

GREENPEACE



“Girinos como bioindicadores da qualidade da água do Rio Doce”

**PESQUISADORES:
FLORA ACUÑA JUNCÁ
DANTE PAVAN
TAÍSE BOMFIM DE JESUS
PAULA ETEROVICK**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
JUNHO DE 2017**

RELATÓRIO FINAL
Junho 2017

DADOS GERAIS			
TÍTULO DA PROPOSTA:	Girinos como bioindicadores da qualidade da água do Rio Doce		
COORDENADOR DA PROPOSTA:	Flora Acuña Juncá		
CONTATO: EMAIL/TELEFONE	75 991546167		
COLABORADORES:	Título	Especialidade	Função/Atividade/Tempo de dedicação
Dante Pavan	Doutor	Anfíbios e Répteis	Execução do Projeto/Análises e Confecção de relatórios/15 horas semanais
Táise Bomfim de Jesus	Doutora	Geoquímica e Meio Ambiente	Execução do Projeto/Análises de bioacumulação de metais pesados/15 horas semanais
Paula Eterovick	Doutora	Ecologia de anfíbios	Execução do Projeto/Coletas em Minas Gerais/15 horas semanais

1.0 Introdução

Em novembro de 2015, os rejeitos da barragem de Fundão, provenientes do complexo minerário de Germano, município de Mariana, Minas Gerais, percorreram aproximadamente 650 km ao longo do rio Doce, do local do rompimento até sua foz, junto ao oceano Atlântico, no estado de Espírito Santo. Durante esses quatro meses de exposição dos rejeitos, houve certamente sério comprometimento da fauna e flora aquática desta bacia.

Anfíbios anuros têm na maioria absoluta de suas espécies duas fases de vida, uma aquática (girinos) e outra terrestre (adultos) (Duellman & Trueb, 1986). Assim, as comunidades de anuros ao longo da área impactada pelos dejetos podem ainda aparentar condições saudáveis, pois os indivíduos adultos de muitas espécies possivelmente não tiveram contato direto com as águas contaminadas. Os girinos, por sua vez, são organismos que podem ser afetados diretamente e indiretamente pela enorme alteração físico-química ocorrida (dos Santos et al., 2016; GIAIA, 2016). Especialmente nos meses mais quentes e úmidos da região, há grande probabilidade das espécies usarem os ambientes aquáticos contaminados para reprodução, produzindo aí uma comunidade de girinos diversificada e numerosa. Segundo o laudo técnico preliminar do IBAMA (2015) que tratou do desastre ocorrido, 28 espécies de anuros pertencentes a sete famílias podem ser encontradas na área. Este relatório não se estendeu quanto aos possíveis efeitos dos dejetos nestas comunidades.

Metais ocorrem naturalmente no ambiente e alguns participam de funções fisiológicas em plantas, animais, microrganismos, sendo, portanto, essenciais como cobre, ferro, zinco e cobalto e são absorvidos diretamente através da água ou indiretamente, através da cadeia alimentar (Karan et al., 1998; Mcgeer et al., 2000). Entretanto, a contaminação ambiental com compostos contendo metais pesados é preocupante, pois não são biodegradáveis e, além da alta toxicidade, eles têm capacidade de bioacumulação e potencialidade de induzir danos ao material genético dos organismos (Baird, 2002). A pele permeável de anfíbios (adultos e girinos) torna estes organismos sensíveis aos

contaminantes químicos, incluindo metais (Degarady & Halbrook, 2006). Embora estes contaminantes muitas vezes não tenham efeito letal imediato, podem bioacumular, interferindo de forma crônica nos aspectos fisiológicos e bioquímicos dos indivíduos (Lam & Gray, 2003).

Assim, os girinos das comunidades de anuros presentes ao longo da bacia do rio Doce podem ser excelentes bioindicadores da qualidade da sua água, pois sua condição efêmera (a fase de girinos, de modo geral, tem de um a poucos meses de duração antes da metamorfose), possibilita um monitoramento da qualidade da água. Além disso, pode explicar possíveis flutuações da comunidade de anuros da região. Como o ciclo de vida dos anfíbios conecta as comunidades aquáticas e terrestres, o impacto sobre o mesmo na fase aquática reflete nas comunidades terrestres, sendo uma provável extensão dos impactos para os ambientes terrestres.

Este trabalho, portanto, tem como principal objetivo verificar se os girinos presentes na área de impacto do rejeito ao longo da bacia do Rio Doce estão bioacumulando metais, com vistas a monitoramento da qualidade da água e da anurofauna local. Também pretende fazer um levantamento preliminar dos ambientes utilizados pelas espécies de anuros para reprodução, bem como verificar a composição da comunidade de girinos nestes locais.

Este relatório apresenta os primeiros resultados referente a exposição dos girinos às áreas sob diferentes graus de influência dos rejeitos, na região da bacia hidrográfica do Rio Doce.

2.0 Justificativa

A má gestão dos recursos hídricos tem estimulado o desenvolvimento de metodologias de diagnósticos eficientes.

Em relação à toxicidade dos metais pesados, incentiva-se o uso de testes in vivo com organismos aquáticos, pois esta metodologia traduz-se em uma das melhores maneiras de se avaliarem os riscos ambientais e dar uma resposta

global da atuação de todos os químicos presentes no meio sobre os organismos aquáticos.

Para a realização desses estudos, faz-se necessário a utilização de espécies representativas dentro do ambiente que ocupa, além disso, esta deve ser sensível a uma ampla diversidade de agentes químicos e preferencialmente, ser abundante e de fácil cultivo e manipulação em laboratório.

Os anfíbios anuros podem ser utilizados nesses testes de monitoramento ambiental, pois eles exercem importante papel nos ecossistemas aquáticos, por terem seu ciclo de vida na água quando girinos, e na terra, após sofrerem metamorfose. Por isso, a tentativa de analisar o acúmulo desses metais traços no ambiente e nos girinos, presentes nas áreas impactadas pelo rejeito de minério de ferro, é de relevante importância, visto que, altas concentrações de alguns poluentes podem induzir severas deformidades nos girinos, com a intensa redução das estruturas orais usadas na alimentação. Essas deformidades podem atingir até 96% dos indivíduos de uma população e diminuir sua taxa de crescimento por meio da redução de sua capacidade de forrageio.

Por outro lado, girinos são predados por uma série de organismos, desde invertebrados a vertebrados. A depender da espécie, uma mesma desova pode desenvolver centenas de girinos (Duellman, & Trueb, 1986), o que faz desses organismos um recurso alimentar considerável. Esse recurso, caso contaminado, entrará para cadeia alimentar, contaminando toda comunidade.

3.0 Objetivos Gerais e Específicos

Objetivo geral

Analisar se girinos expostos às áreas de influência dos rejeitos na região da bacia hidrográfica do Rio Doce estão bioacumulando metais;

Objetivos específicos

1. Identificar as espécies de anuros que utilizam ambientes aquáticos impactados pelos rejeitos da barragem;

2. Quantificar as concentrações de metais na água superficial e no sedimento nos locais de coleta dos girinos;
3. Avaliar as espécies de anuros na forma larval (girinos) quanto a sua capacidade de bioacumulação de metais

4.0 METAS

Metas a serem alcançadas	Atividades	Descrição	Etapa Alcançada
Meta 1 Reconhecimento da composição da comunidade de girinos nas áreas investigadas	1.1 Solicitação de licenças de coleta	Girinos coletados em diferentes pontos das áreas investigadas	CONCLUÍDO
	1.2 Coleta de girinos	Girinos identificados através de comparação com girinos de coleções científicas e auxílio de especialistas	CONCLUÍDO
	1.3 Identificação dos girinos ao menor nível taxonômico possível e depósito dos girinos em coleção científica institucional		CONCLUÍDO
Meta 2 Determinação e quantificação de metais nos girinos	2.1 Preparação dos girinos	Girinos mortos em overdose de lidocaína 2,5%, pesagem e medições dos girinos	CONCLUÍDO
	2.2 Quantificação dos metais nos girinos	Utilização de Espectrômetro de Absorção Atômica por chama	CONCLUÍDO
	...		CONCLUÍDO
Meta 3 Determinação e quantificação de metais na água superficial e sedimentos	3.1 Coleta de amostras de água e sedimentos nos pontos de coleta de girinos 3.2 Análises laboratoriais - Análise dos compartimentos ambientais (água e sedimento)	Acidificação das amostras e demais procedimentos para quantificação dos metais em Espectrômetro de Absorção Atômica por chama	CONCLUÍDO
Meta 4 Análises estatísticas	4.1 Comparação das quantificações de metais nos girinos coletados em pontos com rejeitos e sem rejeitos 4.2. Comparação das concentrações de metais da água, sedimento e nos girinos 4.3 Cálculo do fator de bioacumulação	Utilização de ANOVA	EM ANDAMENTO
Meta 5 Divulgação dos resultados	5.1 Preparação de artigos científicos 5.2 Preparação de vídeo para divulgação em redes sociais 5.3 Entrevistas para meios de comunicação		EM ANDAMENTO
Meta 6 Apresentação relatório final	6.1 Escrita do relatório final		

5.0 METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

A coleta das amostras resultou um total de 25 pontos (Tabela 1, Figura 1), de seis municípios: Baixo Guandu, Regência, Colatina, Linhares, no Espírito Santo (14 pontos), Aimorés e Mariana, Minas Gerais (12 pontos). As coletas ocorreram nos meses de setembro, novembro e dezembro de 2016. Os pontos foram escolhidos de acordo com a acessibilidade e também de acordo com o contato direto do rejeito (18 pontos) ou a distâncias variadas (7 pontos). No Espírito Santo, os pontos foram ao longo do Rio Doce (Figura 2), enquanto que em Minas Gerais, os pontos foram em áreas drenadas pelos rios Gualaxo e Piracicaba(Figura2).

Tabela 1. Pontos amostrais, com coordenadas geográficas e destaque para aqueles dentro da área de contato direto do rejeito (*).

PONTO	X	y	Estado/Cidade/Distrito
1	19°31'35.82"	40° 48' 57.78"	ES/Baixo Guandu
2*	19°29'33.42"	39° 54' 56.1"	ES/Linhares/Regência
3	20°19'25,7"	43°11'11,8	MG/Mariana/Entre Furquim e Acaiaca
4*	20°17'47,8"	43°12'02,5"	MG/Mariana/Paracatu de Baixo
5*	20°17'51,9"	43°11'42,2"	MG/Mariana/Paracatu de Baixo
6	20°10'21,6"	43°24'28"	MG/Mariana/Santa Rita Durões
7*	20°16'19"	43°25'29"	MG/Mariana/Bento Rodrigues
8*	20°14'10,1"	43°25'42,2"	MG/Mariana/Bento Rodrigues
9*	20°16'46,4"	43°02'13,6"	MG/ Mariana/ Barra Longa
10	20°16'01,7"	43°06'02,8"	MG/Mariana/Gesteira
11	20°22'47,1"	43°17'34,7"	MG/ Mariana/Cachoeira do Brumado
12	20°23'30,1"	43°16'50,7"	MG/ Mariana/Cachoeira do Brumado
13	20°23'34,1"	43°16'53"	MG/ Mariana/Cachoeira do Brumado
14*	20°23'44,9"	43°08'41,6"	MG/Mariana/Barra Longa
15*	19°30'9.96"	40° 54' 45.9"	ES/Baixo Guandu/Mascarenhas
16*	19°31'56.4"	40°26' 58.02"	ES/Colatina
17*	19°31'57.36"	40° 27' 17.82"	ES/Colatina
18*	19° 32' 0.24"	40° 41' 15.3"	ES/Colatina/Itapina
19*	19° 31' 55.5"	40° 41' 25.08"	ES/Colatina/Itapina
20*	19°31'53.94"	40° 41' 28.68"	ES/Colatina/Itapina
21*	19° 29' 13.2"	41° 05' 18.06"	MG/Aimorés
22*	19°29'23.52"	39° 55' 3.9"	ES/Linhares/Regência
23*	19° 29' 29.1"	39° 54' 59.28"	ES/Linhares/Regência
24*	19° 29' 51.6"	39° 54' 45.42"	ES/Linhares/Regência
25*	19°36'23.34"	39° 49' 49.92"	ES/Linhares/Regência

Figura 1. Pontos de coleta de material ao longo da bacia do Rio Doce. A numeração dos pontos é a utilizada na tabela 1. Pontos em verde estão no estado do Espírito Santo e pontos em vermelho no estado de Minas Gerais.

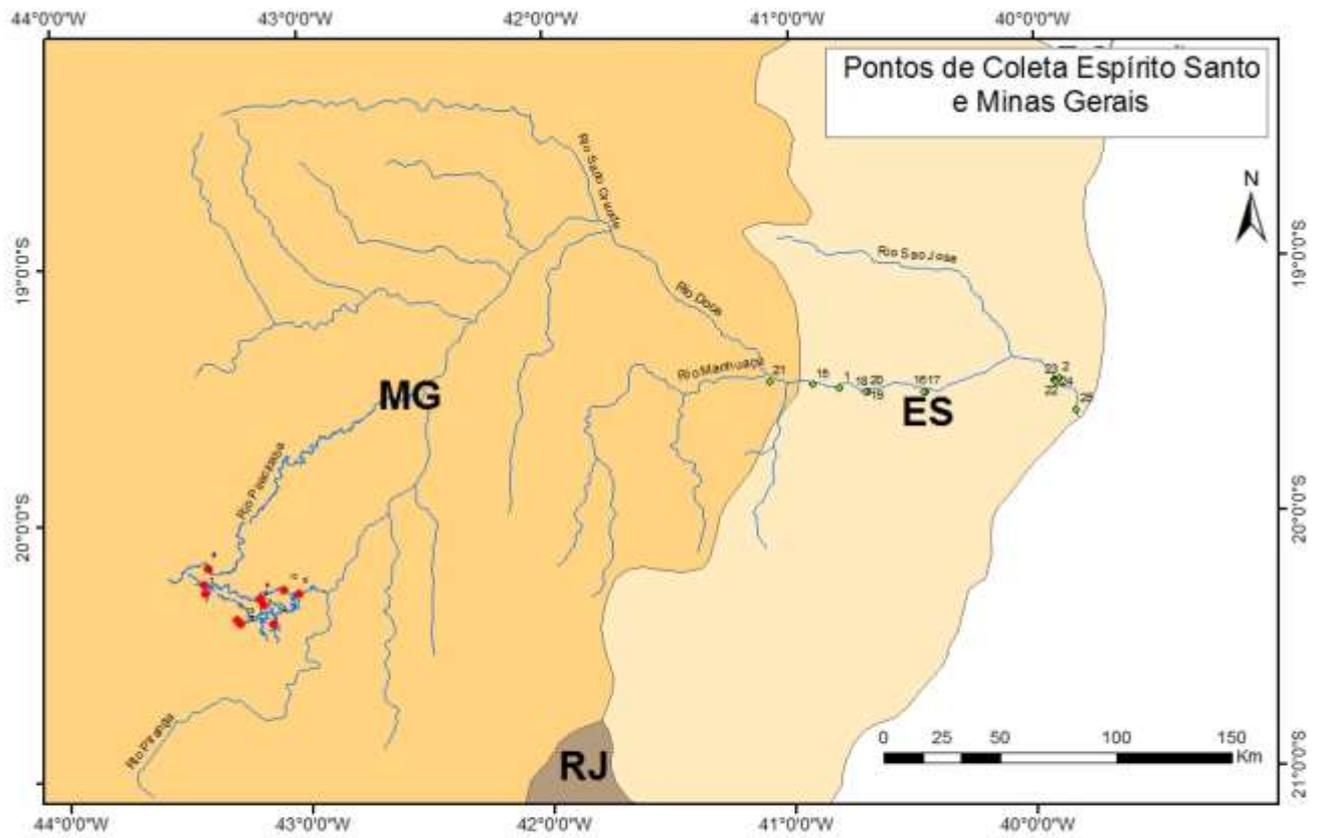


Figura 2. Pontos de coleta de material realizados nas cabeceiras da Bacia do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais. Os números nos pontos seguem a tabela 1. Pontos 4, 5, 7, 8, 9 e 14 foram pontos que tiveram contato do rejeito proveniente do rompimento da Barragem.

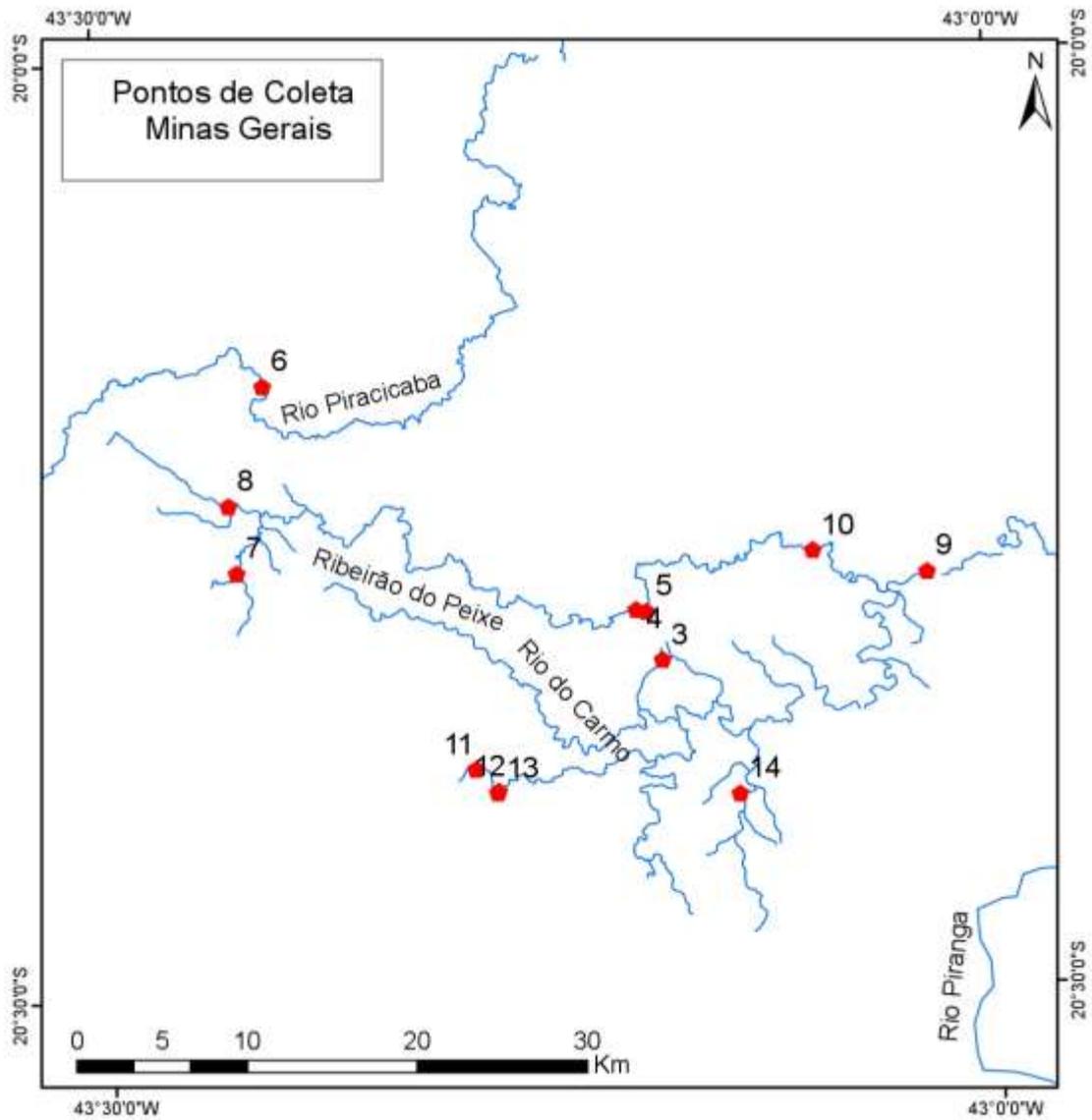


Figura 3. Pontos de coleta de material realizados ao longo do Rio Doce, no Estado do Espírito Santo. Os números nos pontos seguem a tabela 1. Apenas o ponto 1 foi realizado em uma área onde não houve contato direto do rejeito proveniente do rompimento da Barragem.

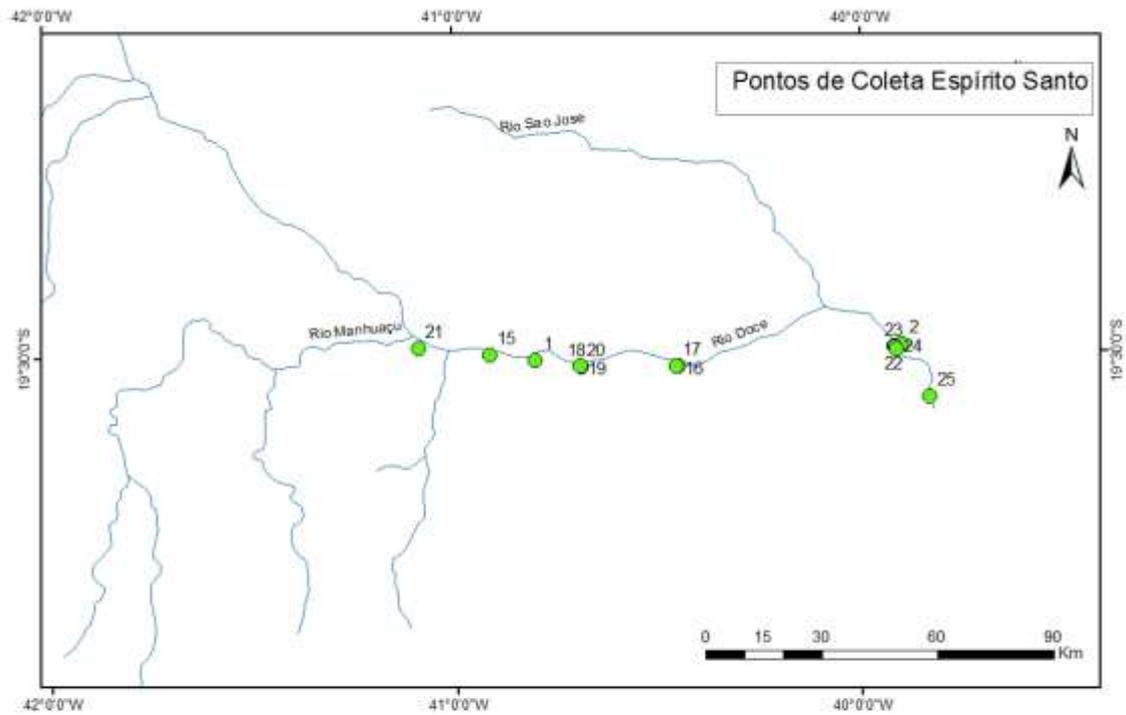


Figura 4. Imagens de 14 pontos onde foram encontrados e coletados girinos. Os pontos estão numerados conforme a Tabela 1. * Pontos com contato direto de rejeito proveniente do rompimento da Barragem. Pontos 1 e 2 (Rio Doce, ES). Demais pontos realizados em Mariana (MG).

PONTO 1



PONTO 2*



PONTO 3



PONTO 4*



PONTO 5 *



PONTO 6



PONTO 7*



PONTO 8*



PONTO 9*



PONTO 10



PONTO 11



PONTO 12



PONTO 13



PONTO 14*



5.2 Coleta de água superficial e sedimentos

Todos os pontos amostrais tiveram a temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, pH e sólidos totais dissolvidos medidos através de um equipamento multiparâmetro das marcas OAKTON (coleta no ES) e HORIBA (coleta em MG) e a turbidez, com um turbidímetro, marca Hanna modelo HI-93703. Nos 12 pontos em MG foi medida, também, a capacidade de oxirredução. Em seguida, as amostras de água foram coletadas em recipientes de polietileno de 1 L de capacidade, contendo 5 ml de HNO₃ (a 65%) e mantidas refrigeradas até o laboratório.

No Laboratório de Saneamento (LABOTEC/UEFS), foram feitas duplicatas de 100ml das amostras de água, filtradas a vácuo utilizando-se membranas de acetato de celulose com porosidade 0,45 µm (PARKS et al., 2004) para a separação da fração dissolvida do material particulado. Em seguida, tanto os filtros quanto o material filtrado foram colocados em vasos de teflon, foram adicionados 3 ml de ácido clorídrico (50%) e 1,0 ml de ácido nítrico (50 %) e os vasos foram levados ao bloco digestor para digestão da matéria orgânica, sob uma temperatura de 100°C. Após a digestão, as amostras foram avolumadas com água ultra pura em balões volumétricos de 25 ml, acondicionadas em vasos de polietileno e refrigeradas até o momento da leitura dos metais.

As amostras de sedimentos foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos. No LABOTEC/UEFS, foram secas em estufas de fluxo contínuo e passadas em peneiras de malha de 2 mm. Em seguida, para cada amostra, retirou-se 0,5 g de sedimento, e em vasos de teflon elas passaram pelo mesmo processo da água e filtro para serem digeridas e posteriormente avolumadas.

5.3 Coleta de girinos

Os girinos foram capturados com o auxílio de peneiras de 20 cm e 50 cm de diâmetro, colocados em sacos plásticos e acondicionados em caixas de isopor refrigeradas. Em campo, realizou-se uma primeira triagem e os espécimes foram levados vivos para o alojamento, onde foram separados por espécies,

identificado o estágio de desenvolvimento (Gosner, 1960), medidos, armazenados individualmente em microtubos e congelados.

No Museu de Zoologia da Universidade de Feira de Santana (MZFS), os girinos foram identificados com o auxílio de chaves de identificação, cada indivíduo foi pesado em balança digital (precisão 0,0001g).

Em seguida, no LABOTEC/UEFS, cada girino foi colocado em um vaso de teflon, acrescido de uma solução de 3 ml de ácido clorídrico (50%) e 1,0 ml de ácido nítrico (50 %) e levado ao bloco digestor para digestão da matéria orgânica, sob uma temperatura de 100°C. Após a digestão, as amostras foram avolumadas com água ultra pura em balões volumétricos de 25 ml, acondicionadas em vasos de polietileno e refrigeradas até o momento da leitura dos metais.

5.4 Determinação e quantificação dos metais

No Laboratório de Ciência Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), foi realizada a leitura de doze metais pesados: Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V e Zn, através da técnica de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado (ICP OpticalEmissionSpectrometer).

O teor do metal [Me] analisado foi dado pela seguinte expressão:

$$[\text{Me}] = C \times V \times F/m$$

Onde:

C = concentração em µg/mL obtida através da curva de calibração do metal

V = volume total do extrato

F = fator de diluição do extrato original, quando necessário.

m = massa do material animal.

Todas as amostras foram acompanhadas por determinações em branco. As curvas analíticas foram traçadas a partir de dados de soluções diluídas da solução estoque de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, no intervalo de concentrações de 0,1 a 1,0 mg L⁻¹, com base nos coeficientes de correlação angular e linear.

Cada espécie será avaliada quanto a sua capacidade de bioacumulação, de acordo com a sua concentração de metais, e será determinado também, o fator de bioconcentração, a partir do quociente entre a concentração no indivíduo e a concentração no meio: [Metal no girino] / [Metal na água].

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Bioindicadores potenciais

Do total de 25 pontos amostrados, em apenas 14 (Figura 4) foram coletados girinos pertencentes a 24 espécies das famílias Bufonidae, Hylidae, Leptodactylidae, Microhylidae e adultos da família Pipidae (Tabela 2). Desses 14 pontos, sete tiveram contato direto com o rejeito de lama. Em média, os pontos que tiveram contato com o rejeito apresentaram uma riqueza de espécies significativamente menor do que os demais ($t = 2.5011$, $df = 11.74$, $p = 0.02825$). O número de girinos coletado para cada espécie variou muito. No total foram coletados cerca de 1.500 girinos.

No Espírito Santo, em apenas dois pontos foi constatada a presença de girinos. Entretanto, em 11 pontos foi coletado um tipo de camarão, que poderia também ser utilizado como bioindicador (*Potimirim* sp.). Entretanto, este relatório dará ênfase a análise de girinos.

O baixo encontro de girinos nas poças amostradas no Espírito Santo pode ser um resultado associado ao fato do período de coleta (23 a 27 de setembro de 2016) ter coincidido com final do período de baixa precipitação, quando a maioria das espécies já reproduziu e os girinos já metamorfosearam.

Tabela 2. Distribuição espacial das 24 espécies de anuros registradas em áreas sob influências do rejeito. (*) Pontos com contato direto de rejeito.

Família e Espécie	Pontos de coleta													
	1	3	6	10	11	12	13	2*	4*	5*	7*	8*	9*	14*
Bufonidae														
<i>Rhinella crucifer</i>								x						
Hylidae														
<i>Bokermannohyla aff. circumdata</i>			x		x						x			X
<i>Dendropsophus elegans</i>		x		x	x									
<i>Dendropsophus minutus</i>							x							
<i>Hypsiboas sp. 1</i>											x			
<i>Hypsiboas sp. 2</i>					x									
<i>Hypsiboas sp. 3</i>					x									
<i>Hypsiboas albopunctatus</i>		x												
<i>Hypsiboas crepitans</i>					x		x							
<i>Hypsiboas faber</i>					x									
<i>Hypsiboas pardalis</i>		x							x	x				
<i>Hypsiboas semilineatus</i>								x						
<i>Scinax eurydice</i>														x
<i>Scinax fuscovarius</i>								x	x			x	x	x
<i>Scinax aff. perereca</i>								x						
<i>Scinax sp.</i>	x													
Leptodactylidae														
<i>Leptodactylus fuscus</i>					x						x		x	x
<i>Leptodactylus labyrinthicus</i>								x						
<i>Leptodactylus mystacinus</i>								x						
<i>Physalaemus centralis</i>														x
<i>Physalaemus crombiei</i>		x				x		x						
<i>Physalaemus cuvieri</i>						x								
Microhylidae														
<i>Elachistocleis cesarii</i>		x	x	x	x	x	x	x						
Pipidae														
<i>Pipa carvalhoi</i>	x													
Total espécies	2	5	3	7	4	4	5	2	2	1	3	1	2	5

O número de espécies de anuros encontrado em cada poça, a julgar pela presença de seus girinos variou de um a sete. A poça que apresentou maior riqueza de espécies (7 espécies) não entrou em contato direto com rejeito. Entre as poças, por onde passou o rejeito de lama, a maior riqueza de espécies foi de cinco espécies.

Todas as poças sem contato direto com o rejeito apresentaram girinos de *Elachistocleis cesarii*, indicando que o período de coleta foi mais ou menos coincidente com período reprodutivo da espécie. Nenhuma poça que teve contato direto com o rejeito, entretanto, mostrou a presença de girinos desta espécie. Os adultos de *E. cesarii* têm hábitos escavadores, caracterizando-se como espécie de hábitos fossoriais. Esta espécie permanece boa parte de sua vida debaixo do solo, saindo apenas para alimentação e reprodução. Provavelmente, as populações adultas que se encontravam no trajeto da lama foram prejudicadas, o que afetou a reprodução neste ano. Por outro lado, onde a lama não alcançou, as populações adultas se reproduziram. Este fato por si só já mostra o impacto que a lama pode ter causado em muitas espécies de hábitos similares.

6.2 Concentração de metais

Os resultados obtidos serão apresentados em três etapas: I) concentração de metais na água e sedimento, II) concentração de metais nos girinos e III) fator de bioconcentração. Posteriormente serão enviados cálculos do fator de bioconcentração nos girinos. Esta terceira etapa, a ser finalizada, validará os resultados apresentados neste relatório parcial e abrirá discussão importante sobre a bioacumulação em girinos e suas consequências na natureza.

Os elementos analisados nas amostras de girinos, na água superficial e no sedimento foram: Cd (cádmio), Cr (cromo), Cu (cobre), Mn (manganês), Ni (níquel), Pb (chumbo), Fe (ferro), Al (alumínio), Ba (bário), V (vanádio), Ti (titânio), Zn (zinco).

6.2.1 Concentração de metais na água e sedimentos

ÁGUA

Na tabela 3 estão apresentados os parâmetros físico-químicos da água, utilizados para avaliar o grau de qualidade da água e seu uso, além de ser utilizado para avaliar a disponibilidade dos metais pesados para a biota. Cabe ressaltar que os valores da temperatura estão diretamente relacionados com o horário e data que a poça foi visitada, portanto as variações encontradas são esperadas.

Na maioria dos pontos, os valores do pH da água superficial, variou de neutro a alcalino, com exceção dos pontos 1 e 2 que apresentaram pH levemente ácido. É importante ressaltar que em ambiente ácido, aumenta a mobilidade do metal, e a sua disponibilidade para a coluna d'água, dessa forma pode ser absorvido e acumulado pelos organismos.

Tabela 3. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da água superficial, nos 14 pontos amostrais, que apresentaram girinos. (*) Ponto com contato direto com o rejeito.

Ponto	Temp. (°C)	Condut. (ms)	OD (mgL ⁻¹)	pH	Turbidez (NTU)	TDS (mg L-1)
CONAMA	-	-	> 4	6 a 9	≤100	≤500
1	25	0,521	2,21	5	232	274
2*	24,3	0,100	1,99	5	13,98	0,06
3	22,83	0,066	7,62	6,39	23,5	43
4*	30,34	0,647	12,59	9,19	275	417
5*	27,82	0,076	11,3	7,53	17,91	49
6	26,33	0,004	13,94	7,52	8,08	3
7*	33,07	0,022	14,17	7,78	24,8	14
8*	29,65	0,069	14,42	7,85	882	45
9*	26,39	0,102	17,15	7,99	644	67
10	27,28	0,024	15,43	7,99	199,8	14
11	23,8	0,019	19,68	9,84	129,3	11
12	30,23	0,033	14,46	8,01	177,6	20
13	31,36	0,022	11,47	9,05	44,2	14
14*	31,45	0,079	15,61	10,08	140	50

Na tabela 4, são apresentados os valores de concentração de metais na água dos pontos amostrais e na tabela 5 estão os valores máximos permitidos pelo

CONAMA (resolução 454/2012) para alguns metais. No caso dos resultados apresentados neste relatório, observa-se apenas os valores de metais dissolvidos. Assim, os metais Al, Cu e Fe apresentaram concentrações muito mais altas que os máximos permitidos. Ressalta-se que os valores permitidos para metais totais são sempre maiores que os valores permitidos para metais dissolvidos. Assim, a exceção do Zi, todos os pontos tiveram os metais em concentrações extremamente mais altos que o permitido pela resolução CONAMA. No caso Zi, apenas os pontos 12, 13 e 14 tiveram valores acima do permitido.

Diferentemente do que estipulou o EIA-RIMA, o impacto do rompimento de Fundão não se restringiu às áreas de influência preestabelecidas tecnicamente (a área das barragens da empresa mais o povoado de Bento Rodrigues). A lama produziu destruição socioambiental por 663 km nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce até chegar na foz do último, onde adentrou 80 km² ao mar (Wanderley et al., 2016).

Esse espalhamento do rejeito, enriquecido com Ferro, possibilita o aumento na concentração, no ambiente, de outros elementos químicos, a saber: Mn, Ni, Pb, uma vez que, esses elementos tem afinidade pelo Ferro, chamados de elementos siderófilos. Logo, mesmo que a toxicologia/toxicocinética do ferro não esteja muito bem descrita na literatura, a presença deste elemento em altas concentrações nos compartimentos ambientais atrai outros elementos com potenciais toxicológicos conhecidos.

Tabela 4. Média e desvio padrão das concentrações de metais (mg/Kg⁻¹) nas águas superficiais dos 14 pontos amostrais que apresentaram girinos. (*) Ponto com contato direto do rejeito. Algarismos em negrito indicam maiores concentrações..

Ponto	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Ti	Zn
1	72,17 ± 3,19	29,33 ± 1,33	7,82 ± 5,29	0,50 ± 0,33	615,30 ± 12,22	6,49 ± 0,15	2,10 ± 1,38	0,97 ± 0,22	0,53 ± 0,01	4,38 ± 0,11
2*	15,34 ± 8,43	9,23 ± 3,44	4,27 ± 1,21	0,25 ± 0,16	48,87 ± 17,85	129,88 ± 66,03	4,71 ± 5,76	0,37 ± 0,17	0,18 ± 0,04	2,49 ± 1,35
3	13,91 ± 0,68	1,56 ± 0,15	1,17 ± 0,12	0,27 ± 0,04	133,21 ± 7,64	7,16 ± 0,77	0,31 ± 0,06	0,40 ± 0,03	0,16 ± 0,00	2,04 ± 0,09
4*	11,40 ± 1,59	3,00 ± 0,53	1,16 ± 0,25	0,46 ± 0,26	20,09 ± 1,94	4,12 ± 0,91	0,32 ± 0,09	0,14 ± 0,02	0,11 ± 0,01	1,40 ± 0,23
5*	28,09 ± 6,85	6,50 ± 0,74	1,70 ± 0,13	0,28 ± 0,02	396,24 ± 53,83	70,59 ± 10,20	0,39 ± 0,01	0,49 ± 0,11	0,70 ± 0,12	3,28 ± 0,64
6	7,35 ± 0,63	1,55 ± 0,35	1,78 ± 0,50	2,76 ± 0,96	19,46 ± 2,63	9,62 ± 0,55	0,40 ± 0,09	0,27 ± 0,02	0,18 ± 0,07	3,29 ± 0,21
7*	9,21 ± 2,10	3,58 ± 0,52	1,60 ± 0,56	0,47 ± 0,18	19,71 ± 2,10	9,00 ± 0,53	0,30 ± 0,14	0,19 ± 0,11	0,14 ± 0,00	4,62 ± 1,24
8*	14,37 ± 1,29	4,11 ± 0,15	1,77 ± 0,06	0,38 ± 0,01	42,42 ± 12,45	13,68 ± 1,01	0,27 ± 0,03	0,46 ± 0,05	0,26 ± 0,03	3,67 ± 0,27
9*	34,43 ± 4,99	4,07 ± 0,07	2,13 ± 0,49	0,46 ± 0,05	35,04 ± 2,18	8,93 ± 0,18	0,43 ± 0,20	0,33 ± 0,03	0,37 ± 0,01	4,79 ± 0,19
10	15,00 ± 0,46	3,63 ± 0,00	2,87 ± 0,15	0,39 ± 0,05	77,80 ± 1,20	8,19 ± 0,06	0,54 ± 0,48	0,32 ± 0,05	0,39 ± 0,05	4,51 ± 0,24
11	13,29 ± 0,85	2,55 ± 0,23	6,42 ± 2,60	0,35 ± 0,04	93,77 ± 11,91	8,30 ± 0,44	0,90 ± 0,79	0,14 ± 0,00	0,23 ± 0,01	4,04 ± 0,19
12	10,19 ± 1,03	2,47 ± 0,16	0,98 ± 0,08	0,37 ± 0,01	95,66 ± 1,15	6,68 ± 0,18	0,37 ± 0,06	0,18 ± 0,08	0,20 ± 0,05	5,33 ± 0,90
13	10,24 ± 0,48	2,65 ± 0,05	2,53 ± 0,09	25,19 ± 0,46	63,73 ± 0,04	8,47 ± 0,16	13,26 ± 0,08	22,31 ± 0,09	0,38 ± 0,01	34,08 ± 0,49
14*	13,06 ± 0,12	5,51 ± 0,61	1,77 ± 0,65	1,37 ± 0,77	141,36 ± 0,05	25,32 ± 1,30	0,61 ± 0,01	0,37 ± 0,23	0,24 ± 0,01	6,71 ± 1,49

Tabela 5. Concentração média de metais na água de acordo com o CONAMA 454/2012, para águas da qualidade classe 3 (águas para abastecimento humano após tratamento convencional ou avançado, entre outros).

	Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn	Pb
CONAMA 454/2012 (mg/L)	0,2 ^d	1,0 ^t	0,01 ^t	0,05 ^t	0,013 ^d	5,0 ^d	0,5 ^t	0,025 ^t	NI	5,0 ^t	0,033 ^t

NI= não informado; d=metais dissolvidos; t=metais total

SEDIMENTOS

O alumínio é o principal elemento da crosta terrestre, sendo o elemento metálico mais abundante da mesma (Tabela 6). A sua concentração média na crosta terrestre é de cerca de 8% (em peso) da crosta terrestre. Já o ferro compõem cerca de 3,5 % (em peso) da crosta terrestre.

A mobilidade do ferro é muito baixa sob condições de oxidação e baixa em ambiente ácido, neutro a alcalino e redutor. Logo, maior tendência desse metal ficar adsorvido a partículas de solo/sedimento, ou ainda no material particulado da água. As principais barreiras geoquímicas deste elemento são a oxidação; o aumento de pH; a precipitação sob a forma de óxidos, hidróxidos ou oxihidróxidos de ferro, co-precipitando muitos outros metais (Reimann & Caritat, 1998).

Elementos como Al, Fe, Mn, Ti, V e Ba não possuem valores guias que balizem possíveis discussões a respeito de contaminação de sedimentos. Al e Fe, devido a sua grande concentração na crosta, os demais, por não existir, ainda, estudos que indiquem quais os efeitos maléficos aos organismos, em caso de contaminação. No Brasil, apesar da vasta extensão e diferentes formações geológica e pedológicas existe apenas a legislação CONAMA 454/2012 que apresenta valores guias dos metais em sedimentos, em casos de dragagem (Tabela 7). Ressalta-se que essa legislação foi construída com base em valores guias canadenses.

Com base na Tabela 7, os metais que estão em concentrações além dos limites estabelecidos pelo CONAMA 454/2012, são: Cr nos pontos 3, 7, 11, 12, 13 e 14; Cu no ponto 11; Ni no ponto 11; Zn nos pontos 7, 11 e 14; e Pb nos pontos 7 e 14.

O CONAMA 454/2012 não apresenta concentrações limites para Al, Ba, Fe, Mn, Ti e V. O Fe e o Al como são elementos maiores, ou seja, compõem grande parte do solo, são quantificados em porcentagem por peso do solo.

Tabela 6. Média das concentrações de metais em sedimentos dos 14 pontos amostrais. (*) Ponto com contato direto do rejeito. Algarismos em negrito indicam maiores concentrações.

Ponto	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
1	0,33% ± 0,17 %	11,27 ± 6,51	2,36 ± 1,35	0,38 ± 0,16	0,16% ± 0,08%	7,94 ± 4,15	2,57 ± 1,62	2,87 ± 1,17	166,27 ± 64,66	8,14 ± 3,84	4,49 ± 2,40
2*	0,05% ± 0,00 %	8,98 ± 1,49	6,97 ± 0,76	1,05 ± 0,10	0,48% ± 0,04%	95,22 ± 11,71	2,29 ± 0,23	2,99 ± 0,33	34,60 ± 0,70	4,35 ± 0,69	8,03 ± 1,56
3	0,83% ± 0,35%	7,23 ± 0,70	52,43 ± 19,68	10,50 ± 3,20	0,70% ± 0,70%	47,19 ± 16,01	3,55 ± 1,19	9,02 ± 1,80	277,76 ± 110,04	44,52 ± 11,05	15,58 ± 1,64
4*	0,17% ± 0,02%	20,41 ± 2,41	19,75 ± 2,42	4,87 ± 1,61	12,83% ± 1,59%	517,88 ± 145,38	3,61 ± 0,46	19,78 ± 3,05	65,68 ± 8,11	8,69 ± 1,15	23,03 ± 3,40
5*	0,22% ± 0,02%	26,12 ± 1,92	22,62 ± 8,76	3,97 ± 2,17	1,36% ± 0,31%	84,57 ± 3,48	3,11 ± 0,20	5,73 ± 0,53	228,92 ± 16,48	11,27 ± 0,01	15,26 ± 1,95
6	0,62% ± 0,00%	27,65 ± 0,67	36,53 ± 1,13	7,98 ± 0,11	21,93% ± 1,26%	1461,36 ± 67,67	10,27 ± 0,43	30,52 ± 1,64	160,23 ± 2,51	23,31 ± 0,49	34,06 ± 0,83
7*	2,04% ± 0,17%	43,09 ± 17,61	100,70 ± 2,29	13,12 ± 1,68	21,25% ± 0,39%	1805,40 ± 995,92	12,69 ± 1,48	36,24 ± 1,70	175,25 ± 32,19	31,03 ± 0,89	35,06 ± 2,35
8*	0,34% ± 0,05%	25,17 ± 0,1,43	23,64 ± 0,60	3,09 ± 0,25	22,74% ± 1,47%	502,15 ± 12,51	4,75 ± 0,25	30,69 ± 2,43	112,90 ± 12,33	12,55 ± 0,87	32,77 ± 0,55
9*	0,15% ± 0%	13,63 ± 0	15,47 ± 0	2,01 ± 0	8,14% ± 0%	276,38 ± 0	3,19 ± 0	14,08 ± 0	60,40 ± 0	6,21 ± 0	14,81 ± 0
10	1,27% ± 0,10%	57,37 ± 1,80	49,26 ± 1,75	8,00 ± 0,26	3,77% ± 0,40%	145,49 ± 11,97	4,84 ± 0,16	30,32 ± 2,86	800,59 ± 45,01	75,86 ± 6,38	27,76 ± 2,02
11	5,90% ± 0,47%	23,89 ± 0,08	627,98 ± 48,83	54,84 ± 0,41	9,03% ± 0,72%	235,95 ± 3,49	113,89 ± 1,39	27,94 ± 0,51	1121,73 ± 13,51	147,00 ± 0,11	56,04 ± 0,64
12	0,72% ± 0,30%	13,48 ± 3,17	110,84 ± 28,57	10,00 ± 2,37	1,50% ± 0,49%	45,66 ± 10,62	12,25 ± 3,03	7,54 ± 1,27	126,00 ± 32,64	25,87 ± 6,46	14,16 ± 3,75
13	3,06% ± 0,56%	59,62 ± 6,61	105,15 ± 3,11	8,13 ± 0,02	5,24% ± 0,48%	252,25 ± 8,16	9,85 ± 0,44	24,48 ± 0,51	244,21 ± 40,42	57,47 ± 0,29	31,77 ± 2,01
14*	4,00% ± 0%	126,26 ± 0	126,19 ± 0	34,96 ± 0	9,34% ± 0%	921,04 ± 0	35,77 ± 0	42,26 ± 0	1209,80 ± 0	101,74 ± 0	83,62 ± 0

Algarismos em negrito indicam maiores concentrações

Tabela 7. Concentração média permitida de metais em sedimentos de acordo com o CONAMA 454/2012.

	Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn	Pb
CONAMA											
454/2012 (mg/Kg)	NI	NI	0,6- 3,5	37,3 - 90	35,7 - 197	NI	NI	18 - 35,9	NI	123 - 315	35 - 91,3

NI= Não informado; Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota; b. Nível 2 - limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

A fração silto-argilosa de sedimentos superficiais, dada a sua composição química e mineralógica e sua superfície específica, é a fração que contém os principais carreadores geoquímicos tanto de origem natural, quanto de origem antrópica e, conseqüentemente, apresenta as maiores concentrações de metais (Forstner, 1990). Sendo assim, ambientes com sedimentos argilosos ficam mais vulneráveis a permanência dos metais no ambiente e, por conseguinte, uma vez que persistem nesse ambiente, aumenta também a disponibilidade desses metais para os organismos. Os sedimentos se tornam um reservatório de metais para o meio aquático e para os organismos. Essa pode ser a justificativa para os maiores teores, da maioria dos metais em sedimentos, nos pontos 6, 7 e 11. Porém, as análises granulométricas devem ser realizadas para confirmar essa afirmação.

6.2.2 Concentração de metais em girinos

Na tabela 7, estão representados a média das concentrações de metais em girinos para cada ponto amostrado, juntamente com seu desvio padrão. De modo geral, as concentrações de metais nos girinos foram altas em todos os pontos. Esse resultado indica que os pontos por onde o rejeito não passou também apresentaram girinos contaminados. Isso pode ser explicado pela contaminação através do lençol freático. Após um pouco mais de um ano, quando foram feitas as coletas deste trabalho, a contaminação pode ter expandido além dos limites da lama. Destaca-se também que trata-se de uma área de mineração de muitos anos. A mineração na área data do século XVII, com extração de ouro. Portanto, a contaminação pode estar ocorrendo há anos através do lençol freático. Essa é a primeira vez que são realizados testes em girinos para a região.

Embora existam locais, como o Quadrilátero Ferrífero, onde as ocorrências geológicas naturais contribuam para um valor alto de “background” geoquímico para determinados elementos como o Ferro, o enriquecimento destes nos corpos d’água, sedimentos e conseqüentemente na biota, são claramente potencializados pelas atividades antrópicas, dentre elas, a mineração.

Atividades essas que iniciam-se na fase de desenvolvimento da mina e permanecem até o seu fechamento.

Os metais Pb e V não foram detectados em nenhum dos pontos analisados. Entretanto, isso não significa que estes elementos não estejam presentes nas amostras. O mais provável é que suas concentrações estão abaixo do limite de detecção do aparelho.

A literatura não apresenta valores limites de metais em girinos que possam ser usados para comparar com os valores encontrados neste trabalho, logo esta discussão será baseada na diferença das concentrações entre os pontos analisados.

Os pontos de coleta 1, 2 e 3 apresentaram valores de Cd, Cu e Ni abaixo dos valores detectáveis pelo equipamento utilizado. No ponto de coleta 10 também não foi detectável concentrações de Cd.

As menores concentrações de Al, Fe, Mn, Zn, Ti foram observadas no ponto 1 (150,32; 344,03; 20,32; 26,83; e 8,93 mg/Kg⁻¹, respectivamente). As maiores concentrações de Al, Ba, Cd, Cu, Ti foram observadas no ponto 5 (3.308,76; 77,80; 4,17; 23,25; 150,21 mg/Kg⁻¹). Já o ponto 6 foi destaque nas maiores concentrações de Fe, Mn e Zn (4.6735,02; 821,87; 117,71 mg/Kg⁻¹).

Tabela 8. Concentração de metais nos girinos, dos 14 pontos amostrais. (*) Ponto com contato direto do rejeito.

Ponto	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn
1	150,32 ± 77,33	23,30 ± 9,67	15,02 ± 8,91	<0.004	344,03 ± 173,60	20,32 ± 10,33	<0.004	8,93 ± 5,94	26,83 ± 15,29
2*	683,48 ± 143,15	49,85 ± 7,91	34,12 ± 29,08	<0.004	4824,83 ± 1091,79	637,57 ± 128,54	8,21 ± 2,57	41,55 ± 8,88	29,63 ± 5,12
3	711,93 ± 379,30	20,30 ± 13,50	97,01 ± 72,36	<0.004	4174,64 ± 1867,36	28,81 ± 14,06	37,57 ± 37,02	16,16 ± 8,55	32,39 ± 25,19
4*	1606,32 ± 994,72	64,61 ± 8,94	12,24 ± 19,45	3,70 ± 1,13	35713,79 ± 19295,17	156,00 ± 98,20	5,57 ± 12,17	38,95 ± 34,88	33,21 ± 9,20
5*	3308,76 ± 676,55	77,80 ± 27,68	173,32 ± 93,96	23,25 ± 14,35	34571,87 ± 7686,12	338,59 ± 41,31	54,56 ± 28,42	150,21 ± 15,47	98,08 ± 47,08
6	1842,28 ± 910,10	63,00 ± 13,02	164,51 ± 140,84	10,03 ± 2,40	46735,02 ± 19689,85	821,87 ± 339,51	46,56 ± 35,55	47,98 ± 19,03	117,71 ± 175,09
7*	407,10 ± 283,52	27,03 ± 12,71	8,12 ± 5,39	7,84 ± 13,97	20616,02 ± 20579,50	88,85 ± 54,83	3,66 ± 2,22	18,33 ± 9,02	31,51 ± 15,32
8*	1160,55 ± 337,15	21,43 ± 2,24	12,65 ± 5,36	3,48 ± 0,74	40501,70 ± 13779,89	237,05 ± 49,80	3,81 ± 1,13	35,37 ± 8,10	46,61 ± 18,54
9*	810,78 ± 397,19	17,71 ± 5,90	12,30 ± 3,96	2,99 ± 0,95	10636,44 ± 5062,42	73,15 ± 28,75	5,18 ± 1,27	37,46 ± 17,36	33,34 ± 13,00
10	517,88 ± 290,55	25,82 ± 5,67	7,94 ± 3,57	3,27 ± 0,85	1937,06 ± 1443,81	81,32 ± 38,46	1,42 ± 1,10	18,13 ± 10,85	39,44 ± 18,24
11	1058,72 ± 427,49	16,87 ± 6,53	49,91 ± 77,16	4,38 ± 3,45	3369,76 ± 1292,64	103,45 ± 55,61	30,02 ± 42,38	13,42 ± 6,73	27,07 ± 15,48
12	1315,82 ± 199,07	14,70 ± 6,42	44,99 ± 33,21	7,03 ± 4,06	2390,41 ± 513,18	36,57 ± 17,80	12,53 ± 9,89	30,18 ± 5,00	34,61 ± 10,74
13	1123,52 ± 410,61	27,44 ± 12,33	476,24 ± 800,17	13,20 ± 7,89	6828,88 ± 4102,50	126,99 ± 53,44	121,91 ± 197,36	43,96 ± 19,08	53,39 ± 20,60
14*	444,27 ± 251,26	39,28 ± 29,89	37,56 ± 68,09	4,50 ± 1,64	2519,99 ± 1566,94	104,09 ± 54,36	14,04 ± 24,26	26,19 ± 10,42	57,36 ± 52,08

6.2.3 Fator de Bioconcentração

O fator de bioconcentração (FBC) é o resultado da absorção direta de um produto químico por um organismo em relação aos compartimentos nos quais estão inseridos (RAND ET AL, 1995). Através dessa avaliação é possível inferir o potencial dos contaminantes químicos, de bioacumular (BEEK, 2000). É calculado a partir da concentração da substância no organismo dividida pela concentração do produto químico no meio circundante no estado estacionário.

De acordo com os padrões estabelecidos pela União Europeia, $FBC > 1$ (BEEK, 2000; ARNOT 2006; GOBAS, 2006), é característico de compostos químicos bioacumuladores que se classificam como perigosos para o ambiente.

Não foi calculado o fator de bioconcentração para Cd e Vn devido aos valores de concentração na água ter ficado abaixo do limite de detecção do equipamento.

Todos os valores encontrados em relação à água foram superiores a 1 (Tabela 9), isso quer dizer que quanto maior a concentração de metais na solução (água) maior a quantidade de metal bioconcentrados nos tecidos dos girinos.

Nos ecossistemas aquáticos, os metais e outros compostos tendem a acumular no sedimento (SHRIVASTAVA ET AL. 2003) e, dependendo das condições ambientais, podem começar a ser liberados na coluna d'água tornando-se biodisponíveis. Nestas condições podem afetar a biota, sendo incorporados ao longo da cadeia alimentar e conseqüentemente podendo causar danos também à saúde humana (KHAN et al., 2005).

No caso dos girinos, o uso como bioindicadores ainda é restrito a estudos ecológicos. A maior preocupação dos estudos de contaminação ambiental é com organismos bioindicadores que fazem parte da alimentação humana, como peixes, moluscos e crustáceos. Porém, esse estudo demonstra o alto

potencial bioacumulador destes organismos, em relação à água e a tendência desses metais alcançarem outros organismos na cadeia alimentar.

Já o cálculo do fator de bioconcentração do metal no girino em relação a ao metal no sedimento apresentam, na grande maioria, valores abaixo de 1. Isso pode ser explicado porque em geral, quando liberados no corpo hídrico os metais primeiramente são adsorvidos por partículas orgânicas ou inorgânicas e rapidamente são incorporados ao sedimento pelo processo de sedimentação, resultando em níveis mais elevados de metais neste compartimento (BOTTÉ et al., 2007).

Girinos têm um período de tempo restrito no ambiente aquático (estima-se em torno de 30 dias até o final da metamorfose). Assim, a partir do fator bioconcentração encontrado, comprova-se a relevância desta contaminação para estes organismo aquáticos.

O cálculo do fator de bioconcentração demonstrou o alto potencial bioacumulador dos girinos. Diante da importância desse grupo na cadeia alimentar, os resultados deste estudo sugerem o comprometimento de uma parcela significativa da comunidade faunística silvestre da região.

Tabela 9. Fator de Bioconcentração entre concentrações de metais em girinos e na água dos 14 pontos amostrais onde foram coletados. (*) Ponto com contato direto do rejeito.

Ponto	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn
1	2,08 ± 1,07	0,79 ± 0,33	1,92 ± 1,14		0,55 ± 0,28	3,13 ± 1,59		16,86 ± 11,22	6,12 ± 3,49
2*	44,55 ± 9,33	5,40 ± 0,86	7,99 ± 6,81		98,72 ± 22,34	4,90 ± 0,99	1,56 ± 0,75	230,84 ± 49,36	11,90 ± 2,06
3	51,18 ± 47,86	13,01 ± 10,35	82,91 ± 90,57	15,79 ± 6,48	31,33 ± 24,88	4,02 ± 3,27	121,20 ± 104,33	101,03 ± 93,45	15,87 ± 11,48
4*	140,90 ± 125,69	21,53 ± 6,38	10,55 ± 13,81	7,52 ± 8,84	1777,69 ± 1511,62	37,86 ± 32,14	9,28 ± 21,38	330,49 ± 391,62	23,72 ± 19,88
5*	117,79 ± 24,09	11,96 ± 4,23	101,95 ± 55,27	83,04 ± 51,26	87,24 ± 19,40	4,79 ± 0,59	139,92 ± 72,89	214,59 ± 22,10	29,90 ± 14,36
6	250,65 ± 123,82	40,64 ± 8,40	92,42 ± 79,13	3,63 ± 0,87	2401,59 ± 1011,81	85,43 ± 35,29	116,42 ± 88,88	266,58 ± 105,74	35,78 ± 53,22
7*	44,20 ± 30,78	7,55 ± 3,55	5,07 ± 3,37	12,83 ± 26,77	1045,96 ± 1044,11	9,87 ± 6,09	6,57 ± 8,22	110,80 ± 76,66	6,82 ± 3,31
8*	80,76 ± 11,53	5,21 ± 1,45	7,15 ± 1,86	9,17 ± 3,67	954,77 ± 144,47	17,32 ± 3,21	14,14 ± 6,56	136,04 ± 46,94	12,70 ± 2,71
9*	23,54 ± 11,53	4,35 ± 1,45	5,77 ± 1,86	3,71 ± 3,67	303,55 ± 144,47	8,19 ± 3,21	6,88 ± 6,56	101,26 ± 46,94	6,96 ± 2,71
10	34,52 ± 19,37	7,11 ± 1,56	2,76 ± 1,24	8,40 ± 2,18	22,15 ± 18,21	10,22 ± 4,99	2,63 ± 2,04	43,08 ± 28,84	8,74 ± 4,04
11	79,66 ± 32,16	6,61 ± 2,56	7,77 ± 12,01	12,52 ± 9,87	35,93 ± 13,78	12,46 ± 6,70	33,36 ± 47,09	58,39 ± 29,27	6,70 ± 3,83
12	129,12 ± 127,30	5,95 ± 3,10	45,91 ± 36,02	19,01 ± 13,86	24,98 ± 19,05	5,47 ± 2,98	33,88 ± 29,05	150,90 ± 132,70	6,49 ± 2,94
13	109,71 ± 40,09	10,35 ± 4,65	188,23 ± 316,27	0,52 ± 0,31	107,15 ± 64,37	14,99 ± 6,30	9,19 ± 14,88	115,69 ± 50,22	1,56 ± 0,60
14*	34,01 ± 19,23	7,13 ± 5,42	21,22 ± 38,47	3,28 ± 1,20	17,82 ± 11,08	4,11 ± 2,14	23,02 ± 39,77	109,15 ± 43,44	8,54 ± 7,76

Tabela 10. Fator de bioconcentração entre concentrações de metais em girinos e sedimento dos 14 pontos amostrais onde foram coletados.

Ponto	Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn
1	0,04 ± 0,02	2,06 ± 0,85	6,36 ± 3,77		0,20 ± 0,10	2,55 ± 1,30		0,05 ± 0,03	5,97 ± 3,40
2*	1,30 ± 0,27	5,55 ± 0,88	4,89 ± 4,17		0,99 ± 0,22	6,69 ± 1,34	3,58 ± 1,12	1,20 ± 0,25	3,69 ± 0,63
3	0,02 ± 0,01	1,29 ± 0,39	1,50 ± 2,35	0,40 ± 0,16	0,09 ± 0,03	0,24 ± 0,08	6,96 ± 6,19	0,01 ± 0,00	1,18 ± 0,25
4*	0,80 ± 0,21	1,79 ± 0,66	6,27 ± 3,66		0,06 ± 0,01	0,10 ± 0,02	15,74 ± 10,25	0,49 ± 0,13	2,31 ± 1,09
5*	0,70 ± 0,62	2,47 ± 0,73	0,54 ± 0,70	0,93 ± 1,03	2,61 ± 2,22	1,84 ± 1,56	1,79 ± 2,78	0,15 ± 0,18	2,17 ± 1,82
6	0,53 ± 0,10	2,81 ± 1,00	4,74 ± 2,57	2,91 ± 1,79	0,15 ± 0,03	0,23 ± 0,02	5,31 ± 2,76	0,93 ± 0,09	2,87 ± 1,38
7*	0,09 ± 0,04	1,46 ± 0,30	1,63 ± 1,39	0,76 ± 0,18	0,21 ± 0,09	0,45 ± 0,18	3,66 ± 2,80	0,27 ± 0,10	3,35 ± 4,99
8*	0,11 ± 0,08	1,07 ± 0,50	0,34 ± 0,22	2,53 ± 4,52	0,09 ± 0,09	0,17 ± 0,10	0,77 ± 0,46	0,16 ± 0,07	0,96 ± 0,46
9*	0,76 ± 0,22	1,57 ± 0,16	0,81 ± 0,34	1,73 ± 0,37	0,49 ± 0,16	0,85 ± 0,18	1,19 ± 0,35	0,58 ± 0,13	3,14 ± 1,25
10	0,06 ± 0,03	0,30 ± 0,10	0,24 ± 0,08	0,37 ± 0,11	0,28 ± 0,13	0,50 ± 0,19	1,07 ± 0,26	0,04 ± 0,02	1,20 ± 0,46
11	0,00 ± 0,00	1,08 ± 0,23	0,01 ± 0,00	0,05 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,34 ± 0,16	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,70 ± 0,32
12	0,14 ± 0,05	1,25 ± 0,48	0,45 ± 0,69	0,43 ± 0,34	0,22 ± 0,08	2,26 ± 1,21	2,45 ± 3,45	0,10 ± 0,05	1,91 ± 1,09
13	0,04 ± 0,04	0,24 ± 0,12	0,42 ± 0,33	0,86 ± 0,63	0,04 ± 0,03	0,14 ± 0,07	1,27 ± 1,09	0,12 ± 0,10	1,08 ± 0,49
14*	0,02 ± 0,01	0,21 ± 0,09	3,77 ± 6,34	0,37 ± 0,22	0,07 ± 0,04	0,13 ± 0,05	3,40 ± 5,51	0,03 ± 0,01	0,63 ± 0,24

(*) Ponto com contato direto do rejeito.

7.0 Próximos Passos

A continuidade da análise dos dados, juntamente com os testes estatísticos permitirão diagnosticar os ambientes cujos girinos tiveram um maior grau de contaminação, e assim contribuir, juntamente com outros estudos, para a aplicação de políticas públicas a favor da recuperação de áreas degradadas pelo rompimento da barragem.

A análise de material de crustáceos coletados que poderá abrir novas discussões sobre a contaminação de metais ao longo do Rio Doce.

Conclusão de uma dissertação de mestrado sobre o tema. Nesta dissertação, haverá uma análise mais minuciosa dos dados, considerando-se cada espécie coletada quanto aos seus hábitos de forrageio, hábitos da reprodução, etc. Espera-se indicar espécies mais sensíveis, espécies que mais bioacumulam determinados metais, entre outros.

Produção de artigos científicos e artigos de divulgação. Produtos de divulgação esperamos começar a divulgar no site do GIAIA e outros que a coordenação do Greenpeace achar conveniente. Todos os artigos científicos publicados serão enviados para essa coordenação.

Principais referências bibliográficas

ARNOT, J. A.; GOBAS, F. 2006. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. n. December: 257 – 297.

BAIRD, C. 2002. Química Ambiental. Trad. A.M.L.Receio e L.C.M. Carrera, 2ª ed.Porto Alegre: Bookman.

BEEK B (ed). 2000. Bioaccumulation: new aspects and developments. Handbook of Environmental Chemistry. vol 2. Springer, Berlin Heidelberg New York.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2005. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre uma nova classificação para as águas doces, bem como

para as águas salobras e salinas do território nacional. Brasília.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). 2012. Resolução n. 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser degradado em águas sob jurisdição nacional. Brasília.

DEGARADY, C. J. & HOLBROOK, R. S. 2006. Using Anurans as Bioindicators of PCB Contaminated Streams. *Journal of Herpetology*, 40: 127-130.

DUELLMAN, W. E. & TRUEB, L. 1986. *Biology of Amphibian*. Mc Graw-Hill, New York, 670 pp.

GIAIA – Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental 2016. Relatório parcial expedição Rio Doce. http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2015/12/Resultados-11_12-Agua-GIAIA.pdf Acesso em 21/03/2016.

GOSNER, K. L. (1960). A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16, 183–190, 1960.

KARAN, V.; VITOROVIC, S.; TUTUNDZIC, V. & POLEKSIC, V. 1998. Functional enzymes activity and gill histology of carp after copper sulfate exposure and recovery. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 40: 49-55.

KELEPERTZIS, E., ARGYRAKI, A., VALAKOS, E., DAFTSIS, E. (2012). Distribution and Accumulation of Metals in Tadpoles Inhabiting the Metalliferous Streams of Eastern Chalkidiki, Northeast Greece. *Arch Environ Contam Toxicol*, 63, 409–420.

LAM, P. K. S. & GRAY, J. S. 2003. The use of biomarkers in environmental monitoring programmes. *Marine Pollution Bulletin*, 46:182-186.

MCGEER, J.C.; SZEBEDINSZKY, C.; MCDONALD, D.G. & WOOD, C.M. 2000 Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout. 1: Ionoregulatory disturbance and metabolic costs. *Aquatic Toxicology*, 50: 231-243.

REIMANN C, DE CARITAT P. 1998. *Chemical elements in the environment— factsheets for the geochemist and environmental scientist*. Berlin, Germany7 Springer-Verlag; ISBN 3-540-63670-6.

dos SANTOS, A. C. A; ARRUDA, E. P. & BOTTINO, F. 2016. Análises realizadas in situ – Análises físico-químicas do Rio Doce e afluentes sob influência dos Rejeitos provenientes no Rompimento da Barragem de Fundão da Empresa Samarco. http://giaia.eco.br/wp-content/uploads/2015/12/Relatorio_v2.pdf Acesso em 21/03/2016.

WANDERLEY, L. J.; MANSUR, M. S.; MILANEZ, B.; PINTO, R. G. 2016. Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: Aspectos econômicos, políticos e Socioambientais. *Ciência e Cultura* 68: 30-35