desenvolvimento econômico (SAMARCO, 2013). No entanto, na ausência de planejamento e fiscalização, a atividade de mineração, sabidamente um processo que gera impactos ambientais, pode ser desastrosa (SEGURA et al., 2016; HATJE et al., 2017). A cidade de Mariana, localizada na Zona da Mata mineira (estado de Minas Gerais, Brasil) pertence à região responsável pela maior produção de minério de ferro do país (SOUZA et al., 2005), onde três barragens da empresa Samarco (Germano, Fundão e Santarém) auxiliam na atividade de extração. A usina Germano é responsável pelo processamento da mineração e transporte do minério, despejando seu rejeito na barragem de Fundão (SAMARCO, 2013). Entretanto, em 5 de novembro de 2015, a barragem de Fundão rompeu-se, liberando 55 milhões de metros cúbicos de vazamento de rejeitos como areia, lama e detritos de minério. A pressão causada pelo grande volume da lama de rejeitos atingiu a barragem de Santarém mais abaixo, intensificando ainda mais o impacto (GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2016).

Este pode ser considerado o maior desastre ambiental do Brasil, causando danos como a morte de pessoas, destruição de áreas agrícolas, pastagens, áreas de preservação permanente, fragmentos nativos da Mata Atlântica, mortalidade da biota aquática e fauna terrestre dependente da mesma (IBAMA, 2015). Amostras de solo e lama de rejeitos do desastre indicaram riscos potenciais de citotoxicidade e danos em DNA (SEGURA et al., 2016), contradizendo os relatórios da Samarco e do governo estadual, que declararam que os níveis de metais pesados no rio seriam aceitáveis (GARCIA et al., 2017). O monitoramento das águas identificou alterações nas concentrações dos metais alumínio, bário, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, estanho, magnésio, níquel, potássio e sódio (BRASIL, 2015; IBAMA, 2015), além de ferro e manganês em níveis muito acima do esperado, em torno de quatro vezes maior que o limite legal (SEGURA et al., 2016). Tendo em vista que metais pesados liberados no ambiente podem induzir genotoxicidade, respostas adversas em animais são esperadas em diferentes níveis estruturais, ou seja, em células, tecidos e órgãos (GODET et al., 1996; DE SOUZA POHREN et al., 2013). Assim, o desastre indubitavelmente trouxe consequências negativas para a fauna, principalmente em espécies mais sensíveis, como os anfíbios. Por exemplo, especificamente quanto aos rejeitos da barragem de Fundão, um único estudo feito com girinos da rã-touro (espécie invasora) mostrou que a exposição aguda aos rejeitos não causou mortalidade, mas prejudicou a capacidade de natação e as taxas de consumo de oxigênio

(GIROTTO et al., 2020). Além disso, foram encontrados resquícios de minério na boca e intestino dos girinos em condições contaminadas, evidenciando a ingestão de sedimentos contendo metais (GIROTTO et al., 2020).

Por terem um ciclo de vida geralmente aquático e terrestre, os anfíbios são considerados bons indicadores ambientais, acumulando indícios de poluição que não podem ser vistos em animais restritos a apenas um tipo de ambiente (HALLIDAY, 2000). Por isso, estão suscetíveis a vários tipos de contaminantes, como os metais pesados, desde sua fase larval até a vida adulta. A contaminação pode atingir até os seus descendentes, já que a nutrição do embrião nas primeiras fases de desenvolvimento vem da mãe; isso foi comprovado, por exemplo, por Hopkins et al. (2006), onde as mães transferiram contaminantes inorgânicos para seus ovos. Os ovos de anfíbios não apresentam uma camada externa rígida e protetora, absorvendo os contaminantes, dependendo do local onde foram depositados (SINGH et al., 2016). A contaminação pode ocorrer durante a alimentação dos adultos e juvenis, tanto ingerindo presas que já estão contaminadas (BURBILASA & GAVRILA, 2011), quanto na ingestão de partículas de solo contaminado (ALLMELING et al., 2012). Os girinos podem ser micrófagos, herbívoros, suspensívoros, detritívoros e até mesmo carnívoros (PETRANKA, RUSHLOW, & HOEY, 1998; ALTIG et al., 2007; WHILES & ALTIG, 2010), o que potencializa a ingestão dos metais pesados de diversas fontes contaminadas. Anfíbios também podem absorver metais pesados pela pele, na forma de íons ou pequenas partículas (CORREIA et al., 2014; MAHMOOD et al., 2016). Isso fica ainda mais evidente nos girinos, pois, além da absorção pela pele, realizam respiração branquial, internalizando constantemente a água, e fazendo com que os poluentes vindos diretamente dos corpos d'água e/ou solo aglomerem em seus tecidos (HALL & MULLHERM, 1984; SINGH et al., 2016). Além disso, a contaminação duradoura por metais pesados torna o pH do ambiente extremamente ácido (ADLASSNIG et al., 2013); isso, por sua vez, pode causar irritação da pele de rãs, tornando-a mais permeável e facilitando a entrada de metais (PAPADIMITRIOU & LOUMBOURDIS, 2003).

Mesmo quando não há aumento de letalidade, os minérios podem promover alterações orgânicas causadas pelo estresse ambiental (PARSONS, 1992). Ocorrendo em fases críticas no desenvolvimento do organismo, pode haver formação de fenótipos anormais, e, a depender do grau de severidade, toda ou grande parte da população é afetada, modificando a variabilidade fenotípica e genotípica da mesma (HOFFMAN & PARSONS, 1991). Uma das manifestações das alterações fenotípicas em resposta ao estresse ambiental é a assimetria flutuante, ou seja, a diferença no desenvolvimento de características morfológicas bilaterais, intimamente relacionada a defeitos no desenvolvimento embrionário (PARSONS, 1992; COSTA et al.,

2017). Por exemplo, o aumento no uso da terra agropastoril e a redução da vegetação marginal são capazes de gerar variações fenotípicas associadas à instabilidade do desenvolvimento de caracteres bilaterais em anfíbios (COSTA et al., 2017). Desta forma, utilizar espécies bioindicadoras que respondam a estressores ambientais com aumento de assimetria flutuante é útil para se estudar impactos ambientais, já que esta é uma técnica com baixo custo operacional e fácil aprendizado, principalmente se comparado a outros métodos de biomonitoramento (COSTA et al., 2017).

Outro fator associado ao estresse ambiental, ligado diretamente a aspectos fisiológicos, é o aumento de órgãos purificadores, como o fígado. Este órgão desempenha um papel fundamental nos processos de biotransformação dos xenobióticos por meio de mecanismos enzimáticos e não enzimáticos (MEEKS, 2000). Devido ao seu papel importante na realização das funções exócrinas (liberação de excreções), em ambientes poluídos e com altas concentrações de metais pesados, o fígado pode sofrer uma sobrecarga e diminuir a capacidade das funções a serem desempenhadas, como por exemplo, o processamento das toxinas, desintoxicação do organismo, dentre outras (BURT, 1994; HOFF et al., 1998; SPARLING et al., 2000; SWARUP et al., 2007). A consequência a longo prazo do seu mau funcionamento pode levar a um acúmulo de elementos tóxicos como os metais pesados (KARADEDE et al., 2004), causando hipertrofia (SPARLING et al., 2000). Por exemplo, a hipertrofia dos fígados em resposta ao chumbo é conhecida para anfíbios (SPARLING et al., 2000), e sapos mais próximos de fontes de poluição podem apresentar aumento deste órgão (SANTANA et al., 2021). Assim, o fígado pode ser um bom modelo para se avaliar a resposta à maioria dos poluentes ambientais, incluindo os metais pesados (SPARLING et al., 2000; LOPEZ-ALONSO et al., 2006; SINGH et al., 2016).

Considerando a necessidade de mitigação dos prejuízos à biodiversidade devido ao maior desastre ambiental do Brasil, a escassez de estudos quanto às consequências deste desastre sobre anfíbios, e o pouco conhecimento sobre os prejuízos da mineração sobre esses animais no mundo, analisamos indivíduos de *Boana albopunctata* (Anura: Hylidae) coletados antes e depois do acidente em uma zona rural de Barra Longa (MG). O local foi afetado pela lama e, conforme laudo em 2015 (Anexo A), apresentou níveis altíssimos de ferro e manganês, além de altos níveis de pH no solo e de difícil correção. A espécie *Boana albopunctata* apresenta um tamanho corpóreo médio de 5 cm e é comum, abundante, e amplamente distribuída na América do Sul, tendo hábito generalista, uma fase larval aquática e uma fase adulta terrestre/semiterrestre (UETANABARO et al., 2008). Assim, a espécie torna-se um bom organismo modelo, testando-se a hipótese de que a contaminação por rejeitos de minério altera

os níveis de assimetria flutuante e a massa do fígado. Neste caso, esperamos observar um aumento dos níveis de assimetria flutuante nos traços mensurados e uma hipertrofia do fígado em indivíduos coletados após o acidente, quando comparados a indivíduos coletados antes do acidente. Discutimos os possíveis mecanismos associados aos padrões encontrados, de forma a contribuir não apenas para os anfíbios, mas outros organismos afetados por este e outros acidentes similares.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é utilizar a espécie *Boana albopunctata* como bioindicadora para comparar a assimetria flutuante e o tamanho dos fígados antes e após o acidente da barragem de Fundão (MG), procurando associar tais parâmetros com os efeitos negativos do mesmo para a fauna.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar medidas morfométricas bilaterais nos espécimes para verificar a assimetria flutuante dos indivíduos antes e após o desastre;
- Realizar a pesagem dos fígados para verificar se haverá o aumento da massa deste órgão (hipertrofia) após o desastre, provavelmente por exposição às substâncias tóxicas derivadas dos rejeitos de minério.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DE DADOS

Os indivíduos foram coletados um ano antes do desastre (2014; N = 32 indivíduos), três anos após o desastre (2018; N = 32) e sete anos após o desastre (2022; N= 18). As coletas ocorreram em uma mesma localidade, em uma fazenda afetada pela lama, no município de Ponte Nova, Minas Gerais, Brasil, em brejos dentro de um raio de aproximadamente 1 km das coordenadas GPS 20.27863°S, 42.95354°O (datum WGS84) (Figura 1). Os espécimes de 2014 e 2018 já estavam presentes na CAUFJF antes do início do trabalho, enquanto os indivíduos do ano de 2022 foram coletados especificamente para este trabalho, eutanasiados e processados de acordo com Heyer et al. (1994), e depositados na referida coleção. A coleta foi realizada entre os dias 11 e 14 de abril de 2022, utilizando os métodos de busca ativa e busca em sítio reprodutivo. A coleta e eutanásia dos indivíduos foi autorizada pelo ICMBio (SISBIO licença # 69659) e pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Juiz de Fora (protocolo CEUA # 18/2021). Todos os espécimes de *Boana albopunctata* analisados estão depositados na Coleção de Anfíbios da UFJF (CAUFJF), município de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil (Apêndice A).

3.2 AVALIAÇÃO DA ASSIMETRIA FLUTUANTE

Para análise da assimetria flutuante, mensuramos um total de 12 variáveis bilaterais nos espécimes. Para estruturas de maior tamanho, utilizamos um paquímetro digital (precisão = 0,01 mm) para realizar medidas morfométricas conforme a padronização para anfíbios anuros revisada por Watters et al. (2016). Tendo em vista a variação mínima que existe entre medidas bilaterais de anuros, para obter uma maior confiabilidade nas medidas morfométricas, realizamos um treinamento prévio com o paquímetro. No teste, 15 espécimes de *Boana albopunctata* foram selecionados aleatoriamente, e cada traço foi medido três vezes. Aplicamos um coeficiente de variação para estas três medidas (média/desvio padrão, expresso em porcentagem). As medidas em que o coeficiente de variação médio entre os 15 indivíduos foi menor que 5% foram, então, incluídas nas análises subsequentes. Assim, os oito traços selecionados para medidas com paquímetro foram: comprimento do antebraço, comprimento da palma da mão, comprimento do 3º dedo, comprimento da coxa, comprimento da tíbia, comprimento do tarso, comprimento da planta do pé e comprimento do 4º artelho.

As estruturas de menor tamanho (quatro, no total) foram mensuradas por meio de fotografias, sendo também baseadas em Watters et al. (2016): área do tímpano, diâmetro do

disco adesivo do 3º dedo (medindo sempre do lado esquerdo ao direito, perpendicular ao dedo), diâmetro do olho (medindo sempre da extremidade esquerda para a direita), e a distância do olho até a narina. As fotografias foram tiradas com celular Samsung Galaxy A12, com resolução de 48 megapixels, em estações fixas e padronizadas, de forma a realizar fotos totalmente perpendiculares à lateral da cabeça, e, no caso do diâmetro do disco adesivo, perpendiculares à face dorsal da mão. Todas as fotos foram realizadas utilizando sempre o paquímetro como escala ao lado, possibilitando as medições no software ImageJ versão 1.53t (COSTA & NOMORA, 2016), com zoom padronizado em 50%. Para avaliar o tamanho do erro de medição, todas as estruturas (mensuradas com paquímetro ou por meio de fotografias) foram mensuradas três vezes. No total, medimos 82 indivíduos, sendo 32 do ano de 2014, 32 do ano de 2018 e 18 do ano de 2022. Todos foram medidos de forma aleatória, ou seja, sem separá-los por ano, a fim de evitar vieses de medição.

Após realizar todas as medições, uma série de passos foi seguida para podermos testar a hipótese de diferenças na assimetria flutuante. O primeiro passo trata da remoção de *outliers*, para a detecção dos erros de medição, como sugerido por Palmer & Strobeck (2003). Primeiro, foram removidos os *outliers* nas medidas originais do lado direito e esquerdo (em todas as três repetições), com base nos valores críticos sugeridos por Grubbs (1969) – teste de Grubbs. Começamos a análise com uma amostra de $N=82$ indivíduos; após a primeira remoção de *outliers*, duas amostras por traço foram excluídas, então seguimos com a análise subsequente com $N=80$ indivíduos. Em seguida, foi calculado, para cada uma das repetições, um índice de assimetria flutuante (AF) através da fórmula $AF = D - E$, em que D é a medida do lado direito, e E é a medida do lado esquerdo, para cada indivíduo. Depois foi feita a média entre os índices das três repetições. Novamente aplicamos o teste de Grubbs, para conferir a possibilidade de novos *outliers* nas amostras, neste caso relativo aos índices de assimetria flutuante, conforme recomendam Palmer & Strobeck (1986). Consequentemente tivemos pequenas reduções do número amostral, em que a quantidade de amostras removidas para cada traço oscilou entre duas e cinco, resultando em 78 a 76 amostras para os testes finais, dependendo do traço.

O segundo passo foi estabelecer o tipo de assimetria das variáveis e amostras remanescentes. Aplicamos o teste de modelos lineares generalizados (GLM) para cada variável morfológica, em que os lados direito e esquerdo foram colocados como um fator fixo e o indivíduo, como fator aleatório. Com a aplicação do GLM, foi possível observar qual tipo de assimetria em cada traço (i.e. assimetria flutuante, antissimetria ou assimetria direcional; PALMER & STROBECK, 1986, SANSEVERINO & NESSIMIAN, 2008). Para reforçar o grau de confiabilidade do tipo de assimetria para as variáveis, aplicamos, em seguida, o teste T

para uma amostra única, para comparar se os índices de assimetria obtidos diferem de zero e para descartar, assim, assimetria direcional.

O terceiro passo foi descartar o efeito do tamanho corpóreo de cada indivíduo sobre o índice de assimetria flutuante, ou seja, investigar se haveria correlações significativas entre AF de cada traço e o CRC (comprimento rostro-cloacal) de cada indivíduo, o que enviesaria o teste de hipóteses. Para avaliar a normalidade, foi aplicado o teste K-S (Kolmogorov-Smirnov) em cada variável; no caso de distribuição normal, aplicamos as correlações de Pearson entre AF de cada variável e o CRC, e, caso contrário, usamos a correlação de Spearman.

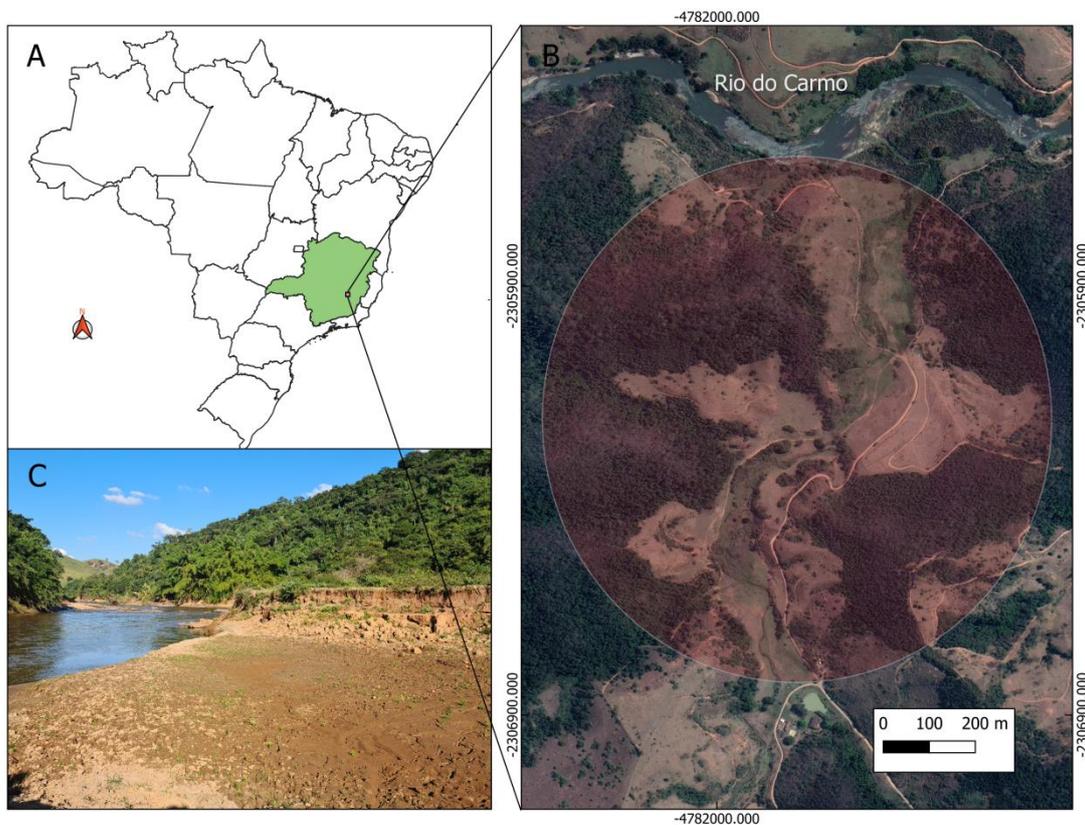
O último passo foi o teste das hipóteses iniciais. Para testar a hipótese de que haveria índices maiores de assimetria flutuante (AF), após o desastre, comparamos os valores de três anos distintos de coleta: 2014, 2018 e 2022. Aplicamos primeiro o teste Levene, para verificar a homocedasticidade das variâncias em cada variável. Em caso de não significância, prosseguimos com o teste ANOVA com testes *post-hoc* de Tukey, e, caso contrário, aplicamos o teste de Kruskal-Wallis com comparações múltiplas *post-hoc*.

3.3 AVALIAÇÃO DA MASSA DOS FÍGADOS

Os fígados foram dissecados com os espécimes em posição anatômica ventral, e, em seguida, pesados individualmente em balança analítica com precisão de 0,0001g (GREGÓRIO, 2015). Devido a uma correlação positiva encontrada entre o CRC e o tamanho do fígado de cada indivíduo, realizamos uma análise de regressão entre CRC vs. massa do fígado, e usamos os resíduos dessa regressão para fazer a comparação entre os três anos. Com isso, retiramos a influência do CRC em relação aos fígados, o que também poderia influenciar nosso teste de hipóteses.

Para testar a hipótese do aumento da massa dos fígados após o desastre, primeiramente realizamos o teste Levene para verificar a homocedasticidade das variâncias. Em seguida, fizemos o teste K-S (Kolmogorov-Smirnov) para avaliar a normalidade. Na comparação do aumento dos fígados em relação aos três anos distintos, como as variâncias foram homocedásticas e houve normalidade, prosseguimos utilizando o teste ANOVA com testes *post-hoc* de Tukey.

FIGURA 1. Local de amostragem de *Boana albopunctata* em Barra Longa, MG, Brasil. (A) Representação do mapa do Brasil, sendo o estado de Minas Gerais colorido em verde, e a região amostrada marcada pelo quadrado vermelho (zona rural de Barra Longa – MG); (B) Imagem de satélite (fonte: Google Earth) do local onde foram realizadas as coletas, sendo o círculo em vermelho a representação da área onde se encontravam os brejos de coleta. Acima é possível observar o Rio do Carmo, por onde passou a lama de rejeitos; (C) A fotografia mostra as camadas de sedimentos que foram formadas pela lama de rejeitos após o rompimento da barragem de Fundão. É possível observar o Rio do Carmo cortando em torno desse local.



Fonte: elaborado por Pedro L. Aguiar (2023).

4 RESULTADOS

4.1 ASSIMETRIA FLUTUANTE

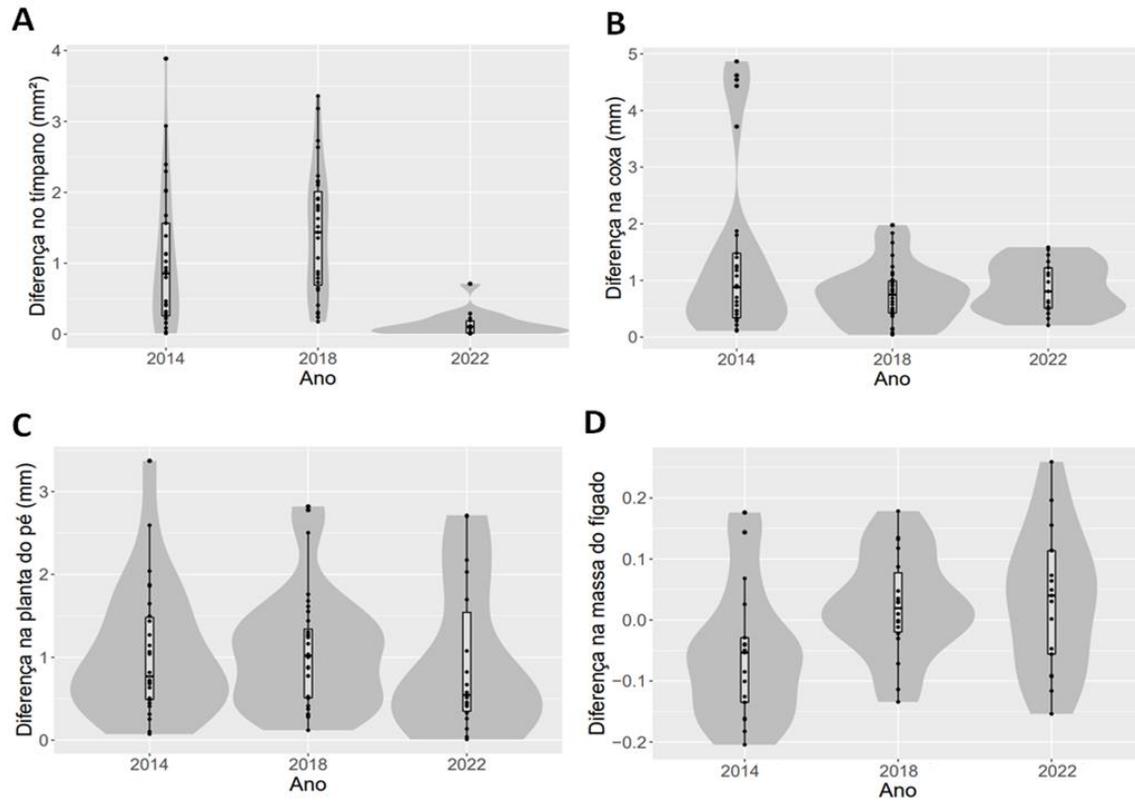
A variável comprimento da tíbia apresentou erro de medição, e foi excluída da análise (Tabela 1). As variáveis comprimento do antebraço, comprimento da planta da mão, comprimento do 3º dedo, comprimento do tarso, comprimento do 4º artelho, e distância olho-narina foram descartadas, por terem apresentado um padrão de simetria do tipo direcional (Tabela 1). As variáveis diâmetro do olho e diâmetro do disco adesivo do 3º dedo foram descartadas por apresentarem um padrão de antissimetria (Tabela 1). As variáveis comprimento do antebraço, comprimento da palma da mão, comprimento da planta do pé, comprimento do 4º artelho, diâmetro do olho e distância olho-narina apresentaram índices de distribuição normal, diferentemente das variáveis área do tímpano, comprimento da coxa e comprimento da tíbia, onde as distribuições não apresentaram normalidade. A AF das variáveis comprimento do 3º dedo, comprimento do tarso e diâmetro do disco adesivo do 3º dedo correlacionaram-se com o CRC dos indivíduos, porém já haviam sido excluídas previamente. Assim, ao final, observamos que as variáveis área do tímpano, comprimento da coxa e comprimento da planta do pé mantiveram o seu grau de confiabilidade para assimetria do tipo flutuante e foram incluídas no teste de hipótese (Tabela 2).

Não houve diferença entre os anos 2014, 2018 e 2022 nos índices de assimetria flutuante observados no comprimento da planta do pé, assim como no comprimento da coxa (Tabela 3; Figura 1B, C). Houve diferença na AF da área do tímpano entre os anos (Tabela 3; Figura 1A). Nas comparações *post-hoc*, observamos que a AF da área do tímpano em 2022 foi menor do que em 2014 ($p < 0,0001$) e menor do que em 2018 ($p < 0,001$). Apesar de uma tendência gráfica de aumento (Figura 1A), não houve diferença significativa entre os anos 2014 e 2018 ($p = 0,26$).

4.2 MASSA DOS FÍGADOS

Houve diferença na massa dos fígados entre os anos analisados (Tabela 3; figura 1D). Especificamente, observamos uma tendência de aumento de 2014 para 2018, um resultado marginalmente não-significativo ($p = 0,07$), e um aumento significativo de 2014 para 2022 ($p = 0,04$). Não houve diferença entre os anos de 2018 e 2022 ($p = 0,96$).

FIGURA 2. Representação gráfica dos índices de assimetria flutuante de três variáveis morfológicas (A-C) e da massa dos fígados, representada pelos resíduos da regressão entre a massa real do órgão e o tamanho corpóreo (D) entre os anos de coleta 2014, 2018 e 2022. O rompimento da barragem de Fundão ocorreu em novembro de 2015. Diferenças estatísticas são apresentadas no texto.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Tabela 1: Resultado dos modelos lineares generalizados (GLM), para todas as variáveis morfológicas medidas em *Boana albopunctata*, Minas Gerais, Brasil. M.S. = quadrado médio, F = estatística F, g.l. = graus de liberdade.

(*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,001$

Variáveis	Lado			Indivíduo			Lado × indivíduo			Erro	
	M.S.	F	g.l.	M.S.	F	g.l.	M.S.	F	g.l.	M.S.	g.l.
Comprimento antebraço	7,95**	16,92	1	2,42**	4,92	74	0,49**	35,38	74	0,01	306
Comprimento palma da mão	15,07**	47,865	1	1,62**	5,110	73	0,32**	35,181	73	0,01	302
Comprimento 3° dedo	5,96**	7,05	1	1,94**	2,28	73	0,85**	31,59	73	0,03	302
Comprimento coxa	0,1	0,02	1	24,13**	53,87	75	3,2**	26,08	75	0,1	310
Comprimento tibia	0,2	2,91	1	18,8	231,62	74	0,1	0,28	74	0,3	306
Comprimento tarso	20,06	46,36	1	6,6*	14,68	75	0,4	19,68	75	0,0	310
Comprimento planta do pé	6,9	2,84	1	8,2**	3,37	74	2,4	66,45**	74	0,0	306
Comprimento 4° artelho	4,4 **	5,391	1	4,39 **	5,302	75	0,83**	40,072	75	0,02	310
Área do tímpano	0,03	0,010	1	6,12**	2,203	75	2,78**	64,057	75	0,04	310
Diâmetro olho	43713,23	0,9687	1	45214,69	1,001	74	45132,39	1,0205	74	44224,84	306
Distância olho-narina	12,050**	53,93	1	0,440**	1,96	74	0,225**	77,77	74	0,003	306
Diâmetro disco adesivo	17460,10	2,033	1	8589,09	0,999	73	8590,48	1,006	73	8537,08	302

Tabela 2: Resultados dos testes de assimetria direcional, normalidade e correlações entre o índice de assimetria e o comprimento rostro-cloacal (CRC) em *Boana albopunctata*, Minas Gerais, Brasil. K-S= teste Kolmogorov-Smirnov, g.l. = graus de liberdade.

Variáveis	N	Teste T (amostra única)			K-S		Pearson – CRC		Spearman - CRC	
		T	g.l	p	D	p	R	p	R	p
Comprimento antebraço	76	4,12	75	<0,0001	0,876	>0,20	0,05	0,672	-	-
Comprimento palma da mão	75	-6,87	74	<0,0001	0,412	>0,20	0,155	0,185	-	-
Comprimento 3º dedo	75	2,70	74	0,00856	0,460	>0,20	0,027	0,021	-	-
Comprimento coxa	77	-1,43	76	0,15640	0,101	>0,20	0,140	0,22	-	-
Comprimento tíbia	76	-1,06	75	0,2907	0,086	>0,20	-	-	-0,132	0,25
Comprimento tarso	77	-7,01	76	<0,0001	0,060	>0,20	0,254	0,026	-	-
Comprimento planta do pé	76	1,72	75	0,0881	0,049	>0,20	0,07	0,568	-	-
Comprimento 4º artelho	78	2,33	77	0,0226	0,042	>0,20	0,03	0,790	-	-
Área do tímpano	77	0,10	76	0,9203	0,163	<0,05	-	-	0,10	0,35
Diâmetro olho	76	-7,42	75	<0,0001	0,124	<0,20	0,12	0,300	-	-
Distância olho-narina	76	-7,33	75	<0,0001	0,096	>0,20	0,08	0,489	-	-
Diâmetro disco adesivo	73	0,12	73	0,9082	0,146	<0,10	0,03	0,78	-	-

Tabela 3: Comparações estatísticas do índice de assimetria flutuante e da massa do fígado (resíduos com relação ao tamanho corpóreo; ver texto principal) da espécie *Boana albopunctata*, entre os anos de coleta 2014, 2018 e 2022, no mesmo local (fazenda Apaga Fogo), município de Barra Longa – MG. M.S. = quadrado médio; g.l. = graus de liberdade; F = estatística-F.

ANOVA				
Variáveis	g.l.	M.S.	F	p
Assimetria no comprimento da planta do pé	2	0,10757	0,1733	0,8412
Massa do fígado	2	0,04030	3,7465	<0,05

KRUSKAL-WALLIS			
Variáveis	g.l.	H	p
Assimetria na área do tímpano	2	30,36	<0,0001
Assimetria no comprimento da coxa	2	1,390	0,4990

5 DISCUSSÃO

Nosso estudo é o primeiro a analisar a assimetria flutuante e a massa dos fígados em organismos como resposta à contaminação por metais decorrente do rompimento da barragem de Fundão (Mariana, MG), ocorrido em novembro de 2015. Os prejuízos do acidente incluem a destruição de áreas de preservação de mata atlântica e perda de matas ciliares (IBAMA, 2015), contaminação por metais pesados em níveis acima do permitido nos corpos d'água em rios, lagos até chegar no Atlântico (BRASIL, 2015), assoreamento de corpos d'água, causando altos níveis de turbidez, mudanças do pH e capacidade reduzida de O₂, contaminação dos solos pelos mesmos componentes, causando erosões e alterações de nutrientes e componentes químicos. Além disso, o acúmulo da lama levou à formação de camadas espessas de sedimentos (FIGURA 1), alterando os relevos (IBAMA, 2015; SEGURA et al., 2016). Consequentemente, observou-se uma perda drástica da biodiversidade, principalmente a aquática (IBAMA, 2015; BRASIL, 2015; SEGURA et al., 2016; HATJE et al., 2017). Exemplos de alterações incluem danos no trato digestório de larvas de peixes após a exposição aos rejeitos (BONECKER et al., 2019), redução na taxa de crescimento e aumento da letalidade em algas (COSTA et al., 2019), desequilíbrios nas comunidades zooplancônicas, em que a susceptibilidade a metais pesados favoreceu o aumento de espécies oportunistas (da CONCEIÇÃO et al., 2021; de SOUZA SANTOS et al., 2021), danos oxidativos e estresse biológico em comunidades de plânctons por bioacumulação (MARQUES et al., 2022), aumento de parasitoses, lesões oculares e tumores em tartarugas-cabeçudas com nidificação em áreas afetadas (MIGUEL et al., 2022), e bioacumulação de metais no músculo e no fígado de toninhas, causando mudanças nas suas associações a padrões biológicos (MANHÃES et al., 2022). Apesar dos crescentes estudos, a dimensão total dos impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão ainda é difícil de ser mensurada. Nossos resultados demonstram, pela primeira vez, que o maior desastre ambiental do Brasil causou respostas diferenciadas em uma população de anfíbios anuros. Enquanto a assimetria de algumas variáveis morfométricas não diferiram em momentos anteriores e posteriores ao acidente, encontramos uma diminuição da assimetria do tímpano após sete anos do desastre. Por outro lado, houve uma tendência de hipertrofia do fígado três anos após o acidente, e que permanece até os dias de hoje.

A degradação de alguns elementos químicos, como os metais pesados, que também podem ser oriundos da extração de minérios no ambiente, é praticamente impossível; assim, é necessário utilizar-se de ferramentas tecnológicas como a nanotecnologia para auxiliar na sua remoção dos ambientes poluídos (MITRA et al., 2022). Isso faz com que eles se acumulem ao

longo do tempo, e sejam absorvidos pelos corpos d'água, pelas camadas de sedimentos e pelos organismos que dependem desses ambientes, principalmente os aquáticos (MALICK et al., 2010). Alguns fatores como o pH, alcalinidade, dureza e temperatura da água podem influenciar na forma como esses metais pesados e a toxicidade dos mesmos são absorvidos pelos organismos de vida aquática (OSMAN & KLOAS, 2010). Estudos mostraram que os metais pesados têm a propensão a se acumularem em diversos órgãos dos organismos aquáticos, principalmente nos peixes (KARADEDE et al., 2004; VIEIRA et al., 2022). Entretanto, estudos do tipo com anfíbios, que também utilizam amplamente o ambiente aquático, são escassos.

Os indivíduos de *Boana albopunctata* analisados em 2022 (sete anos após o acidente) apresentaram um aumento da massa do fígado em comparação com os animais de antes do acidente. Houve também uma tendência de aumento já no ano de 2018 em comparação com o ano antes do acidente, o que sugere fortemente a influência dos metais no funcionamento destes animais. Os danos hepáticos relacionados à exposição aos metais pesados são sabidamente irreversíveis em animais aquáticos, como peixes que vivem em áreas contaminadas pela lama da barragem de Fundão (WEBER et al., 2020). Um estudo que investigou os efeitos ecotoxicológicos do desastre de Fundão em peixes mostrou diversas alterações fisiológicas, incluindo danos severos ao fígado de três a cinco anos após o acidente (VIEIRA et al., 2022). No sapo-cururuzinho (*Rhinella ornata*), um estudo no complexo Industrial de Cubatão (SP) mostrou que animais de regiões mais poluídas apresentaram hipertrofia dos fígados (SANTANA et al., 2021). Análises de bioacumulação de metais pesados em girinos mostraram que, em concentrações de chumbo na água além do limite, houve um maior acúmulo de chumbo principalmente no fígado (SINGH et al., 2016). Os animais, principalmente os de vida aquática, quando expostos aos mesmos tipos de elementos químicos oriundos da lama contaminada, podem apresentar uma intoxicação aguda e crônica, causando algum grau de envenenamento e a morte (AHMED et al., 2013; BERVOETS et al., 2013; SAGLAM et al., 2014; ANVARIFAR et al., 2018; COPPO et al., 2018; CORDEIRO et al., 2019; VIEIRA et al., 2022). Outros estudos mostram que o acúmulo no fígado, além de causar hipertrofia (SPARLING et al., 2000), pode desencadear alterações como a limitação da excreção biliar dos metais, necrose dos hepatócitos, fazendo com que os metais sejam eliminados na corrente sanguínea, originando crises hemolíticas (HOFF et al., 1998; LÓPEZ-ALONSO et al., 2005; LÓPEZ-ALONSO et al., 2006). Nossos resultados corroboram que as alterações em ambientes aquáticos relativas à contaminação por minérios reverberam na fisiologia dos anfíbios, necessitando-se estudos fisiológicos mais detalhados.

Os índices de assimetria flutuante de duas variáveis morfológicas analisadas em nosso estudo não apresentaram qualquer alteração relativa ao acidente, já que foram similares entre os três anos de amostragem. A assimetria flutuante é considerada uma ferramenta eficaz para medir efeitos do estresse ambiental sobre organismos (BEASLEY et al., 2013), mas diversos organismos têm mostrado respostas diferentes frente a impactos ambientais. Por exemplo, indivíduos de *Boana albopunctata* oriundos de uma área de intensa atividade agrícola, quando comparados com indivíduos de uma área não impactada, não apresentaram assimetria do tipo flutuante para algumas variáveis (SATURNINO, 2017). Por outro lado, alguns estudos com anfíbios em comparações semelhantes encontraram diferenças na assimetria do tipo flutuante (DELGADO-ACEVEDO & RASTEPO, 2008; COSTA & NOMURA, 2015; 2017). Experimentos com sapos demonstraram grande tolerância à exposição ao chumbo (ARRIETA et al., 2000), enquanto girinos de *Dryophytes cinereus* expostos ao alumínio tiveram alteração no tamanho corpóreo e diminuição da sua capacidade de natação (JUNG & JAGOE, 1995). Assim, os indivíduos podem sobreviver, adaptar-se e prosperar em ambientes modificados. Essa adaptação pode ser um exemplo de como ocorre a evolução das funções fisiológicas, resultando em alterações genéticas que contribuem para a conservação de populações em ambientes poluídos (Heldmaier & Werner, 2002). Mesmo em casos em que a capacidade de resistência dos descendentes não tenha base genética, já foi demonstrado que a tolerância pode ser adquirida pela prole, devido à passagem dos contaminantes da mãe (KLERKS et al., 2011; WENG & WANG, 2013).

Encontramos que a assimetria flutuante da área do tímpano foi significativamente menor em 2022 se comparado ao ano de 2014, onde o ambiente ainda não tinha sofrido impactos decorrentes dos rejeitos de minério. Um fator que pode ocorrer é a "tolerância comunitária", em que os indivíduos de uma comunidade que apresentam sensibilidade a um elemento tóxico podem ser substituídos por indivíduos mais tolerantes após um impacto (AMIARD-TRIQUET et al., 2011; TLILIE et al., 2016). Esta tolerância acontece dependendo do tempo de geração e a exposição prolongada a elementos tóxicos, como os metais pesados e pesticidas (VEDAMANIKAN, 2008; 2009). Avaliando nove gerações de duas espécies de larvas aquáticas (Diptera) expostas a metais pesados, incluindo os presentes na lama contaminada como o manganês (Anexo A), Vedamanikam (2008) mostrou, no geral, que a tolerância aos metais pesados aumentava de acordo com a exposição prolongada. Para o gênero *Boana*, alguns estudos indicam que a maturidade sexual ocorre de dois a três anos (BARAQUET et al., 2018; BARAQUET et al., 2021). Isso sugere aproximadamente duas a três gerações de novos indivíduos da espécie da data do acidente até nossa última coleta, ainda que os indivíduos

possam se reproduzir mais de uma vez por estação. A seleção de indivíduos de *Boana albopunctata* com tímpanos mais simétricos pode, então, estar associada à exposição prolongada desses animais aos metais pesados oriundos da lama de rejeitos. Isso indica uma grande importância do tímpano para a manutenção das populações da espécie.

Em anfíbios anuros, a vocalização é imprescindível para que as fêmeas consigam reconhecer os machos da mesma espécie para o acasalamento, e para que os machos se comuniquem entre si para defesa territorial e/ou demais interações agonísticas (TOLEDO et al., 2015). Embora a espécie *Boana albopunctata* utilize também a comunicação visual (TOLEDO et al., 2007), as sinalizações visuais intercalam-se com as vocalizações (de LOURENÇO et al., 2020), as quais, por sua vez, são recebidas externamente pelo tímpano. Malformações em tímpanos de anuros podem causar uma redução da acuidade auditiva (COBO-CUAN et al., 2020). Nosso resultado é especialmente importante, pois já foi comprovado que fêmeas de anuros com maior assimetria no tímpano tiveram dificuldade de localizar fontes sonoras com cantos dos machos de sua espécie, o que pode prejudicar seu sucesso de acasalamento (BOSCH & MARQUEZ, 2000). Assim, a seleção de indivíduos com menor assimetria do tímpano após o acidente seria esperada.

Espécies generalistas, como *B. albopunctata*, podem apresentar uma maior resistência e resiliência frente aos diferentes tipos de estresse ambiental (SATURNINO, 2017), mantendo populações em ambientes com condições adversas (este estudo). No entanto, alterações subletais em atributos morfológicos, fisiológicos e/ou comportamentais podem permanecer, afetando a performance individual e, conseqüentemente, o *fitness* da espécie (GIROTTI et al., 2020). Neste sentido, o acúmulo de metais pesados, por exemplo, parece ser mais drástico em comparação a outros estresses ambientais (OLSGARD et al., 1993; PEDLER, 2010; BOSCHEN et al., 2013; GOLLNER et al., 2017; RASKOVIC et al., 2018; da CONCEIÇÃO et al., 2021; VIEIRA et al., 2022). Apesar de uma melhora da assimetria do tímpano em *Boana albopunctata*, o que pode trazer benefícios ao sistema de reconhecimento específico, também encontramos uma tendência de prejuízo ao fígado com o passar dos anos, representado por sua hipertrofia. Nossos resultados evidenciam a necessidade de se mensurar até que ponto alterações orgânicas podem permitir que eventos reprodutivos e, conseqüentemente, manutenção da população, continuem. Além disso, em nível de comunidade, algumas espécies podem ser mais resistentes e prosperarem (e.g. ARRIETA et al., 2000; ARRIETA et al., 2004), enquanto outras mais sensíveis podem diminuir (JUNG & JAGOE, 1995), podendo gerar um desequilíbrio ecológico. Sugerimos uma investigação mais aprofundada, como estudos histopatológicos em diversos grupos animais, contribuindo, assim, na compreensão da

magnitude do desastre para os ambientes aquáticos e a fauna presente (e.g., Vieira et al. 2022). Organismos bioindicadores, como os anfíbios, podem figurar como modelos na compreensão deste cenário pós-impacto, fomentando estratégias de mitigação e a punição dos responsáveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo é o primeiro a investigar a assimetria flutuante e o aumento da massa dos fígados em uma população de anfíbios afetada pelo maior desastre ambiental do Brasil, o rompimento da barragem de Fundão.

Nosso estudo sugere que os impactos provenientes da Barragem de Fundão podem causar respostas diferentes nos animais. Os indivíduos analisados tiveram tímpanos mais simétricos sete anos após o acidente; em contrapartida, houve uma hipertrofia dos fígados, mostrando que há uma tendência de piora fisiológica a longo prazo deste órgão biotransformador.

A exposição prolongada aos metais pesados pode representar uma seleção de indivíduos mais simétricos do tímpano. Podemos inferir que se trata de uma tolerância comunitária, com substituição de indivíduos mais simétricos, pois já foi demonstrado que a simetria dos tímpanos representa um maior sucesso de localização de fontes emissoras de cantos de machos por fêmeas em anuros, possivelmente aumentando o sucesso de acasalamento.

A hipertrofia dos fígados sete anos após o acidente sugere uma sobrecarga nas funções fisiológicas associadas à contaminação por metais pesados. Entretanto, observa-se que estes animais continuam se reproduzindo e parecem prosperar. Sendo assim, nosso estudo pode fomentar análises mais aprofundadas, como, por exemplo, investigações histopatológicas e de bioacumulação em animais afetados por acidentes de mineração.

Nosso trabalho se soma a outros esforços que buscam compreender a extensão do desastre da barragem de Fundão sobre a biodiversidade local. Sugerimos que os anfíbios, que possuem uma vida predominantemente bifásica (aquática e terrestre), sejam utilizados como modelos para estudos de impactos de mineração, auxiliando na elaboração de estratégias de mitigação e na punição dos responsáveis.

REFÊRENCIAS

- ADLASSING, W.; SASSMANN, S.; GRAWUNDER, A.; PUSCHENREITER, M.; HORVATH, A. & KOLLER-PEROUTKA. Amphibians in metal-contaminated habitats. **Salamandra**, v. 49, p. 149-158, 2013.
- AHMED, M. K.; HABIBULLAH-AL-MAMUM, M.; PARVIN, E.; AKTER, M. S. & KHAN, M. S. Arsenic induced toxicity and histopathological changes in gill and liver tissue of freshwater fish, tilapia (*Oreochromis mossambicus*). **Experimental and Toxicologic Pathology**, v. 65, p. 903-909, 2013.
- ALTIG, R.; WHILES, M. R. & Taylor, C. L. What do tadpoles really eat? Assessing the trophic status of an understudied and imperiled group of consumers in freshwater habitats. **Freshwater biology**, v. 52, p. 386-395, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01694.x>
- ALMEIDA, P.; JESUS, H., PEREIRA, P.; VIEIRA, C.; BIANCHINI, A., MARTINS, C. & SANTOS, H. F. The microbial profile of rivers and lagoons three years after the impact of the world's largest mining disaster (Fundão dam, Brazil), 216, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114710>
- ALLMELING, C. & RIEDLING, M. Dicamptodon tenebrosus–Haltung und Balz des Pazifischen Riesenquerzahnmolches. **Axolotl “(Ambystoma mexicanum) Haltungsbedingungen, Aufzucht sowie haltungsbedingte Erkrankungen**, p. 27.
- AMIARD-TRIQUET, C. Pollution tolerance in aquatic animals: From fundamental biological mechanisms to ecological consequences. **In Ecotoxicology**, p. 33-91, 2019.
- ANDRADES, R. et al. Early evidences of niche shifts in estuarine fishes following one of the world’s largest mining dam disasters. **Marine Pollution Bulletin** v. 154, p.1–5. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111073>
- ANDRADES, R. et al. Effects of seasonal contaminant remobilization on the community trophic dynamics in a Brazilian tropical estuary. **Science of the Total Environment**, v. 801, p. 149670, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149670>
- ANVARIFAR, H. et al. Environmental pollution and toxic substances: cellular apoptosis as a key parameter in a sensible model like fish. **Aquat. Toxicol**, v. 204, p. 144–159, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.09.010>
- ARRIETA, M.A.; PERÍ, S. I.; APARTIN, C.; ROSENBERG C. E.; FINK N. E. & SALIBIÁN A. Blood lead concentration and -aminolevulinic acid dehydratase activity in

- adult *Bufo arenarum*. **Arch Physiol Biochem**, v. 108, p. 275–280, 2000.
<https://doi.org/10.1076/1381345520000710831ZFT275>
- ARRIETA, M. A.; BRUZZONE, L.; APARTIN, C.; ROSENBERG, C. E.; FINK, N. E. & SALIBIAN, A. Biosensors of inorganic lead exposure and effect in an adult amphibian. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v.46, p. 224-230, 2004.
<https://doi.org/10.1007/s00244-003-2221-8>
- BARAQUET, M.; OTERO, M. A.; VALLETI, J. A.; GRENAT, P. R. & MARTINO, A. L. Age, body size, and growth of *Boana cordobae* (Anura: Hylidae). **Biologia Tropical**, v.66, 2018. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32365>
- BARAQUET, M.; POLLO, F. E.; OTERO, M. A.; GRENANT, P. R.; SALAS, N. E. & MARTINO, A. L. Body size, age and growth in males' populations of *Boana pulchella* (Anura, Hylidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.
<https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200991>
- BEASLEY, D. A. E.; A. BONISOLI-ALQUATI & MOUSSEAU, T.A. The use of fluctuating asymmetry as a measure of environmentally induced developmental instability: a meta-analysis. **Ecological Indicators**, v. 30, p. 218–226, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.024>
- BERVOETS, L.; KNAPEN, D.; De JONGE, M., VAN CAMPENHOUT, K. & BLUST, R. Differential hepatic metal and metallothionein levels in three feral fish species along a metal pollution gradient. **PLoS One**, v. 8, 60805, 2013.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060805>
- BONECKER, A.C.T.; CASTRO, M.S.d.; COSTA, P.G.; BIANCHINI, A.; BONECKER, S.L.C. Larval fish assemblages of the coastal area affected by the tailings of the collapsed dam in south east Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 32, 100848, 2019.
- BONECKER, A. C. T.; MENEZES, B. S.; JUNIOR, C. D.; da SILVA, C. A.; ANCONA, C. M.; de OLIVEIRA DIAS, C. & BONECKER, S. L. C. An integrated study of the plankton community after four years of Fundão dam disaster. **Science of The Total Environment**, v. 806, 150613, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150613>
- BOSCHEN, R. E.; ROWDEN, A. A.; Clark, M. R. & Gardner, J. P. Mining of deep-sea seafloor massive sulfides: a review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. **Ocean & coastal management**, v. 84, p. 54-67, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.005>
- BURBILASA, L. & GAVRILA, L. Amphibians as model organisms for study environmental genotoxicity. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 9, p. 1-15, 2011.

- BRASIL. Agência Nacional de Águas, Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – SPR, Brasília. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce. **Rompimento da Barragem em Mariana/MG**, p. 40-50, 2015. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>. Acessado em: 30 abr. 2021.
- COBO-CUAN, A.; TOLEDO, L. F. & NARINS, P. M. Call production and auditory sensitivity are uncompromised by nontympanic malformations in Cururu Toads. **Herpetologica**, v. 76, p. 278-284, 2020. <https://doi.org/10.1655/Herpetologica-D-19-00069.1>
- COPPO, G. C.; Passos, L. S.; LOPES, T. O. M.; PEREIRA, T. M.; MERÇON, J.; CABRAL, D. S. & CHIPARI-GOMES, A. Genotoxic, biochemical and bioconcentration effects of manganese on *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Ecotoxicology**, v. 27, p. 1150-1160, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1970-0>
- CORDEIRO, M.C. et al. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. **Science Total Environ.** V. 654, p. 1209–1217. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.112>
- CORREIA, L. O.; SIQUEIRA JUNIOR, S.; CARNEIRO, P. L. & Bezerra, M. A. Evaluation of the use of *Leptodactylus ocellatus* (Anura: Leptodactylidae) frog tissues as bioindicator of metal contamination in Contas River, Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 1549-1561, 2014. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130357>
- COSTA, R. N.; SOLÉ, M. & NOMURA, F. Agropastoral activities increase fluctuating asymmetry in tadpoles of two neotropical anuran species. **Austral Ecology**, v. 42, p. 801–809, 2017. <https://doi.org/10.1111/aec.12502>
- COSTA, R. N. & NOMURA, F. Measuring the impacts of Roundup Original® on fluctuating asymmetry and mortality in a Neotropical tadpole. **Hydrobiologia**, v.765, p. 85-96, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2404-0>
- COSTA, G.B.; RAMLOV, F.; de RAMOS, B.; KOERICH, G.; GOUVEA, L.; COSTA, P.G.; BIANCHINI, A.; MARASCHIN, M.; HORTA, P.A. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, P. 36486–36498, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06691-w>
- da CONCEIÇÃO, L. R.; DEMONER, L. E.; PEREIRA, J. B.; PERASSOLI, F.; GHISOLFI, R. D.; BASTOS, A. C. & Fernandes, L. F. Copepod community structure after a mining

- dam disaster in the Southwestern Atlantic Ocean. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 254, p.107325, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107325>
- de LOURENÇO, A. R.; HADDAD, C. F. & de SÁ, F. P. Multimodal signaling in *Boana albopunctata* (Anura: Hylidae): reading visual and acoustic cues. Phyllomedusa: **Journal of Herpetology**, v.19, p. 201-216, 2020. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v19i2p201-216>
- de SOUZA POHREN, R.; da COSTA, T. C. & Vargas, V. M. F. Investigation of sensitivity of the *Allium cepa* test as an alert system to evaluate the genotoxic potential of soil contaminated by heavy metals. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 224, p. 1-10, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1460-1>
- ERANEN, J. K.; NILSEN, J.; ZVEREV, V. E. & KOZLOV, M. V. Mountain birch under multiple stressors—heavy metal-resistant populations co-resistant to biotic stress but maladapted to abiotic stress. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 22, p. 840-851, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2009.01684.x>
- GARCIA, L. C.; RIVEIRO, D. B.; ROQUE, F. O.; OCHOA-QUINTEIRO, J. M. & LAURENCE, W. F. Brazil's worst mining disaster: Corporations must be compelled to pay the actual environmental costs. **Ecological Applications**, v. 27, p. 5-9, 2017. <https://doi.org/10.1002/eap.1461>
- de SOUZA SANTOS, G.; SILVA, E. E. C.; BALMANT, F. M.; GOMES, P. C. S. & ESKNAZI-SANTANA, E. M. Impacts of exposure to mine tailings on zooplankton hatching from a resting egg bank. **Aquatic Ecology**, v. 55, p. 545-557, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10452-021-09844-7>
- FENOGLIO, C.; BONCOPAGNI, E.; FASOLA, M.; GANDINI, C.; COMIZZOLI, S.; MILANESI, G.; BARNI, S. Effects of environmental pollution on the liver. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, p. 259–268, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.006>
- LÓPEZ-ALONSO, M.; PRIETO, F.; MIRANDA, M.; CASTILHO, C.; HERNANDEZ, J. R.; BENEDITO, J. L. The role of metallothionein and zinc in hepatic copper accumulation in cattle. **The Veterinary Journal**, v.169, p. 262-267, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.01.019>
- LÓPEZ-ALONSO, M.; CRESPO, A.; MIRANDA, M.; CASTILHO, C.; HERNANDEZ, J.; BENEDITO, J. L. Assessment of some blood parameters as potential markers of hepatic copper accumulation in cattle. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v.18, p. 71-75, 2006. <https://doi.org/10.1177/104063870601800109>

- GIROTTI, L.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; GEBARA, R. C. & Freitas, J. S. Acute and Chronic Effects on Tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) Exposed to Mining Tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 231, p. 325, 2020.
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-04691-y>
- GODET, F.; BABUT, M.; BURNEL, D.; VEBER, A. M. & Vasseur, P. The genotoxicity of iron and chromium in electroplating effluents. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, v. 370, p. 19–28, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0165-1218\(96\)90123-8](https://doi.org/10.1016/S0165-1218(96)90123-8)
- GOLLNER, S.; KAISER, S.; MENZEL, L.; JONES, D. O. B.; BROWN, A.; MESTRE, N. C.; MARTINEZ ARBIZU, P. Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. **Marine Environmental Research**, v. 129, p. 76–101, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.04.010>
- GOVERNO DE MINAS GERAIS. Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG. **Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, Minas Gerais**, p. 287, 2016.
- GREGÓRIO, L. Efeitos da Flutamida nos órgãos reprodutivos e fígado de machos. *Rhinella schneideri* (Anura: Bufonidae). Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. São José Do Rio Preto, 2015.
- HADDAD, C. F. B. Uma análise da lista brasileira de anfíbios ameaçados de extinção. **In Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas, Brasília, 2002.
- HADDAD, C. F. B. Guia dos anfíbios da Mata Atlântica – diversidade e biologia. São Paulo. **Anolis Books**, 2013.
- HALL, R. J. & MULHERN B. M. Are anuran amphibians heavy metal accumulators? **Vertebrate Ecology and Systematics: A Tribute to Henry S. Fitch**. Museum of Natural History, University of Kansas. 123–133, 1984.
- HALLIDAY, T. Do Frogs Make Good Canaries? **Biologist** (London), v. 47, p.143-146, 2000.
- HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; de REZENDE, C. E.; SCHETTINI, C. A. F.; de SOUZA, G. C.; MARIN, D. C. & HACKSPACHE, P. C. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, v.7, p. 1-13, 2017.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>
- HAYES, T. B.; CASE, P.; CHUI, S.; CHUNG, D.; HAEFFELE, C.; HASTON, K.; LEE, M.; MAI, V. P.; MARJUOA, Y.; PARKER, J. & TSUI, M. Pesticide mixtures, endocrine

- disruption, and amphibian declines: Are we understanding the impact? **Environmental Health Perspectives**, v. 114, p. 40-50, 2006. <https://doi.org/10.1289/ehp.8051>
- HELDMAIER, G.; WERNER, D. Environmental Signal Processing and Adaptation. **Springer-Verlag**, Berlin, 2002.
- HEYER, W.R.; DONNELLY, M.A.; MCDIARMID, R.W.; HAYEK, L-A.C. Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians. In: Foster MS (ed.). **Biological diversity handbook series**. Washington, Smithsonian Institution Press, 1994.
- HOFFMANN, A. A.; PARSONS, P. A. Evolutionary Genetics and Environmental Stress. **Oxford University Press**, 1991.
- HOFF, B.; BOERMANS, H. J. & BAIRD, J. D. Retrospective study of toxic metal analyses requested at a veterinary diagnostic toxicology laboratory in Ontario (1990-1995). **The Canadian Veterinary Journal**, v.39, p. 39, 1998.
- HOPKINS, W. A.; DURANT, S. E.; STAUB, B. P.; ROWE, C. L. & JACKSON, B. P. Reproduction, Embryonic Development, and Maternal Transfer of Contaminants in the Amphibian *Gastrophryne carolinensis*. **Environmental Health Perspectives**, v.114, p. 661–666, 2005. <https://doi.org/10.1289/ehp.8457>
- IBAMA. Laudo Técnico Preliminar: **Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, 2015**. Novembro de 2015. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf <http://www.ibama.gov.br/publicadas/onda-de-rejeitos-da-samarco-atingiu-665-km-de-rios-e-devastou-1469-hectares-de-terras>. Acessado em: 30 abr. 2021, 2015.
- IVANOV, V. P.; IVANOV, Y. V.; MARCHENCO, S. I. & KUZNETSOV, V. V. Application of fluctuating asymmetry indexes of silver birch leaves for diagnostics of plant communities under technogenic pollution. **Russian journal of plant physiology**, v .62, p. 340-348, 2015. <https://doi.org/10.1134/S1021443715030085>
- JUNG, R. E., & JAGOES, C. H. Effects of low pH and aluminum on body size, swimming performance, and susceptibility to predation of green tree frog (*Hyla cinerea*) tadpoles. **Canadian Journal of Zoology**, v. 73, p. 2171-2183, 1995. <https://doi.org/10.1139/z95-257>
- KARADEDE, H.; OYAMAK, S. A. & UNLU, E. Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. **Environment international**, v. 30, p.183-188, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00169-7)

- KIESECKER, J. M. Synergism between trematode infection and pesticide exposure: a link to amphibian limb deformities in nature? **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, p. 9900-9904, 2002. <https://doi.org/10.1073/pnas.152098899>
- KLERKS, P. L.; XIE, L. & LEVITON, J. S. Quantitative genetics approaches to study evolutionary processes in ecotoxicology; a perspective from research on the evolution of resistance. **Ecotoxicology**, v.20, p.513-523, 2011.
- KOZLOV, M. V.; WILSEY, B. J.; KORICHEVA, J. & HAUKIOJA, E. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact. **Journal of Applied Ecology**, p. 1489-1495, 1996. <https://doi.org/10.2307/2404787>
- MALIK, N.; BISWAS, A. K.; QURESHI, T. A.; BORANA, K. & VIRHA, R. Bioaccumulation of heavy metals in fish tissues of a freshwater lake of Bhopal. **Environmental monitoring and assessment**, v. 160, p. 267-276, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0693-8>
- MANHÃES, B. M. R.; VANNUCI-SILVA, M.; BRIÃO, J. A.; GUARI, E. B.; BOTTA, S. COLOSIO, A. C. & LAILSON-BRITO, J. Temporal trends of trace elements bioaccumulation by a vulnerable cetacean (*Pontoporia blainvillei*) before and after one of the largest mining disasters worldwide. **Science of The Total Environment**, v. 804, p. 150196, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150196>
- MARQUES, J. A.; COSTA, S. R.; MARASCHI, A. C.; VIEIRA, C. E.; COSTA, P. G.; MARTINS, C. D. M. G. & BIANCHINI, A. Biochemical response and metals bioaccumulation in planktonic communities from marine areas impacted by the Fundão mine dam rupture (southeast Brazil). **Science of the Total Environment**, v. 806, p. 150727, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150727>
- MEEKS, R.G.; HARRISON, S.D.; BULL, R. J. CRC Press, Inc., Corporate Blvd., N. W., Boca Raton, Florida. **Hepatotoxicology**, v. 700, 2000
- MIGUEL, C.; de DEUS SANTOS, M. R.; BIANCHINI, A. & VIANNA, M. R. M. Potential adverse effects of heavy metals on clinical health parameters of *Caretta caretta* from a nesting area affected by mining tailings in Brazil. **Journal of Trace Elements and Minerals**, v. 2, 100015, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100015>
- OSMAN, A. G. & KLOAS, W. Water quality and heavy metal monitoring in water, sediments, and tissues of the African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) from the River Nile, Egypt. **Journal of Environmental Protection**, v. 1, p. 389, 2010. [doi:10.4236/jep.2010.14045](https://doi.org/10.4236/jep.2010.14045)

- PALMER, A. R. & STROBECK, C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. **Annual review of Ecology and Systematics**, v.17, p. 391-421, 1986.
<https://www.jstor.org/stable/i310047>
- PAPADIMITRIOU, E. A. & LOUMBOURDIS, N. S. Copper kinetics and hepatic metallothionein levels in the frog *Rana ridibunda*, after exposure to CuCl₂. **Biometals**, v.16, p. 271-277, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1020683404803>
- PARSONS, P. A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. **Heredity**, v. 68, p. 361-364, 1992. <https://doi.org/10.1038/hdy.1992.51>
- PEDLER, R. D. The impacts of abandoned mining shafts: Fauna entrapment in opal prospecting shafts at Coober Pedy, South Australia. **Ecological Management & Restoration**, v.11, p. 36–42, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2010.00511.x>
- PETRANKA, J. W.; RUSHLOW, A. W. & HOPEY, M. E. Predation by tadpoles of *Rana sylvatica* on embryos of *Ambystoma maculatum*: implications of ecological role reversals by *Rana* (predator) and *Ambystoma* (prey). **Herpetologica**, p. 1-13, 1998.
<https://www.jstor.org/stable/i376510>
- RADOSTITS, O. M., GAY, C. C., BLOOD, D. C., & HINCHINCHCLIFF, K. W. Doenças causadas por substâncias químicas inorgânicas e produtos químicos utilizados nas fazendas. Clínica Veterinária. Um Tratado de Doenças dos Bovinos, Ovinos, Suínos, Caprinos e Equinos. 9ª ed. **Editora Guanabara Koogan**, Rio de Janeiro, p.1417-1471, 2002.
- POULIN, R. Toxic pollution and parasitism in freshwater fish. **Parasitology Today**, v. 8, p. 58-61, 1992. [https://doi.org/10.1016/0169-4758\(92\)90090-O](https://doi.org/10.1016/0169-4758(92)90090-O)
- RASKOVIC, B.; POLEKSI, V.; SKORIC, S.; JOVICIC, K.; SPASIC, S.; HEGEDISI, A. & LENHARDT, M. Effects of mine tailing and mixed contamination on metals, trace elements accumulation and histopathology of the chub (*Squalius cephalus*) tissues: Evidence from three differently contaminated sites in Serbia. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 153, p. 238-247, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.058>
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J. & HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, ζ and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- SAGLAM, D.; ATLI, G.; DOGAN, Z.; BAYSOY, E.; GURLER, C.; EROGLU, A. & CANLI. Response of the antioxidant system of freshwater fish (*Oreochromis niloticus*)

- exposed to metals (Cd, Cu) in differing hardness. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.14, 2014. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_1_06
- SAMARCO. **Relatório de avaliação de desempenho ambiental das atividades minerárias**. Samarco, Belo Horizonte, 2013.
- SANATANA, E.; SCHIESARI, L.; GOMES, F. & MARTINS. Morphophysiological traits of an amphibian exposed to historical industrial pollution in a Brazilian biodiversity hotspot. **Amphibia-Reptilia**, v. 42, p. 283-295, 2021.
<http://openurl.ingenta.com/content?genre=journal&issn=1568-5381>
- SATURNINO, M. A. **Mudanças na paisagem e estresse biológico: alterações cromossômicas, energéticas e epigenéticas em *Boana albopunctata* em área agrícola e conservada no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, 2017.
- SEGURA, F. R.; NUNES, E. A.; PANIZ, F. P.; PAULLELI, A. C. C.; RODRIGUES, G. B.; Braga, G. Ú. L. & Batista, B. L. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environmental Pollution*, v. 218, p. 813-825, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005>
- SILVANO, D. L.; SEGALLA, M. V. Conservação de anfíbios no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, p. 79-86, 2005.
- SINGH, P.; DEY, M. & Ramanujam, S. N. Bioaccumulation of heavy metals in anuran tadpoles: A study in Barak Valley, Assam. **International Journal of Aquatic Biology**, v. 4, p. 171-178, 2016. <https://doi.org/10.22034/ijab.v4i3.177>
- SOUZA, L. A. D.; Sobreira, F. G. & Prado Filho, J. F. D. Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana, MG, 2005.
- SPARLING D.W.; LINDER, G.L, BISHOP C.A. *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*. **Society of Environmental Toxicology and Chemistry**, v.877, 2000.
- SPARLING, D. W.; LINDER, G.; BISHOP, C. A. & KREST, S. (Eds.). **Ecotoxicology of amphibians and reptiles**, CRC Press. 877, 2010.
- STARNBERGER, I.; PREINIGER, D. & HODL, W. From uni-to multimodality: towards an integrative view on anuran communication. **Journal of Comparative Physiology**, v. 200, p. 777-787, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00359-014-0923-1>
- SWARUP, D. et al. Changes in plasma hormones profile and liver function in cows naturally exposed to lead and cadmium around different industrial areas. **Research in veterinary science**, v. 82, p. 16-21, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2006.05.002>

- TOLEDO, L. F.; MARTINS, I. A.; BRUSCHI, D. P.; PASSOS, M. A.; ALEXANDRE, C. & HADDAD, C. F. The anuran calling repertoire in the light of social context. **Acta ethologica**, v.18, p. 87-99, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10211-014-0194-4>
- UETANABARO, M.; PRADO, C. P. A.; RODRIGUES, D. J.; GORDO, M.; CAMPOS. **Guia de Campo dos Anuros do Pantanal e Planalto de Entorn**. Ed. UFMS; Cuiabá: Ed. UFMT, 2008.
- VREDENBURG, V. T. & Wake, D. B. Global declines of amphibians. **Encyclopedia of Biodiversity**, p. 1-9, 2007.
- VEDAMANIKAM, V. J. & SHAZILLI, N. A. M. The effect of multi-generational exposure to metals and resultant change in median lethal toxicity tests values over subsequent generations. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, p. 63-67, 2008. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9317-1>
- VEDAMANIKAM, V. J. Formation of resistance in the *Chironomus plumosus* to four pesticides over 45 generations. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 91, p. 187–194, 2009. <https://doi.org/10.1080/02772240802075196>
- VIEIRA, C. E. D.; MARQUES, J. A.; da SILVA, N. G.; BEVITÓRIO, L. Z.; ZEBRAL, Y. D.; MARASCHI, A. C. & SANDRINI, J. Z. Ecotoxicological impacts of the Fundão dam failure in freshwater fish community: Metal bioaccumulation, biochemical, genetic and histopathological effects. **Science of the Total Environment**, v. 832, p. 154878., 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154878>
- WANG, W. X. Dietary toxicity of metals in aquatic animals: Recent studies and perspectives. **Chinese Science Bulletin**, v.58, p. 203-213, 2013.
- WATTERS, J. L.; CUMMINGS, S. T.; FLANAGAN, R. L. & SILERr, C. D. Review of morphometric measurements used in anuran species descriptions and recommendations for a standardized approach. **Zootaxa**, v. 4072, p. 477-495, 2016. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4072.4.6>
- WHILES, M. R. & ALTIG, R. Dietary assessments of larval amphibians. **Amphibian ecology and conservation: A handbook of techniques**, p.71-86, 2010.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**, 5th edn. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2010.
- ZEBRAL, Y. D.; COSTA, P. G.; de SOUZA, M. M. & Bianchini, A. Avian blood and feathers as biological tools to track impacts from trace-metals: Bioaccumulation data from the biggest environmental disaster in Brazilian history. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 151077, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151077>

APÊNDICE A

Vouchers dos espécimes de *Boana albopunctata* utilizados para o estudo, depositados na Coleção de Anfíbios da Universidade Federal de Juiz de Fora (CAUFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Espécimes coletados no dia 18 de fevereiro de 2014: CAUFJF1273; CAUFJF1250; CAUFJF1259; CAUFJF1285; CAUFJF1288; CAUFJF1245; CAUFJF1258; CAUFJF1262; CAUFJF1272; CAUFJF1239; CAUFJF1235; CAUFJF1315; CAUFJF1326; CAUFJF1278; CAUFJF1255; CAUFJF1318; CAUFJF1256; CAUFJF1234; CAUFJF1307; CAUFJF 1316; CAUFJF1327; CAUFJF1335; CAUFJF1323; CAUFJF1336; CAUFJF1342; CAUFJF1275; CAUFJF1339; CAUFJF1301; CAUFJF1329; CAUFJF1312; CAUFJF1282; CAUFJF1261.

Espécimes coletados no dia 22 de março de 2018: CAUFJF1843; CAUFJF1847; CAUFJF1831; CAUFJF1850; CAUFJF1826; CAUFJF1845; CAUFJF1849; CAUFJF1829; CAUFJF1841; CAUFJF1856; CAUFJF1825; CAUFJF1839; CAUFJF1837; CAUFJF1827; CAUFJF1836; CAUFJF1855; CAUFJF1838; CAUFJF1832; CAUFJF1844; CAUFJF1840; CAUFJF1853; CAUFJF1835; CAUFJF1852; CAUFJF1833; CAUFJF1830; CAUFJF1846; CAUFJF1854; CAUFJF1842; CAUFJF1848; CAUFJF1834; CAUFJF1828; CAUFJF1851.

Espécimes coletados entre os dias 11 e 14 de abril de 2022: CAUFJF2089; CAUFJF2090; CAUFJF2093; CAUFJF2099; CAUFJF2095; CAUFJF2092; CAUFJF2088; CAUFJF2097; CAUFJF2096; CAUFJF2094; CAUFJF2091; CAUFJF2100; CAUFJF2098; CAUFJF2103; CAUFJF2104; CAUFJF2105; CAUFJF2108; CAUFJF2107.

ANEXO A

Laudo técnico de amostras do solo das áreas que foram afetadas pela lama de rejeitos da barragem de Fundão, fazenda Apaga Fogo, município de Barra Longa, MG, Brasil.



ASTER – Assistência Técnica Rural Ltda

LAUDO TÉCNICO

Avaliação de impacto ambiental

Fazenda Apaga Fogo
Barra Longa - MG

Rua João Vidal de Carvalho, 295 – Sl. 08
Sindicato dos Produtores Rurais - B. Guarapiranga
35430-210 Ponte Nova – MG - CNPJ: 19.208. 332/0001-94
(31) 9560-1056 / 9560-1057 - E-mail: aster.assistencia@gmail.com



ASTER – Assistência Técnica Rural Ltda

Rua João Vidal de Carvalho, 295 – Sl. 08
 Sindicato dos Produtores Rurais - B. Guarapiranga
 35430-210 Ponte Nova – MG - CNPJ: 19.208.332/0001-94
 (31) 9560-1056 / 9560-1057 - E-mail: aster.assistencia@gmail.com

LAUDO TÉCNICO

Avaliação de impacto ambiental

1 Introdução

Aos 13 dias do mês de novembro de 2015, em atendimento à solicitação do Sr. Eduardo Monteiro da Silva Lanna, nos deslocamos até a fazenda Apaga Fogo para fazermos o laudo de avaliação de impacto ambiental devido à contaminação de parte da propriedade por rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Bento Rodrigues, de propriedade da empresa Samarco, em Mariana-MG.

2 Identificação

Solicitante/ interessado: Eduardo Monteiro da Silva Lanna

Objeto do Laudo: Fazenda Apaga Fogo, matrícula 10.299 – Barra Longa - MG

Localização: Rodovia Ponte Nova – Rio Doce, atravessar a ponte do Pontal seguir sentido Chopotó, km 16

Coordenadas Geográficas: Latitude: 20° 16' 49.2"

Longitude: 42° 57' 37.1"

3 Histórico do imóvel

A Fazenda do Apaga Fogo, de propriedade do Sr. Eduardo Monteiro da Silva Lanna e outros, localizada no Município de Barra Longa, com área total de 216.8970ha, apresenta como ocupação do solo áreas de mata nativa, pastagens de Brachiária Brizantha, e cultivo de milho para trato do rebanho bovino. A topografia apresenta áreas planas às margens do rio do Carmo, algumas áreas planas e mata nativa nos topos de morro.

4 Atividades desenvolvidas

O empreendimento desenvolve, desde 1896, atividades de pecuária de leite, corte, e plantio de milho e cana-de-açúcar para trato do rebanho bovino.

5 Material utilizado

Material fotográfico, GPS Etrex-10 Garmin, imagens de satélite do Google Earth Pro.

6 Método utilizado

Foi feita a vistoria em toda a área, sendo fotografados os pontos que se queria em evidência. Utilizou-se o GPS para coletar as Coordenadas Geodésicas. O levantamento da área foi realizado através de imagens do Google Earth Pro, assim como as alterações sofridas na referida área.

7 Área atingida

Conforme croqui anexo, a área atingida tem o total de 10 Hectares, que apresentava como ocupação do solo pastagens de brachiária em excelentes condições de pastoreio e áreas para plantio de milho. As margens do



ASTER – Assistência Técnica Rural Ltda

Rua João Vidal de Carvalho, 295 – Sl. 08
 Sindicato dos Produtores Rurais - B. Guarapiranga
 35430-210 Ponte Nova – MG - CNPJ: 19.208. 332/0001-94
 (31) 9560-1056 / 9560-1057 - E-mail: aster.assistencia@gmail.com

rio do Carmo, que divide com a propriedade, também foram bastante atingidas, pois parte do trajeto do leito foi alterada, invadindo áreas da fazenda. O grande acúmulo de rejeitos dificulta o acesso dos animais à água.

8 Prejuízos causados

Quanto ao meio ambiente, os prejuízos causados são imensos:

- Eliminação da flora e fauna aquáticas; e
- Eliminação da vegetação da área de APP Hídrica (área antropizada), desvio de parte do leito natural do rio, invadindo áreas do imóvel.

Quanto ao aspecto agrônômico, temos que considerar a situação atual e a perspectiva futura.

Situação atual:

- ✓ Os animais não conseguem acessar a margem do rio para dessedentação, esta falta de acesso à água compromete a utilização até mesmo de áreas de pastagens que não foram atingidas(em torno de 15 hectares)
- ✓ A área para plantio de milho para silagem está sem condição de uso. Considerando uma produtividade de 60,0 ton/ha, em 10ha deixarão de serem produzidas 600ton de silagem.
- ✓ Considerando 15 ha de pastagens sem condições de uso, pois não tem bebedouros naturais para os animais, com uma capacidade de suporte de 2,5 UA/ha, ocorreu uma diminuição na disponibilidade de pastagens para 33 animais. Em consequência disto o produtor deverá adquirir silagem, alugar pastos ou dispor de alguns animais.

Perspectiva futura:

A perspectiva futura dependerá do nível de intervenção que será feito visando à recuperação da área, pois analisando os resultados das análises de solo química e física em anexo e os teores considerados bons pela comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais-CFSEMG (5ª aproximação), podemos concluir que a qualidade do material depositado na área é péssima.

Temos alguns agravantes:

- ✓ Alcalinidade elevada, de difícil correção.
- ✓ Teores de macro e micros nutrientes muito baixos.
- ✓ Teores altíssimos de Ferro(Fe) e Manganês(Mn). Provavelmente estes teores serão tóxicos para Gramíneas, impedindo seu cultivo.
- ✓ Uma das maneiras de correção do excesso de Ferro e Manganês é com a calagem, que não pode ser feita neste caso, devido ao PH e saturação de Bases que já estão elevados.
- ✓ Elevado teor de Silte, suscetível à formação de encrostamento superficial, dificultando a infiltração e emergência de plântulas.

9 Conclusão

Considerando o exposto anteriormente e a comprovação via anexos, agronomicamente, para a solução do problema deverão ser tomadas as seguintes providências:

- ✓ Remoção de todo o rejeito depositado na área.

**ASTER – Assistência Técnica Rural Ltda**

Rua João Vidal de Carvalho, 295 – Sl. 08
Sindicato dos Produtores Rurais - B. Guarapiranga
35430-210 Ponte Nova – MG - CNPJ: 19.208. 332/0001-94
(31) 9560-1056 / 9560-1057 - E-mail: aster.assistencia@gmail.com

- ✓ Reanálise de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.
- ✓ Subsolagem seguida adubação orgânica e aração profunda.
- ✓ Plantio de gramíneas (Brachiária), se possível consorciada com leguminosas.
- ✓ Correção dos desvios do leito do rio e refazer os bebedouros junto às margens.

Anexos:

- Análises química e física do Solo
- Fotos
- ART
- Comparativo das análises de solo com os teores satisfatórios.
- Croqui da área atingida.

Ponte Nova, 15 de Janeiro de 2016

Roberto de Almeida Costa
Eng. Agrônomo – Crea 45.702/D



LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLO VIÇOSA

Av. Santa Rita, 468

CEP: 36.570-000 - Viçosa-MG

Fone/Fax: (0**) 31 - 891-3606

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS

REGISTRO Nº: 7873

DATA: 01/12/2015

CLIENTE: EDUARDO MONTEIRO DA SILVA LANNA

ENDEREÇO:

BAIRRO:

CIDADE: BARRA LONGA - MG

CEP:

TEL:

FAX:

VALOR: RS 37,00

PROPRIEDADE: FAZ. APAGA FOGO

MUNICÍPIO: BARRA LONGA - MG

RESULTADOS ANALÍTICOS DE AMOSTRAS DE SOLOS

Ref. Lab.	Referência do Cliente	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
		H ₂ O	mg/dm ³			cmol _c /dm ³			
8695	Amostra 1	8,1	6,0	16	91	0,7	0,0	0,0	0,00

SB	CTC (t)	CTC(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	cmol _c /dm ³			%		dag/kg	mg/L			mg/dm ³			
1,14	1,14	1,14	100	0	34,71	1,05	32,9	3,0	329,7	434,3	1,1	0,1	

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

B - Extrator água quente

S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético

SB - Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

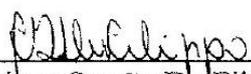
V - Índice de Saturação de Bases

m - Índice de Saturação de Alumínio

ISNa - Índice de Saturação de Sódio

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂C₂O₄ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem - Fósforo Remanescente


Adriane Serrão De Filippo
Eng^o. Agrônoma - CREA 187227

BRAZ VITOR DE FILIPPO
Engenheiro Agrônomo

Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda

CNPJ 22.392.450/0001-00

Av. Santa Rita, 468 – CEP 36570- 00 – Viçosa - MG.

Tel: (31) 3891 3606

labsolosvicosa@gmail.com

Viçosa, 18 de Novembro de 2015.

Prezado (a). Sr.(a).
Eduardo Monteiro da Silva Lanna
Fazenda Apaga Fogo
Barra Longa - MG

Sirvo-me desta para enviar-lhe(s) os resultados da análise granulométrica e classificação textural realizada em sua(s) amostra(s) de solos.

Identificação	Argila	Silte	Areia	Classificação Textural	Tipo de solo*
	----- % -----				
(8695) Amostra 01	8	44	48	Franco-arenosa	1

O método utilizado foi o da "Pipeta" segundo EMBRAPA.

* Conforme a capacidade de retenção de água:

Tipo 1 Arenoso

Tipo 2 Textura Média

Tipo 3 Argiloso

Continuando ao seu inteiro dispor, subscrevo-me,

Atenciosamente,



Adriane Serrão De Filippo
Eng^o. Agrônoma – CREA 187227



ASTER – Assistência Técnica Rural Ltda

Rua João Vidal de Carvalho, 295 – Sl. 08
 B. Guarapiranga – Sindicato dos Produtores Rurais
 35430-210 Ponte Nova – MG - CNPJ: 19.208. 332/0001-94
 (31) 9560-1056 / 9560-1057 - E-mail: aster.assistencia@gmail.com

Comparativo das análises de solo com os teores satisfatórios.

ELEMENTO QUÍMICO	TEORES CONSIDERADOS BONS	TEORES NO REJEITO
PH	5,5 a 6,5	8,10
Fósforo (P)	30,1 – 45,0 mg/dm ³	6,00mg/dm ³
Potássio (K)	71 – 120 mg/dm ³	16,0 mg/dm ³
Cálcio (Ca)	2,41 – 4,0 cmol/dm ³	0,70 cmol/dm ³
Magnésio (mg)	0,91 – 1,5 cmol/dm ³	0,0 cmol/dm ³
Acidez Trocável (Al)	1,01 – 2,00 cmol/dm ³	0,0 cmol/dm ³
Soma de Bases (SB)	3,61 – 6,0 cmol/dm ³	1,14 cmol/dm ³
CTC (T)	8,61 – 15,0 cmol/dm ³	1,14 cmol/dm ³
Saturação por bases (V)	60,1 – 80,0 %	100%
Matéria orgânica (M.O)	4,01 – 7,00dag/kg	1,05 dag/kg
Zinco (Zn)	1,6 – 2,2 mg/dm ³	3,0 mg/dm ³
Ferro (Fe)	3,10 – 45,0 mg/dm ³	329,7 mg/dm ³
Manganês (Mn)	9,0 – 12,0 mg/dm ³	434,3 mg/dm ³
Cobre (Cu)	1,30 – 1,80 mg/dm ³	1,1 mg/dm ³
Boro (B)	0,61 – 0,90 mg/dm ³	0,1 mg/dm ³
Argila	8%	
Silte	44%	
Areia	48%	

CONCLUSÕES:

1. O PH está muito elevado, prejudicial e de difícil correção;
2. Os teores de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) estão altíssimos, a correção é através de aplicação de calcário, o que não pode ser feito devido ao PH elevado e teores de Ca, Mg, etc. Estes teores provavelmente causarão toxidez às Gramíneas.
3. A grande maioria dos demais elementos estão com teores muito baixos, não acrescentando nenhum valor nutricional ao solo original do imóvel;
4. Quanto à análise física, os teores estão em desequilíbrio, com alto teor de Selte, tornando o solo susceptível de encrostamento superficial (comprovado), dificultando a infiltração de água e a emergência de plântulas.



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART **CREA-MG**
 Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

Via do Contratante
 Página 1/1

ART de Obra ou Serviço
1420160000002902754

1. Responsável Técnico

ROBERTO DE ALMEIDA COSTA

Título profissional:

ENGENHEIRO AGRONOMO;

RNP: 1403433801

Registro: 04.0.0000045702

2. Dados do Contrato

Contratante: **EDUARDO MONTEIRO DA SILVA LANNA**

Logradouro: **RUA SÃO DOMINGOS SÁVIO**

Cidade: **PONTE NOVA**

Contrato:

Valor: **1.760,00**

Ação institucional: **CALAMIDADE PÚBLICA**

Celebrado em: **23/11/2015**

Tipo de contratante: **PESSOA FÍSICA**

CPF: **354.548.226-04**

Nº: **000062**

Bairro: **NOSSA SENHORA AUXILIADORA**

UF: **MG**

CEP: **35430223**

3. Dados da Obra/Serviço

Logradouro: **RUA SÃO DOMINGOS SÁVIO**

Cidade: **PONTE NOVA**

Data de início: **23/11/2015** Previsão de término: **14/01/2016**

Finalidade: **AMBIENTAL**

Proprietário: **EDUARDO MONTEIRO DA SILVA LANNA**

Nº: **000062**

Bairro: **NOSSA SENHORA AUXILIADORA**

UF: **MG**

CEP: **35430223**

CPF: **354.548.226-04**

4. Atividade Técnica

1 - CONSULTORIA

LAUDO, MEIO AMBIENTE, ESTUDO IMPACTO AMBIENTAL E REL. IMPACTO AMBIEN.-EIA/RIMA **216.89** **ha**

Quantidade: Unidade:

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

LAUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

6. Declarações

7. Entidade de Classe

INSTITUTO DOS PROFIS. DE ENG., ARQUITETURA E AGR

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

_____ de _____ de _____

ROBERTO DE ALMEIDA COSTA

RNP: 1403433801

9. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site

www.crea-mg.org.br ou www.confea.org.br

- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

VALOR DA OBRA: R\$ R\$1.760,00. ÁREA DE ATUAÇÃO: MEIO AMBIENTE,

EDUARDO MONTEIRO DA SILVA LANNA CPF: 354.548.226-04

Valor da ART: **74,37**

Registrada em: **11/01/2016**

www.crea-mg.org.br | 0800.0312732

Valor Pago: **74,37**

Nosso Número: **000000002897772**

