

LIÉVIN FAUSTINO VIRGINIO

**O USO DE HYMENOPTERA COMO BIOINDICADORES DE METAIS  
PESADOS NO MUNICÍPIO DE RIO DOCE/MG APÓS O ROMPIMENTO DA  
BARRAGEM DO FUNDÃO - SAMARCO**

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

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017**

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

T

Virginio, Liêvin Faustino, 1984-  
V817u O uso de Hymenoptera como bioindicadores de metais  
2017 pesados no município de Rio Doce/MG após o rompimento da  
Barragem do Fundão - Samarco / Liêvin Faustino Virginio. –  
Viçosa, MG, 2017.  
vii, 26f.: il. (algumas color.).

Orientador: José Eduardo Serrão.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Biologia Geral, 2017.  
Referências bibliográficas: f.21-26.

1. Hymenoptera. 2. Vespas. 3. Formigas. 4. Indicadores  
biológicos. 5. Metais pesados. 6. Microscopia eletrônica.  
7. Espectroscopia de raio X. I. Serrão, José Eduardo, 1965-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia  
Geral. Programa de Pós-graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22 ed. 595.79

LIÉVIN FAUSTINO VIRGINIO

**O USO DE HYMENOPTERA COMO BIOINDICADORES DE METAIS  
PESADOS NO MUNICÍPIO DE RIO DOCE/MG APÓS O ROMPIMENTO DA  
BARRAGEM DO FUNDÃO - SAMARCO**

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

APROVADA: 17 de julho de 2017

---

Dihego de Oliveira Azevedo

---

Aparecida das Dores Teixeira

---

José Eduardo Serrão  
(Orientador)

*Para minha esposa Alinne e minha filha Lis. Dedico tudo o que fiz,  
tudo que tenho e tudo que sou, a elas.*

## **Agradecimentos**

Ao Professor Ricardo Andreazze pelo incentivo, apoio, recomendação e iluminação no caminho da ciência dos insetos. Um exemplo de pai, educador e profissional que sempre terá um lugar em minhas memórias.

Às primeiras pessoas que apoiaram a aprovação no mestrado, em especial as figuras de Robinho e Kátia e o Grupo “futebol gourmet”. Seu apoio foi crucial para encarar uma jornada de 1.800km de distância entre Natal e Viçosa.

Aos meus familiares paternos que me incentivaram com mensagens, abraços, lágrimas, notebook e auxílio financeiro. Sem esse apoio inicial minha vinda a Viçosa teria sido mais difícil. Agradeço também aos meus familiares maternos, pois vocês foram vocês mesmos e nunca souberam dar atenção aos membros da família que estavam crescendo. Cobrar era com vocês, mas o apoio deixou a desejar. Os seus olhos sempre estiveram voltados para o lado dos que tinham o caminho mais fácil. A sua visão seletiva será recompensada com abandonos em um futuro próximo.

Agradeço a minha mãe e meus irmãos por sermos estranhos uns com os outros. Estando próximos, somos distantes. Se estamos distantes, somos próximos. É essa esquisitice que ainda nos faz ser uma família.

A dupla dinâmica UFV e o PPG Entomologia por me trazer a esperança de vida nova logo quando minha antiga vida estava me preocupando. Ao final desses 2 anos ela ainda preocupa, mas não como antes.

Ao CNPq pela bolsa e oportunidade de ter financiado esses 2 anos voltados a ciência. Sem esse apoio não haveria um potiguar em Minas e os metais pesados nos insetos do Rio Doce ficariam ocultos por mais tempo.

Um agradecimento aos integrantes do Laboratório de Neurofisiologia de Insetos, em especial ao casal Eugênio e Cláudia. Seu companheirismo nas horas mais complicadas aliviaram a estadia da minha família em Viçosa. Sem esquecer dos churrascos e resenhas, eventos essenciais para a vida social-acadêmica.

Ao meu orientador José Eduardo Serrão por ter me acompanhado no meu projeto e por ter me adotado em um período bem turbulento. José Luis Monteiro por toda ajuda nas coletas e por todas as conversas em “mineirês” regadas a um açúcarado e único café. Aos colegas do Laboratório de Ultraestrutura Celular por terem me aturado por tanto tempo e por serem o alívio cômico e social que todo pós-graduando deveria ter.

Aos amigos do Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV, em especial a Gilmar, o grande amante das praias nordestinas. Mesmo com toda a dificuldade com os constantes problemas no Microscópio Eletrônico de Varredura pude contar com sua calma, paciência e boa vontade para me ensinar a manusear um equipamento sensacional.

Aos meus sogros Rogério e Mimita por toda a infraestrutura, vinda inicial e visitas. Se hoje sou mestre em entomologia, mesmo sem gostarem de insetos, é graças a vocês. Muito obrigado pelo apoio e torçamos para um futuro melhor.

A todos os amigos das redes sociais que interagiram comigo durante esse tempo de mestrado. Vocês foram cruciais no combate ao stress e me fizeram praticar uma escrita terapêutica. Especialmente Williame, Leandro e François.

## SUMÁRIO

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| RESUMO.....                     | vi  |
| ABSTRACT.....                   | vii |
| INTRODUÇÃO.....                 | 1   |
| OBJETIVO.....                   | 6   |
| MATERIAL E MÉTODOS.....         | 7   |
| RESULTADOS.....                 | 12  |
| DISCUSSÃO.....                  | 18  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 21  |

## RESUMO

VIRGINIO, Liêvin Faustino, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **O uso de Hymenoptera como bioindicadores de metais pesados no município de Rio Doce/MG após o rompimento da Barragem do Fundão - Samarco.** Orientador: José Eduardo Serrão.

Invertebrados são amplamente utilizados como modelos de biomonitoramento ambiental. A Ordem Hymenoptera compreende uma grande ordem de insetos incluindo vespas, abelhas e formigas que apresentam diferenciada capacidade de se adaptarem a diferentes habitats: solo, vegetação, ar e água. Estes insetos podem ser caracterizados como excelentes bioindicadores de poluição. Este estudo teve como objetivo identificar e quantificar os metais pesados presentes em cutículas de formigas *Camponotus* e vespas *Polybia*, coletados em área impactada pelo rompimento da Barragem do Fundão – SAMARCO. A partir de Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Raio-X por Dispersão de Energia (EDXS) foram identificados traços de metais pesados presentes nos insetos modelos. Elementos como cádmio (Cd), bário (Ba), chumbo (Pb) e paládio (Pd) tiveram diferença significativa entre a área impactada e área controle, mas apenas o alumínio (Al) apresentou valor acima de 50%. A partir do conhecimento sobre as características minerais do solo da área de coleta pode ser sugerido que o alumínio, encontrado nos insetos modelo, esteja em sua forma de hidróxido de alumínio (Gibbsita). Apesar de todo o impacto ambiental, causado pelo rompimento da Barragem do Fundão, a utilização de Hymenopteros como bioindicadores não caracterizou contaminação na área.

## ABSTRACT

VIRGINIO, Liêvin Faustino, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Identification of heavy metals in Hymenoptera affected by the Fundão-Samarco dam brake in Rio Doce/MG.** Adviser: José Eduardo Serrão.

Invertebrates are have been used as environmental biomonitoring models. The hymenopterans stand out by the social insects and because they can easily inhabit the soil, vegetation, air and water are excellent bioindicators of pollution. The objective of this study was to identify and quantify the heavy metals present in the body surface of ant and wasp, collected in an area impacted by the rupture of the Fundão Dam - SAMARCO. Scanning Electron Microscopy and Energy Scattering X-ray Spectroscopy (EDXS) was used to identify traces of heavy metals present in model insects. However, only aluminum (Al) presented a value above 50%. In the case of aluminum (Al), it had a significant difference between the impacted area and the control area (Cd), barium (Ba), lead (Pb) and palladium (Pd). Knowing the mineral soil characteristic of the collection area it is suggested that aluminum is its aluminum hydroxide (Gibbsite) form. Despite the environmental impact caused by the dam, the use of Hymenoptera as bioindicators did not characterize contamination in the area.

## INTRODUÇÃO

Metais pesados são encontrados na natureza, mas algumas atividades humanas contribuem para o aumento de suas concentrações no ecossistema. O termo metal pesado é utilizado para caracterizar um grande grupo de elementos com densidade atômica  $> 5\text{g/cm}^3$  ou número atômico  $> 20$ . Em relação à toxicidade, os metais são classificados em três grupos distintos (Grossi, 1993; Oliveira, 2007). No primeiro grupo, destacam-se os metais considerados pouco tóxicos, que em sua maioria atuam como micronutrientes, porém, em concentrações elevadas apresentam toxicidade, como alumínio (Al), cobalto (Co), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), vanádio (V), zinco (Zn) e estanho (Sn). O segundo grupo é formado por metais que podem atuar como agentes cancerígenos, incluindo o arsênio (As), berílio (Be), cromo (Cr) e níquel (Ni). Terceiro grupo compreende os metais que apresentam um caráter tóxico significativo, e que não se enquadram nos grupos anteriores, como chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e tálio (Tl). Esses elementos causam alterações nas estruturas celulares e nas enzimas, competindo com os metais que atuam como co-fatores de algumas enzimas (Virga, 2007).

Os metais pesados podem influenciar diretamente no comportamento dos animais, alterando as funções neurológicas e mentais, contribuindo para o bloqueio da produção e da utilização de neurotransmissores, bem como alterando os processos metabólicos (Bharti, 2012). Ao contrário dos poluentes orgânicos, os metais pesados

não são degradados, persistindo no ambiente durante anos, mesmo depois de fontes pontuais de poluição serem removidas (Gall et al, 2015).

O crescente aumento do descarte de metais pesados no meio ambiente, ou mesmo o seu uso indevido na agricultura, as atividades industriais e a mineração, dentre outras, representam um importante problema ambiental com riscos muitas vezes desconhecidos (Oliveira, 2007). Uma das atividades mais comuns, em termos de contaminação, é o descarte de rejeitos de mineração em rios ou barragens mal estruturadas.

Os impactos das mineradoras sobre o meio ambiente causam alterações ambientais indesejáveis como redução de habitat natural, degradação e poluição. Muitas empresas vêm adotando medidas de recuperação ambiental como forma de cumprir com a responsabilidade social e a lei ambiental, apesar de ser conflitante com as leis que regulamentam a mineração (Nascimento, 2014). A região do Quadrilátero Ferrífero, no estado de Minas Gerais, é a maior fonte mineral do sudeste brasileiro, sendo responsável por uma produção de mais de 160 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (Filho, 2004).

No dia 05 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de mineração do Fundão, operada pela mineradora Samarco, se rompeu no Município de Mariana, Minas Gerais, causando o maior desastre ambiental ocorrido no Brasil relacionado à atividade minerária. Em poucos minutos, milhares de toneladas de lama alcançaram o distrito de Bento Rodrigues, destruindo completamente o local. O percurso da lama

continuou com intensidade, atingindo o Rio Doce e todos os municípios cortados por ele, entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Justiça Global, 2016).

A bacia hidrográfica do Rio Doce abrange 224 municípios, sendo 196 em Minas Gerais e 38 no Espírito Santo (Teixeira, 2002), e diversas unidades de conservação como Parques Nacionais, Estaduais e Municipais, Estações biológicas e Reservas Ecológicas. Entre os Parques Estaduais, o Parque Florestal Rio Doce é a maior área de Floresta Atlântica de Minas Gerais, e entre as Reservas Ecológicas está a Reserva Natural Vale, criada na década de 50 e uma das maiores áreas protegidas de Mata Atlântica do Brasil. Relatórios preliminares confirmaram elevadas concentrações de metais na lama, sendo eles: alumínio, ferro, manganês, chumbo, arsênio, selênio, cádmio, níquel e cobre. Essas substâncias causam danos à saúde humana, pioram a qualidade da água dos mananciais atingidos; destroem matas ciliares e pesqueiros essenciais à pesca artesanal; asfixiam espécies aquáticas e eliminam micro-organismos do fundo do rio; comprometem faixas de terras nas margens. A recuperação da biodiversidade pode levar décadas, o assoreamento pode ser irreversível em muitos trechos do leito do rio, assim como o processo de extinção de espécies típicas do rio pode ser irreversível (Costa, 2016).

No contexto ecológico a lama pode causar impacto ambiental considerável no solo, nas plantas e nos animais. A captação de metais pesados por plantas pode representar potenciais riscos para a cadeia

alimentar (Zhuang, 2008) particularmente com biomagnificação e bioacumulação. Invertebrados podem fornecer informações importantes na transferência desses metais de planta para carnívoros (Milton et al., 2003; Gasparik et al., 2004; Vandecasteele et al., 2004, em Zhuang, 2008), pois podem inadvertidamente ingerir metais contidos em solos e plantas ou, quando em contato direto com metais, podem absorvê-los através de seu exoesqueleto (Gall, 2015).

Atualmente, vários países estão desenvolvendo programas de monitoramento dos ambientes, utilizando bioindicadores. Vários organismos, em especial os invertebrados, têm sido utilizados como bioindicadores e são agrupados em três categorias principais: os indicadores ambientais; os indicadores ecológicos e os indicadores de biodiversidade (Oliveira, 2014).

Dentre os invertebrados os insetos destacam-se pelo papel que desempenham no ecossistema: a ciclagem de nutrientes, a decomposição, a produtividade secundária, a polinização, o fluxo de energia, a predação, a dispersão de sementes, a regulação das populações de plantas e de outros organismos (Oliveira, 2014). Insetos são bons modelos de estudo de toxicidade de metais pesados e são indicadores úteis de contaminação no ambiente. Sua morfologia permite a adesão de partículas poluentes via espiráculos do sistema traqueal, pelos que revestem o corpo e ingestão. Sendo herbívoros e geralmente atacado por outros vertebrados e artrópodes insetívoros, eles desempenham um

papel significativo na acumulação e transferência de metais pesados para níveis tróficos mais altos (Devkota, 1999).

Estudos de Azam (2015), com o uso de insetos como biomonitoramento em áreas de efluentes industriais, de escoamento agrícola e de resíduos domésticos no Paquistão, mostram que os metais pesados são persistentes e que não podem ser degradados pelo metabolismo do inseto e, portanto, são acumulados no nível trófico superior. De acordo com Heikens et al, (2000), a concentração de metais pesados em insetos varia não apenas pela capacidade de regulação, mas também pela morfologia, comportamento, hábito e preferência alimentar.

Estudos feitos ao longo das últimas décadas principalmente em países da Europa, têm demonstrando grande interesse na utilização de Hymenoptera, especialmente abelhas, para monitoramento da qualidade ambiental (Nascimento, 2014). Metais pesados presentes na atmosfera podem ser depositados diretamente sobre o corpo das abelhas ou podem alcançar o inseto pela ingestão do néctar, do pólen, ou da água durante o forrageio (Perugini, 2010). Urbini et al (2006), utilizando vespas como bioindicador, na cidade de Florença, Itália, mostraram a notável capacidade de biomonitoramento de poluição atmosférica que estes insetos. O uso desses animais como indicadores ambientais, para detecções físicas ou químicas, é bastante promissor, pois tais exemplares habitam facilmente o solo, vegetação, ar e água. Por serem, em sua maioria, insetos sociais, geram uma grande quantidade de material para amostragem e análise (Leita et al, 1996).

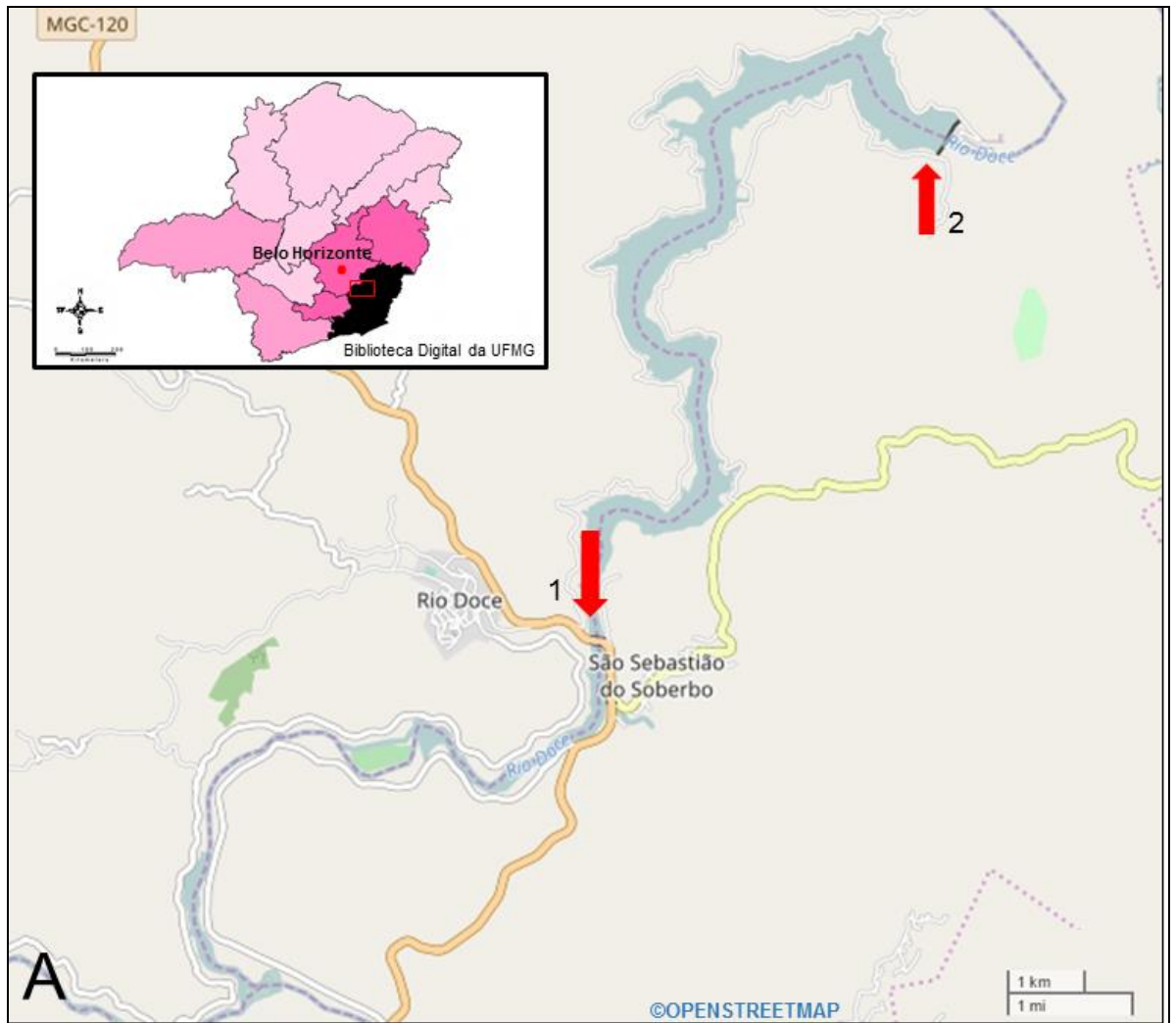
## **OBJETIVO**

Este estudo tem por objetivo identificar e quantificar os metais pesados presentes em cutículas de formigas *Camponotus sp.* e vespas *Polybia sp.*, coletados em área impactada pelo rompimento da Barragem do Fundão – SAMARCO.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

As coletas de espécimes de área impactada, pelo rompimento da barragem da Samarco, foram realizadas na cidade de Rio Doce/MG (-20.248025, -42.885650) no dia 15 de outubro de 2016. A cidade está localizada ao leste do Estado de Minas Gerais, numa região conhecida como Zona da Mata Mineira. Esta área de coleta foi escolhida por se tratar da região de represamento da enxurrada de lama proveniente do desastre. A Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, localizada entre os Municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, com suas comportas fechadas, resultou no represamento e acúmulo de rejeitos da barragem no Rio Doce na altura da Cidade de Rio Doce (Figura 1-A).



**Figura 1. (A)** Área de estudo. A1: ponto coleta, A2: Hidrelétrica Risoleta Neves; **(B)** Local de coleta na cidade de Rio Doce; **(C)** Local de coleta Reserva Ecológica Mata do Paraíso - UFV.

Adultos de vespas *Polybia sp* (Hymenoptera) e formigas *Camponotus sp* (Hymenoptera) foram coletados na área impactada (Figura 1A-B) por método de coleta manual com ajuda de pinças entomológicas e puçá. Os espécimes foram armazenados em frascos de vidro contendo solução fixadora de Zamboni (Stefanini, 1967). Um total de 12 indivíduos do gênero *Polybia* e 6 indivíduos do gênero *Camponotus* foram coletados, resultando em 18 amostras provenientes de área impactada.

Como grupo controle foram utilizados um total de 11 e 5 indivíduos adultos dos gêneros *Polybia* e *Camponotus*, respectivamente. Os indivíduos foram coletados na Reserva Florestal Mata do Paraíso (-20.797680, -42.853002) uma reserva que pertence a Universidade Federal de Viçosa – UFV (Figura 1-C).

### **Processamento do material**

Os insetos foram dissecados em placas de petri, em presença da solução fixadora de Zamboni. Após a dissecação os abdomens foram separados para as análises. A estrutura selecionada foi desidratada em série gradativa de etanol 70%, 80%, 90% e 99%, por 10 minutos e armazenadas em etanol 99%.

## **Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Raio-X por Dispersão de Energia (EDXS)**

A estruturas, previamente desidratadas em série crescente de etanol, foram transferidas para hexamethyldisilazane por 5 minutos, e secas em temperatura ambiente. A seguir as amostras foram coladas em suporte porta-amostras com auxílio de cola de carbono, recobertas com carbono em Evaporador de Carbono Quorum Q150 T e analisadas em microscópio eletrônico de varredura LEO VP 1430 acoplado com sonda de espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia (EDSX), configurada com Spot Size de 596, conferindo uma média de 5000 c/s para todas as amostras com magnificação de 250X, com área de 40.000  $\mu\text{m}^2$ , no Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa

### **Metais pesados**

Os metais pesados selecionados para serem quantificados e qualificados pela Sonda EDSX foram selecionados a partir de tabela (Tabela 1) do Relatório Técnico de Determinação de Metais na Bacia do Rio Doce (período: dezembro-2015 a abril-2016) do Grupo Independente para Avaliação de Impacto Ambiental (GIAIA, 2016).

## Análise Estatística

Os valores dos metais pesados encontrados nos insetos da área impactada e controle foram analisados por Análise de Variância (ANOVA), SAS v.9.0 para Windows. Diferenças individuais foram comparadas pelo Teste de Tukey (HSD) a 0.05.

| Metais              | Valor permitido<br>CONAMA 357/2005<br>(mg/L) | Limite de detecção<br>do método<br>(mg/L) | J4          |             |
|---------------------|--|---|-------------|-------------|
|                     |  |   | Expedição 1 | Expedição 2 |
| Alumínio dissolvido | 0,1  | 0,02                                      | <0,02       | <0,02       |
| Alumínio total      | -  | 0,02                                      | 6,53±2,69   | 1,67±0,01   |
| Antimônio total     | 0,005  | 0,001                                     | <0,001      | <0,001      |
| Arsênio total       | 0,01   | 0,002                                     | <0,002      | <0,002      |
| Bário total         | 0,7  | 0,002                                     | 0,07±0,01   | <0,002      |
| Cádmio total        | 0,001  | 0,0002                                    | 0,003±0,001 | <0,001      |
| Cálcio total        | -  | 0,02                                      | 0,75±0,04   | 2,97±0,01   |
| Chumbo total        | 0,01   | 0,01                                      | 0,013±0,004 | <0,01       |
| Cobalto total       | 0,05   | 0,001                                     | 0,004±0,001 | <0,001      |
| Crômio total        | 0,05   | 0,04                                      | 0,04±0,01   | <0,04       |
| Estanho total       | -  | 0,004                                     | <0,004      | <0,004      |
| Ferro dissolvido    | 0,3  | 0,01                                      | 0,103±0,001 | 0,015±0,002 |
| Ferro total         | -  | 0,01                                      | 31,10±12,37 | 7,66±0,72   |
| Lítio total         | 2,5  | 0,04                                      | <0,04       | <0,04       |
| Manganês total      | 0,1  | 0,002                                     | 2,19±0,65   | 0,236±0,002 |
| Níquel total        | 0,025  | 0,01                                      | 0,04±0,01   | <0,01       |
| Paládio total       | -  | 0,01                                      | <0,01       | <0,01       |
| Prata total         | 0,01   | 0,002                                     | <0,002      | <0,002      |
| Selênio total       | 0,01   | 0,01                                      | <0,01       | <0,01       |

**Tabela 1:** Relatório técnico de determinação de metais na Bacia do Rio Doce. O ponto J4 (jusante) representa o local de coleta de água, nas margens do Rio Doce, na cidade de Rio Doce/MG entre dezembro-2015 (expedição 1) e abril-2016 (expedição 2).

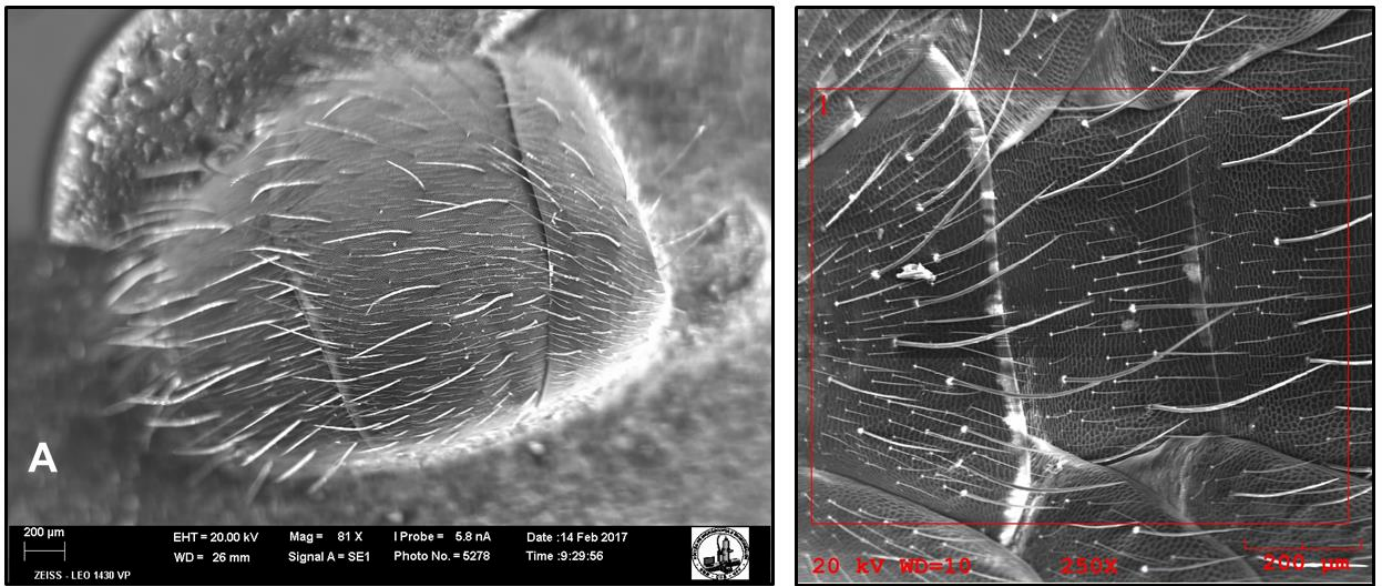
## RESULTADOS

Os resultados da investigação da abundância dos metais pesados na cutícula dos insetos modelos da área controle e impactada foram significativos ( $P < 0,05$ ). De um total de 17 elementos apenas o elemento Lítio (Li), que não foi encontrado em nenhuma análise, e o elemento prata (Ag), que não apresentou resultado relevante, foram excluídos dos resultados. Todos os outros 15 elementos tiveram seus valores comparados (Figuras 4 e 7)

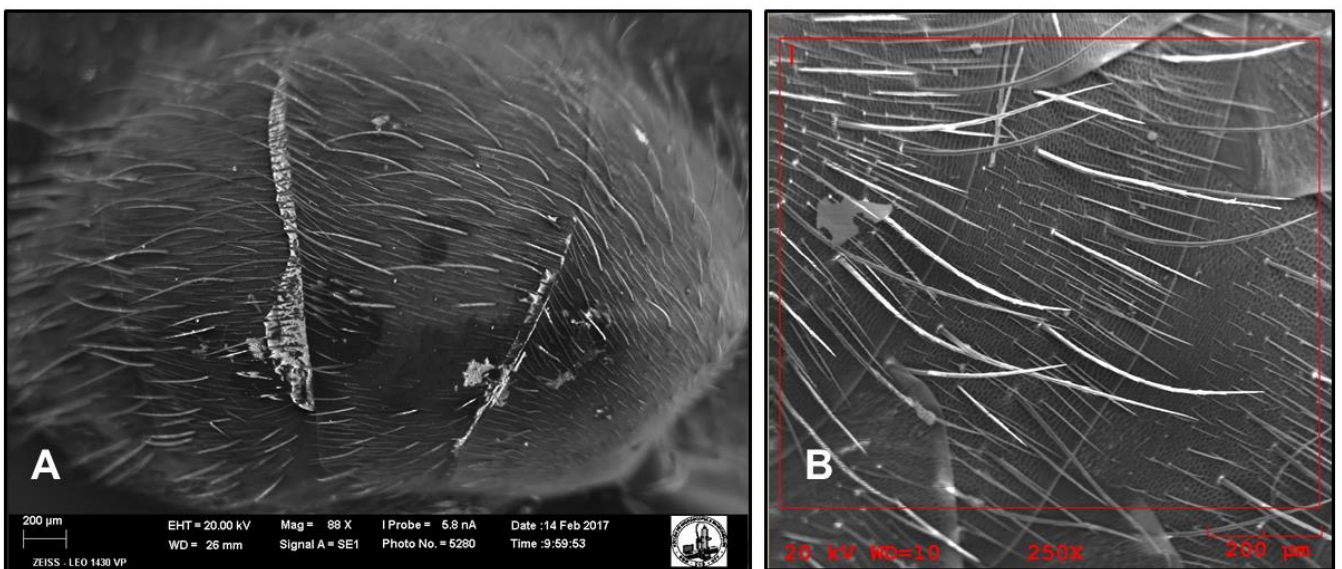
As análises de abdômen de formiga coletadas no Rio Doce (Figura 2) e na área controle Mata do Paraíso (Figura 3) apresentaram diferenças significativas ( $F = 10.73$ ;  $P < 0.05$ ) e ( $F = 10.10$ ;  $P < 0.05$ ) respectivamente. Os elementos mais abundantes na superfície dos insetos coletados foram, em escala decrescente, com valores acima de 10%,  $Al > Cd > Ca > Pb$  (Figura 4). Porém, destes apenas Al e Cd apresentaram diferença significativa entre as áreas impactadas e controle ( $P < 0.05$ ), juntamente com elementos pouco abundantes nas análises, mas que mostraram diferença relevante, como Ba, Sn e Pd (Figura 4). Destes, apenas Al apresentou maior abundância nas coletas realizadas na área impactada em comparação a área controle (Figura 4).

As amostras de abdômen das vespas (Figura 5 e 6) também apresentaram diferenças significativas para área controle ( $F = 34.08$ ;  $P < 0.05$ ) e área impactada ( $F = 73.09$ ;  $P < 0.05$ ), respectivamente. Os elementos mais abundantes em porcentagem maior que 10%, foram o Al

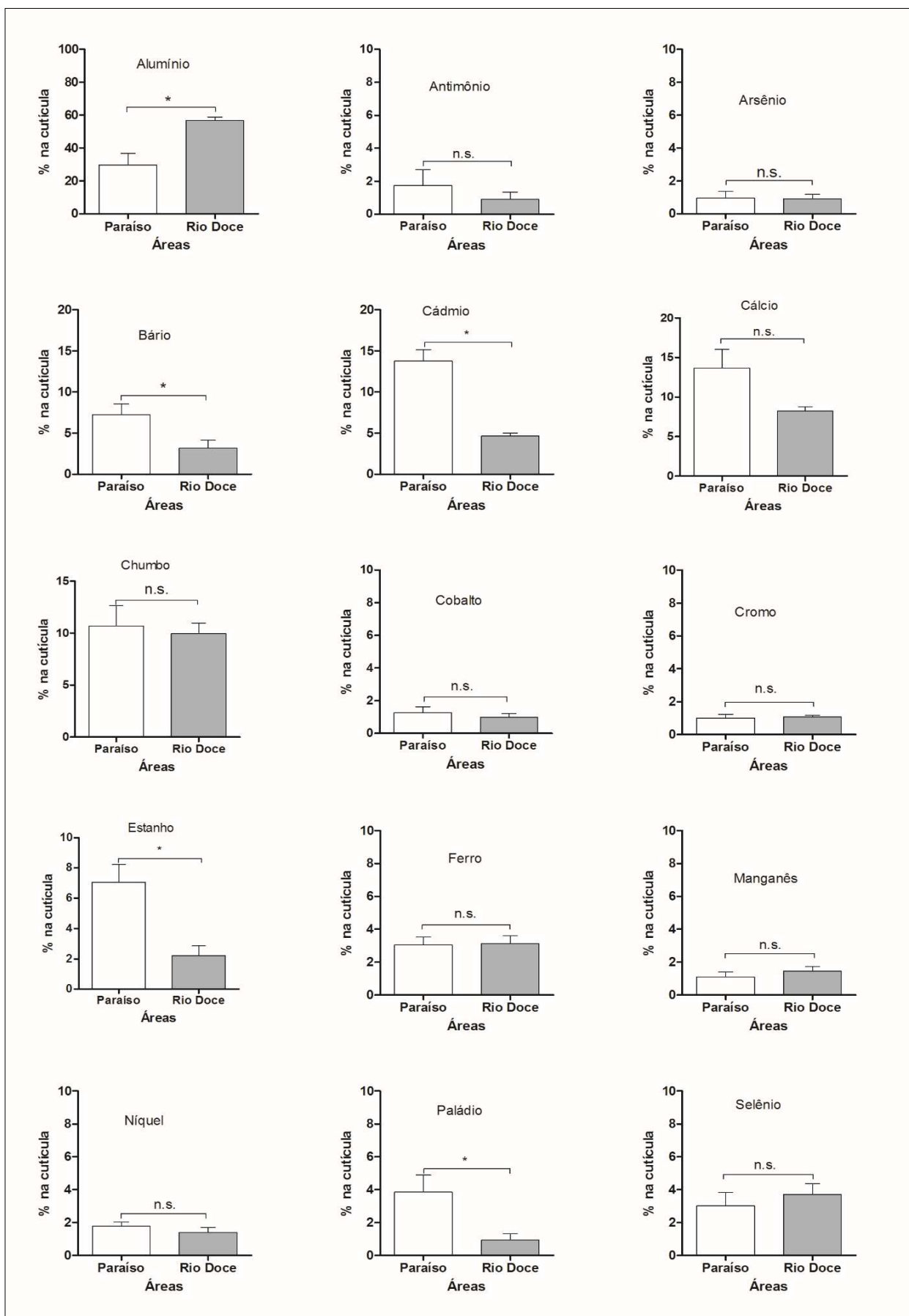
e Cd na área impactada em relação ao controle. Porém, Al ainda foi o elemento mais abundante (Figura 7).



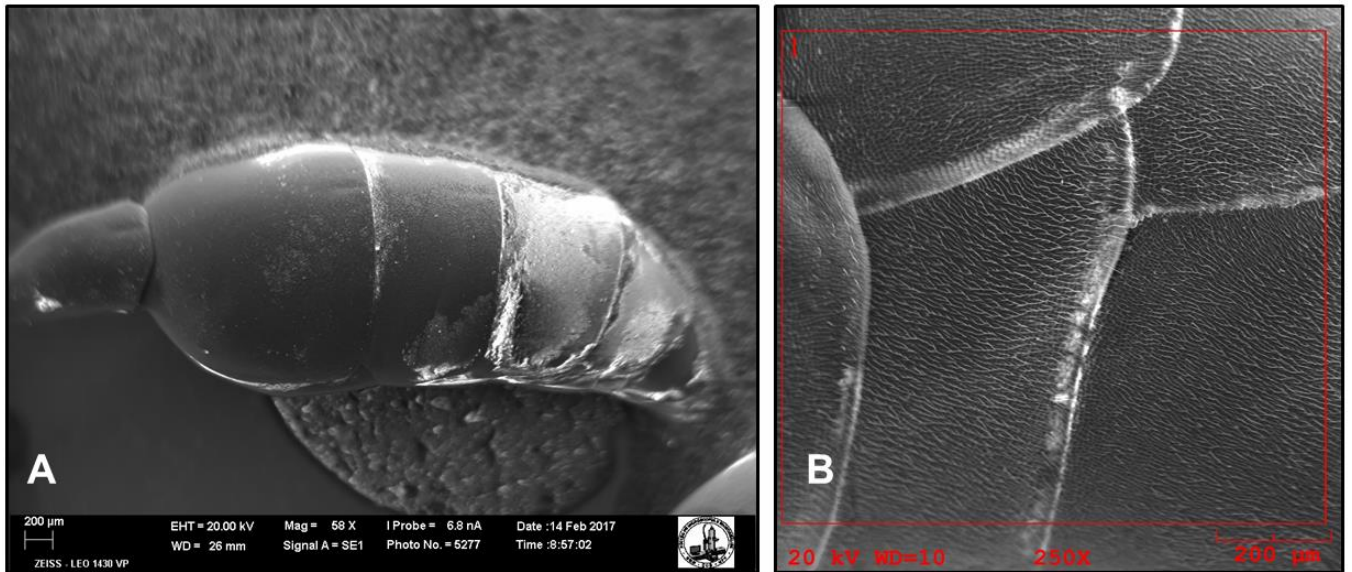
**Figura 2:** Micrografia Eletrônica de Varredura do abdômen de formiga *Camponotus sp* coletada no Rio Doce. **A-** Vista Dorsal. **B-** Vista ventral mostrando área analisada pela EDSX para identificação dos elementos químicos.



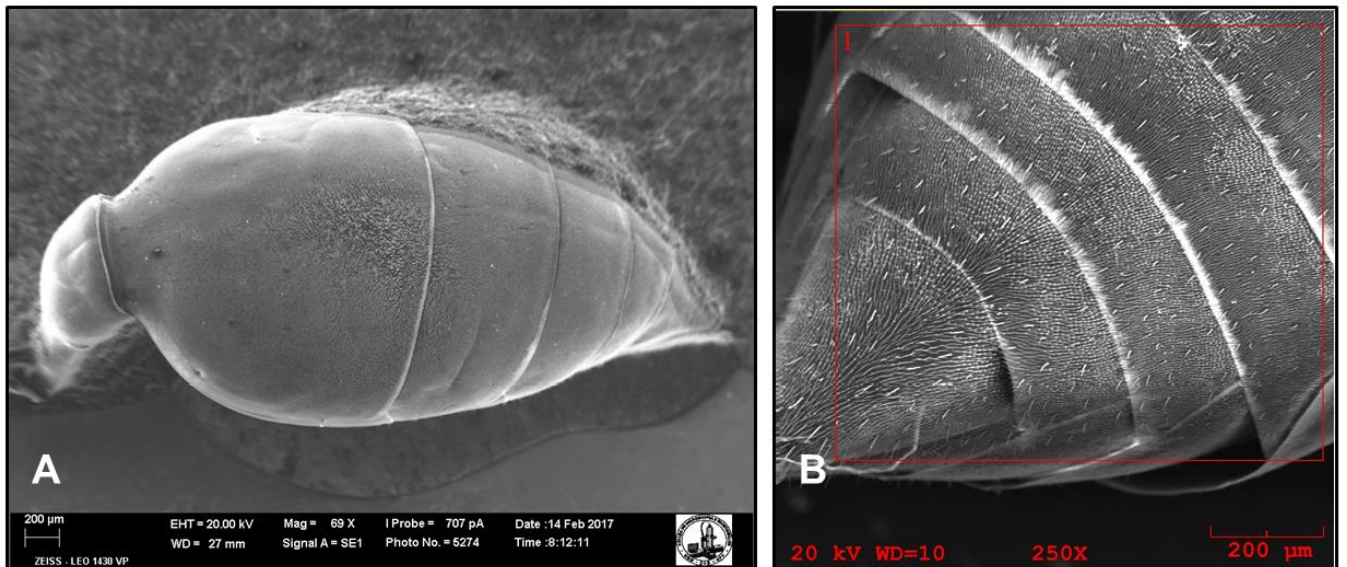
**Figura 3:** **A-** Micrografia Eletrônica de Varredura do abdômen de formiga *Camponotus sp* coletada na Mata do Paraíso. **A-** Vista Dorsal. **B-** Vista ventral mostrando área analisada pela EDSX para identificação dos elementos químicos.



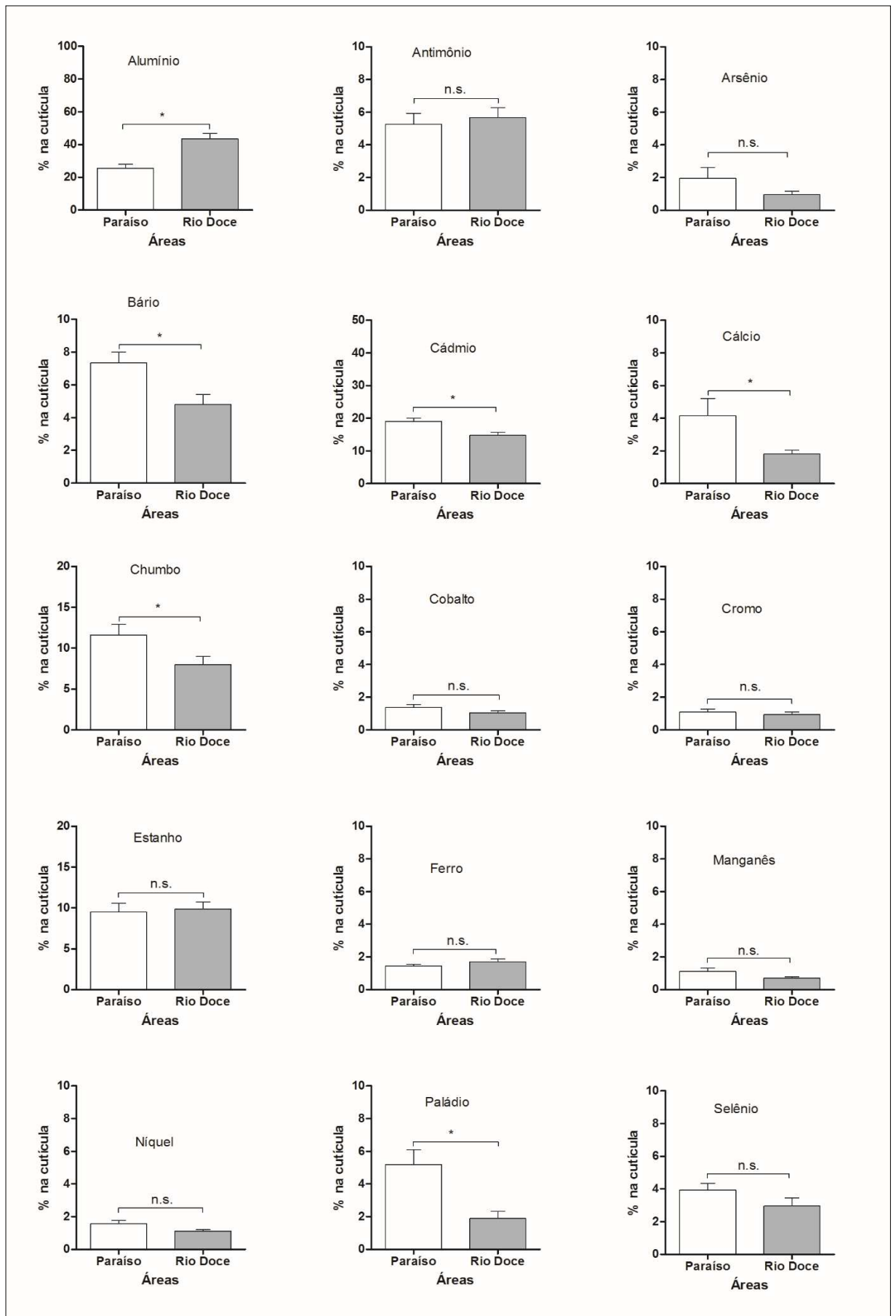
**Figura 4:** Análise de médias dos elementos encontrados em abdômen de formigas, em comparativo com áreas de coleta, em que \*= diferença significativa, n.s.= não



**Figura 5:** Micrografia Eletrônica de Varredura do abdômen de vespa *Polybia sp* coletada na Mata do Paraíso. **A-** Vista Dorsal. **B-** Vista ventral mostrando área analisada pela EDSX para identificação dos elementos químicos.



**Figura 6:** Micrografia Eletrônica de Varredura do abdômen de vespa *Polybia sp* coletada no Rio Doce. **A-** Vista Dorsal. **B-** Vista ventral mostrando área analisada pela EDSX para identificação dos elementos químicos.



**Figura 7:** Análise de médias dos elementos encontrados em abdômen de vespas, em comparativo com áreas de coleta, em que \*= diferença significativa, n.s.= não

## DISCUSSÃO

Metais pesados são encontrados em todo ambiente terrestre, em especial nas regiões impactadas por desastres ambientais. Este estudo, portanto, verificou a hipótese de que em uma área recém impactada haveria mais contaminantes em suspensão quando comparada a uma área controle. No entanto, utilizando-se insetos como bioindicadores, a área controle apresentou maior porcentagem dos elementos selecionados para análise, em relação a área impactada, com exceção do Alumínio. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que até meados de década de 1940, a área controle era uma fazenda em que se destacavam como principais atividades agrícolas a plantação de café, pecuária extensiva e extração de brita e madeira, atividades essas que devastaram a vegetação local e impactaram muito o solo. Após esse período, esta tornou-se área de preservação responsável pelo abastecimento de água da cidade (Pedro, 2011).

Ao contrário do esperado, o local de coleta na área impactada do Rio Doce não mostrou porcentagem de metal pesado capaz de caracterizar a área como contaminada, mesmo sendo uma região com histórico de extração mineral de alto impacto ambiental, além dos contaminantes provenientes do rompimento da barragem do fundão.

As análises dos elementos Cádmio (Cd), Bário (Ba), Cálcio (Ca), Chumbo (Pb) e Paládio (Pd) para vespas, e Bário (Ba), Cádmio (Cd), Estanho (Sn) e Paládio (Pd) para formigas, revelaram maior abundância nos insetos coletados na área controle, pelo histórico da atuação na

lavoura do café (Pedro, 2011), repleta de defensivos agrícolas e simples, mas impactante, extração mineral.

O elemento de maior expressividade nas análises foi o alumínio. Este é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, antecedido por oxigênio e silício (Pedrotri et al, 2003). A área de coleta Rio Doce está situada numa região de Latossolo constituído, principalmente, por componentes minerais. Solo comum no quadrilátero ferrífero, região em que se insere a barragem da Samarco, em que é muito comum a presença do hidróxido de alumínio (Gibbsita). Por este motivo, pode ser sugerido que o Alumínio encontrado nas análises de ambos insetos modelos, em especial valor elevado nas amostras do Rio Doce, ser Gibbsita, presente no tipo de solo argiloso do local de coleta.

Surpreendentemente os valores do elemento Ferro (Fe) não foram relevantes ou tiveram suas comparações com resultados significativos. A Barragem do Fundão – Samarco, era estruturada para receber rejeitos da extração desse metal, mas os traços foram poucos evidenciados nos insetos modelo deste estudo.

Embora o rompimento da Barragem do Fundão, Samarco, tenha causado um desastre com muitos danos sociais e materiais, quando se utilizou Hymenoptera como bioindicadores de impacto ambiental. A área impactada do Rio Doce não apresentou anormalidades em relação aos níveis dos elementos estudados quando comparada a uma área não afetada pelo desastre. A Mata do Paraíso, como área controle, apresentou diferenças significativas para alguns elementos não

essenciais, mas ainda não se pode afirmar qual o nível de toxicidade destes elementos. Assim faz-se necessários mais estudos para avaliar se a biomagnificação e bioacumulação dos metais pesados estão afetando a cadeia trófica e influenciando comportamentos sociais, sexuais e de forrageio dos insetos. O estudo com estes insetos não foi elucidativo. Os efeitos do desastre serão notados a longo prazo

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. C.; NOMELINI, Q. S. S.; PEREIRA, J. M.; LIPORACCI, H. S. M.; KATAGUIRI, V. S. 2010. **Comparação da abundância de invertebrados de solo por meio da estimação intervalar encontrados em diferentes ambientes na cidade de Ituiutaba – MG**. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 817-823.

AZAM, I.; AFSHEEN, S.; ZIA, A.; JAVED, M.; SAEED, R.; SARWAR, M. K.; MUNIR, B. 2015. **Evaluating insects as bioindicators of heavy metal contamination and accumulation near industrial area of Gujrat, Pakistan**. BioMed Research International, 2015.

BHARTI, P. K. 2012. **Heavy metals in environment**. Germany: Lambert Academy Publishing. 70 p  
GALL, J. E.; BOYD, R. S.; RAJAKARUNA, N. 2015. **Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review**. Environmental Monitoring and Assessment 187:201.

CASTRO, L. A. S. 2002. **Processamento de Amostras para Microscopia Eletrônica de Varredura**. Pelotas, RS: Embrapa. 37 p.

COSTA, A.; FELIPPE, M. F.; REIS, G. 2016. **Licenciamento ambiental de grandes empreendimentos minerários: dos alarmes que ninguém escuta à tragédia no Rio Doce**. Belo Horizonte - Edição Especial - Vale do Rio Doce: formação geo-histórica e questões atuais.

COSTA, A.; FELIPPE, M. F.; REIS, G.; MATOS, R. 2016. **A tragédia do rio doce: a lama, o povo e a água. Relatório de campo e interpretações preliminares sobre as consequências do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão (Samarco/VALE/BHP).** Relatório da Expedição ao Rio Doce | LESTE; Geomorfologia e Recursos Hídricos; TERRA.

DEDAVID, B. A. 2007. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores.** Porto Alegre, RS: EDIPUCRS. 60 p.

DEVKOTA, B.; SCHMIDT, G. H. 2000. **Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from the Taigetos Mountains, Greece.** Agriculture, Ecosystems & Environment, 78(1), 85-91.

FILHO, P. J. F.; SOUZA, M. P. 2004. **O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais – uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIA/RIMAs.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 9 (4).

GALL, J. E.; BOYD, R. S.; RAJAKARUNA, N. 2015. **Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review.** Environmental Monitoring and Assessment, 187(4), 201.

GRUPO INDEPENDENTE PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO Ambiental – GIAIA. 2016. **Determinação de metais na bacia do Rio Doce (período: dezembro-2015 a abril-2016).** Brasília, Brasil. Relatório-Técnico.

HEIKENS, A.; PEIJNENBURG, W. J. G. M.; HENDRIKS, A. J. 2001. **Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates**. Environmental Pollution, 113(3), 385-393.

JUSTIÇA GLOBAL. 2016. **Vale de lama: relatório de inspeção em Mariana após o rompimento da barragem de rejeitos do fundão**. Relatório.

KER, J. C. 1997. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. Revista Geonomos, 5(1).

LEITA, L.; MUHLBACHOVA, G.; CESCO, S.; BARBATTINI, R.; MONDINI, C. 1996. **Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination**. Environmental Monitoring and Assessment, 43(1), 1-9.

MARTÍNEZ, L. C.; PLATA-RUEDA, A.; ZANUNCIO, J. C.; SERRAO, J. E. 2014. **Comparative toxicity of six insecticides on the rhinoceros beetle (Coleoptera: Scarabaeidae)**. Florida entomologist, 97(3), 1056-1062.

MARTINS, D. S.; FERREIRA, P. S. F.; FORNAZIER, M. J.; SANTOS, J. S. 2014. **Insetos da Reserva Natural Vale, Linhares, Espírito Santo, Brasil**. Ciência & Ambiente 49.

MELO, V. F.; FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R. (2001). **Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25(1).

NASCIMENTO, N. O. 2014. **Seriam as abelhas sem ferrão boas amostradoras ambientais de contaminação atmosférica por particulados atmosféricos?** 52 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) – Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

OLIVEIRA, M. R. 2007. **Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig, no município de Três Marias, Minas Gerais.** 150 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; LUCIA, T. M. C. D. 2014. **Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação.** Rev. Ceres, v. 61, Suplemento, p. 800-807.

PEDRO, M. F. 2011. **A RELAÇÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS COM SUA COMUNIDADE DO ENTORNO: O CASO DA MATA DO PARAÍSO, VIÇOSA- MG.** 35p. Monografia (curso de geografia) – Universidade Federal de Viçosa-UFV.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M. D.; CARVALHO, R. (2003). **Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo.** Revista Brasileira de ciência do Solo, 27(1).

PERUGINI, M.; MANERA, M.; GROTTA, L.; ABETE, M. C.; TARASCO, R.; AMORENA, M. 2011. **Heavy metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators**. Biological trace element research, 140(2), 170-176.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. 2013. **O QUADRILÁTERO FERRÍFERO-MG, BRASIL: ASPECTOS SOBRE SUA HISTÓRIA, SEUS RECURSOS MINERAIS E PROBLEMAS AMBIENTAIS RELACIONADOS**. Revista Geonomos, 18(1).

ROGÉRIO, I. T.S.; CONDE, B. E.; SIQUEIRA, A. M.; CHEDIER, L. M.; PIMENTA, D. S. 2016. **Anthropogenic impact on a protected area, Rio Doce Park**. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 15 (4): 233 – 248.

ROSENBERG, D. M.; DANKS, H. V.; LEHMKUHL, D. M. 1986. **Importance of insects in impact assessment**. Environmental Management Vol 10, No. 6, pp, 773-783.

SILVA, G. B.; BOTELHO, M. I. V. 2015. **OS CONVÊNIOS INTERNACIONAIS ENTRE A UNIVERSIDADE DE PURDUE E UREMIG**. Caminhos de Geografia, 16(54).

STEFANINI, M.; DE MARTINO, C. E. S. A. R. E.; ZAMBONI, L. 1967. **Fixation of ejaculated spermatozoa for electron microscopy**. Nature, 216(5111), 173-174.

TRINDADE, W. M. 2010. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio Fão Francisco entre Três Marias e**

**Pirapora/MG: fatores naturais e antrópicos.** 111 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais

URBINI, A.; SPARVOLI, E.; TURILLAZZI, S. 2006. **Social paper wasps as bioindicators: a preliminary research with *Polistes dominulus* (Hymenoptera Vespidae) as a trace metal accumulator.** Chemosphere, v. 64, n. 5, p. 697-703,

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. 2007. **Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis.** Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(4): 779-785.

WANDERLEY, L. J. M.; GONÇALVES, R.J.A.F., MILANEZ, B. 2016. **Pedras de sangue e choro maculam a vertente: algumas percepções de campo no contexto do desastre da mineração sobre o rio Doce.** Élisée, Rev. Geo. UEG – Anápolis, v.5, n.1, p.30-56.

ZHUANG, P.; ZOU, H.; SHU, W.; 2008. **Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study.** Journal of Environmental Sciences 21(2009) 849–853.