

CLARISSE LAPA VALENTIM

**FORMIGAS COMO BIOINDICADORAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS E DE  
REABILITAÇÃO DE ÁREAS APÓS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO**

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  
2010

**CLARISSE LAPA VALENTIM**

**FORMIGAS COMO BIOINDICADORAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS E DE  
REABILITAÇÃO DE ÁREAS APÓS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO**

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: 26 de fevereiro de 2010.

---

Prof<sup>ª</sup>. Carla Rodrigues Ribas  
(Co-orientadora)

---

Prof. Carlos Frankl Sperber  
(Co-orientador)

---

Prof. Ricardo Ildefonso de Campos

---

Dra. Tathiana Guerra Sobrinho

---

Prof. José Henrique Schoederer  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização deste curso e por oferecer um ensino de qualidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro para a execução do projeto e pela concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço aos meus pais pelo amor, incentivo, dedicação e apoio sem duvidar nem por um momento da minha capacidade.

Aos meus amigos da Bahia, em especial a Priscila e os amigos de Belo Horizonte por estarem sempre presentes, mesmo que distantes fisicamente.

Às minhas amigas (atuais e antigas) de república Carol, Dani, Alessandra, Débora, Alice que me ajudaram nessa fase da minha vida.

Ao Prof. José Henrique Schoereder pela orientação, conhecimento, apoio, respeito, amizade e pela confiança depositada.

Carla Ribas (co-orientadora) pela amizade, confiança, carinho, companheirismo, paciência e pelo apoio, o qual foi de extrema importância para a realização desse trabalho. Principalmente pelo incentivo recebido.

Aos membros da banca Tathiana Sobrinho e Ricardo Campos por aceitarem participar desta importante fase do trabalho.

Ao Bob, Fernando que contribuíram para realização deste trabalho e os amigos do Laboratório de Ecologia de Comunidades de Formigas pela convivência agradável e divertida: Alice, Lucas, Tatianne, Pará, Elisângela, Marcelo, Tathiana e Ayhama.

Aos funcionários do Departamento de Entomologia por se mostrarem sempre dispostos a ajudar.

Ao Rogério Ribas, Rogério Gomyde e Alice pela ajuda na preparação das amostras de solos para posteriores análises.

Ao Rodrigo Feitosa pela identificação das espécies de formigas.

Ao Carlos, Igor do Departamento de Solos/UFV pelas instruções e análises das amostras de solos.

À Empresa AngloGold Ashanti South América por ter permitido o desenvolvimento deste estudo, as funcionárias Ana Flávia e Irany por ter nos recebido e pela ajuda.

A todos que de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho e que não foram citados nominalmente, muito obrigada!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. Introdução Geral.....	1
2. Referências Bibliográficas.....	3

### 3. Capítulo 1

#### Formigas como bioindicadoras de impacto ambiental causado por arsênio

Resumo.....	5
Abstract.....	6
3.1. Introdução.....	7
3.2. Material e Métodos.....	8
3.2.1. <i>Local de coleta</i> .....	8
3.2.2. <i>Coleta de formigas</i> .....	9
3.2.3. <i>Amostragem das estimativas de recursos</i> .....	9
3.2.4. <i>Análises estatísticas</i> .....	10
3.3. Resultados.....	11
3.3.1. <i>Formigas epigéicas e arborícolas (Total)</i> .....	11
3.3.2. <i>Formigas epigéicas</i> .....	11
3.3.3. <i>Formigas arborícolas</i> .....	12
3.3.4. <i>Variáveis explicativas</i> .....	12
3.4. Discussão.....	12
3.5. Referências Bibliográficas.....	14
3.6. Figuras e Tabela.....	17

## 4. Capítulo 2

### Formigas como bioindicadoras de áreas reabilitadas após atividades de mineração

Resumo.....	23
Abstract.....	25
4.1. Introdução.....	26
4.2. Material e Métodos.....	28
4.2.1. <i>Local de coleta</i> .....	28
4.2.2. <i>Coleta de formigas</i> .....	29
4.2.3. <i>Amostragem das estimativas de recursos</i> .....	29
4.2.4. <i>Análises estatísticas</i> .....	30
4.3. Resultados.....	31
4.3.1. <i>Formigas epigéicas e hipogéicas (Total)</i> .....	32
4.3.2. <i>Formigas epigéicas</i> .....	32
4.3.3. <i>Formigas hipogéicas</i> .....	33
4.3.4. <i>Variáveis explicativas</i> .....	33
4.4. Discussão.....	33
4.5. Referências Bibliográficas.....	37
4.6. Figuras e Tabelas.....	40
<b>5. Considerações Finais.....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE FIGURAS

1. Relação entre a riqueza total de espécies de formigas e a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 4,75$ ;  $p = 0,03$ ).....17
2. Relação entre a riqueza total de espécies de formigas e a riqueza de espécies de árvores ( $\chi^2 = 7,67$ ;  $p = 0,006$ ).....17
3. Relação entre a riqueza de espécies de formigas arborícolas e a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 10,07$  ;  $p = 0,001$ ).....18
4. Relação entre a riqueza de espécies de formigas arborícolas e a riqueza de espécies de árvores ( $\chi^2 = 5,85$ ;  $p = 0,01$ ).....18
5. Relação entre a riqueza de espécies de árvores e a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 4,71$ ;  $p = 0,03$ ).....19
6. Áreas que foram depósitos de rejeitos de mineração de ouro em Nova Lima, MG, Brasil (Foto: Google Earth).....40
7. Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0,21.....41
8. Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies de formigas epigéicas em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0.21.....43

9. Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies de formigas hipogéicas em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0.24.....45
10. Relação entre a porcentagem de cobertura vegetal e as áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG ( $\chi^2 = 2763$ ;  $p = 0,01$ ).....47
11. Relação entre a quantidade de matéria orgânica no solo (dag/kg) e as áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG ( $\chi^2 = 34,72$ ;  $p < 0,0001$ ).....48

## LISTA DE TABELAS

1. Ocorrência das espécies de formigas em dois microhabitats, epigéico e arborícola, no Morro do Galo, Nova Lima, MG.....20
2. Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.....42
3. Lista de contribuição das espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) comparando a frequência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).....42
4. Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies de formigas epigéicas em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.....44
5. Lista de contribuição das espécies de formigas epigéicas comparando a frequência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).....44
6. Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies de formigas hipogéicas em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.....46
7. Lista de contribuição das espécies de formigas hipogéicas comparando a frequência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).....46
8. Ocorrência das espécies de formigas nas quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração, em dois microhabitats (E= epigéico e H = hipogéico).....49

## RESUMO

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010.  
**Formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e de reabilitação de áreas após atividades de mineração.** Orientador: José Henrique Schoederer. Co-Orientadores: Carla Rodrigues Ribas e Carlos Frankl Sperber.

Atividades de mineração e liberação de resíduos tóxicos no ambiente estão entre as principais responsáveis pela degradação ambiental em todo mundo, causando alteração na paisagem decorrente dos processos de exploração, perda da cobertura vegetal, dos recursos bióticos, da camada superficial do solo e poluição do ar, água e solo. As linhas de pesquisa relacionadas à impactos ambientais têm como objetivo tanto monitorar mudanças nos ecossistemas impactados quanto acompanhar a reabilitação de áreas após a perturbação causada pelo impacto ambiental. Uma das formas de monitoramento ambiental que tem sido cada vez mais utilizada, por ser pouco onerosa, é a utilização de organismos bioindicadores. Dentre os organismos bioindicadores, as formigas representam um grupo com grande potencial de utilização em programas de monitoramento ambiental. Nossos resultados mostraram que (i) a riqueza de formigas arborícolas diminuiu com o aumento da concentração de arsênio, isso porque o arsênio pode ser acumulado em tecidos vegetais, afetando as espécies vegetais e indiretamente as formigas arborícolas que as utilizam como recurso e que (ii) a riqueza de espécies de formigas não variou entre as áreas, mas houve variação na composição das espécies de formigas. Desta forma, formigas podem ser boas indicadoras de impactos ambientais causado por arsênio e de reabilitação de áreas impactadas por atividades de mineração.

## ABSTRACT

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010.  
**Ants as bioindicators of environmental impacts and rehabilitation of areas after mining activities.** Advisor: José Henrique Schoereder. Co-advisors: Carla Rodrigues Ribas and Carlos Frankl Sperber.

Mining activities and toxic residuals are among the main responsible for polluting the environment and contributing to biodiversity loss, due to exploration process, loss of canopy, biotic resources, superficial soil layer, and air, water and soil polluting. Research related to environmental impacts are intended to both, monitor changes in ecosystems impacted, as monitor the rehabilitation of areas after the disturbance caused by environmental impact. One way of environmental monitoring that has been increasingly used because it is inexpensive, is the use of bioindicators. Among the bioindicators, ants represent a group with great potential for use in environmental monitoring programs. Our results showed that (i) arboreal ant species richness was found to decrease with arsenic concentration increasing, as arsenic can accumulate inside plant tissues, it can affect more arboreal ant community, due trophic magnification; and that (ii) ant species richness did not change from area to area, but the species composition has change. Thus, ants can be good bioindicators of environmental impacts caused by arsenic and mining rehabilitation.

## 1. Introdução Geral

Muitas das áreas ocupadas pelos mais variados ecossistemas encontram-se, hoje, em estado de degradação acentuada (Espíndola et al., 2005). A preocupação com a crescente diminuição dos ecossistemas levou o desenvolvimento de diversos estudos, que visam restabelecer as comunidades naturais de áreas que sofreram degradação. Reis et al. (1999), consideram áreas degradadas aquelas submetidas a impactos que diminuam ou impediram a sua capacidade de restabelecer-se naturalmente através de processos sucessionais. Nessas áreas, passa a ter grande importância a implementação de projetos que visem a restauração do ecossistema antes presente, propiciando o retorno às características ecológicas e da diversidade biológica anteriores.

A degradação dos ambientes é resultado de impactos ambientais como, retirada da cobertura vegetal para implantação de atividades agrícolas ou urbanas, a exploração econômica de madeira, as obras hidráulicas, as atividades industriais gerando poluição do ar, solo e águas, as atividades de mineração, as invasões biológicas e a contaminação por resíduos tóxicos (Espíndola et al., 2005).

As linhas de pesquisa relacionadas ao impacto ambiental têm como objetivo tanto monitorar mudanças nos ecossistemas impactados quanto acompanhar a reabilitação de áreas após a perturbação causada pelo impacto ambiental (Espíndola et al., 2005).

Uma das formas de monitoramento ambiental que tem sido cada vez mais utilizada, por ser pouco onerosa, é a utilização de organismos bioindicadores, que indicam as condições do ambiente, prevendo problemas ecológicos ou diagnosticando as causas das mudanças ambientais (Niemi & McDonald, 2004; Hilty & Merenlender, 2000). Esses organismos requerem determinadas características ecológicas e ambientais para se desenvolver e, conseqüentemente, podem refletir o estado de conservação e/ou degradação de um local (Agosti et al., 2000).

Dentre os organismos bioindicadores, as formigas representam um grupo com grande potencial de utilização em programas de monitoramento ambiental. As características que fazem com que esse grupo esteja sendo cada vez mais utilizado em estudos ecológicos de uma forma geral são: elevada abundância e diversidade,

dominância ecológica e amostragem e identificação relativamente fáceis (Agosti et al., 2000).

Apesar da literatura relativamente ampla em relação à utilização de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais, em alguns trabalhos há uma carência em explicar o porquê das respostas das formigas aos diferentes impactos ambientais. Além disso, geralmente somente um parâmetro da comunidade de formigas é analisado, por exemplo, a riqueza de espécies. Dessa forma, a bioindicação de impactos ambientais através de formigas fica restrita à descrição de respostas das comunidades, não promovendo generalizações e avanços no entendimento dos processos que causam as respostas observadas.

Divididos em dois capítulos apresentados na forma de artigos, o presente estudo investigou a utilidade de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e na reabilitação de áreas após atividades de mineração. No primeiro capítulo, o presente estudo verificou a utilização de comunidades de formigas como bioindicadoras do impacto ambiental causado por resíduos de arsênio. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: (i) a riqueza de espécies de formigas arborícolas tem uma relação negativa com a concentração de arsênio, por sua vez há um aumento da riqueza de espécies de formigas arborícolas com o aumento da riqueza e da densidade de árvores e essas variáveis tem uma relação negativa com a concentração de arsênio e; (ii) a riqueza de espécies de formigas epigéicas tem uma relação negativa com a concentração de arsênio, por sua vez há um aumento da riqueza de espécies de formigas epigéicas com o aumento da profundidade de serapilheira e essa variável tem uma relação negativa com a concentração de arsênio.

No segundo capítulo, verificou-se a utilização de formigas como bioindicadoras de reabilitação de áreas degradadas após impacto ambiental causado pela mineração de ouro, procurando determinar como as comunidades de formigas respondem à recuperação. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: (i) a riqueza de espécies de formigas aumenta com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto ambiental; (ii) a composição de espécies em cada uma das áreas varia com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto ambiental.

## 2. Referências Bibliográficas

- Agosti, D., Majer, J., Alonso, L.E. & Schultz, R., 2000. *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Espíndola, M.B., Bechara, F.C., Bazzo, M.S., Reis, A., 2005. Recuperação ambiental e contaminação biológica: aspectos ecológicos e legais. *Biotemas* 18, 27 – 38.
- Hilty, J. & Merenlender, A., 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation* 92, 185-197.
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E. ,2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35, 89-111.
- Reis, A.; Zambonin, R. M.; Nakazono, E. M., 1999. Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal. *Série Cadernos da Biosfera*, 14. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, São Paulo, Brasil, 42 p.

### **3. Capítulo 1**

#### **Formigas como bioindicadoras de impacto ambiental causado por arsênio.**

Valentim, C.L.<sup>1</sup>, Ribas, C.R.<sup>2</sup>, Solar, R.<sup>1</sup>, Schmidt, F.A.<sup>1</sup>, Campos, R.B.F.<sup>3</sup> e Schoerer, J.H.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Entomologia – Universidade Federal de Viçosa, P.H. Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais, 36570-000, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ecologia – Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, Minas Gerais, 37200-00, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Superior de Educação – Fundação Educacional de Divinópolis, Av. Paraná, 3001, Jardim Belvedere, Divinópolis, Minas Gerais, 35501-170, Brasil.

<sup>4</sup> Departamento de Biologia Geral – Universidade Federal de Viçosa, P.H. Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais, 36570-000, Brasil.

## RESUMO

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010.

**Formigas como bioindicadoras de impacto ambiental causado por arsênio.**

Orientador: José Henrique Schoereder. Co-Orientadores: Carla Rodrigues Ribas e Carlos Frankl Sperber.

Resíduos tóxicos podem causar elevada toxicidade a vegetais, animais e humanos, poluindo o ambiente e contribuindo para perda de biodiversidade. O presente estudo teve como objetivo verificar a utilidade de comunidades de formigas como bioindicadoras de impacto ambiental causado por resíduos de arsênio. Para isso, testou o pressuposto de que a riqueza de espécies de formigas (epigéicas e arborícolas) diminua com o aumento da concentração de arsênio no solo. As coletas das formigas foram realizadas com armadilhas do tipo “pitfall” com iscas de sardinha e mel, onde funcionou uma fábrica de raticida, sendo que um dos sub-produtos é arsênio, no município de Nova Lima, MG. Em todos os 27 pontos amostrais, foram verificadas a concentração de arsênio presente no solo, a riqueza e densidade de espécies de plantas, a profundidade de serapilheira e a altitude do ponto amostral. A riqueza de formigas arborícolas diminuiu com o aumento da concentração de arsênio. No entanto, a concentração de arsênio não afetou a riqueza de formigas epigéicas. Isso pode ter ocorrido porque os recursos sobre o solo utilizados pelas formigas podem não ser influenciados pelo arsênio, conseqüentemente não afetando a riqueza de formigas epigéicas. Por sua vez, o arsênio pode ser acumulado em tecidos vegetais, afetando as espécies vegetais e indiretamente as formigas arborícolas que as utilizam como recurso. Assim, formigas arborícolas são melhores indicadoras de impactos ambientais causados pelo arsênio do que formigas epigéicas.

**Palavras-chave:** Formigas arborícolas, formigas epigéicas, resíduos tóxicos e riqueza de espécies.

## ABSTRACT

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february 2010.

**Ants as environmental impacts bioindicators provoke for arsenic present.**

Advisor: José Henrique Schoereder. Co-advisors: Carla Rodrigues Ribas e Carlos Frankl Sperber.

On the environment, toxic residuals can produce high toxicity to plants, animals and human beings by polluting the environment and contributing to biodiversity loss. This study aimed to verify the use of ant communities as bioindicators of environmental impact caused by arsenic residuals, left on the environment. The assumption that species richness has a negative relationship with soil arsenic concentration. Ants were collected with pitfall traps, baited with honey and sardine. This place used to be a raticide factory on the past, in Nova Lima city, Minas Gerais state. In all 27 sampling units, environmental variables were taken, as follows: arsenic concentration was measured on the soil, tree species richness, litter depth and altitude. Arboreal ant species richness was found to decrease with arsenic concentration increasing. Otherwise, arsenic concentration did not affect epigaeic species richness. This may be due to the low effect of arsenic on soil resources used by ants, as consequence, it has no effect on epigaeic ant community. As arsenic can accumulate inside plant tissues, it can affect more arboreal ant community, due trophic magnification. Hence, arboreal ants are more prone to be bioindicators of environmental impacts caused by arsenic than epigaeic ants.

**Keywords:** Epigaeic ants, tree ants, diversity measurements, toxic residuals.

### 3.1. Introdução

Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente. Os impactos ambientais afetam direta ou indiretamente a saúde, a segurança, a economia e a vida social da população humana, bem como a biota, os recursos naturais e as condições estéticas e sanitárias do ambiente (Mirra, 1998).

Um dos mais frequente e preocupante impacto negativo sobre o ecossistema é a liberação de resíduos tóxicos, como metais pesados (Ribeiro Filho et al., 2001). Resíduos tóxicos possuem elevada toxicidade a vegetais, animais e humanos, (Hoffman et al., 2000; Hoffman & Andersen, 2003) e podem ser acumulados em tecidos vegetais que serão ingeridos por animais e que por sua vez são utilizados na alimentação humana (Foster, 2003).

Entre os diversos metais pesados oriundos de ações antropogênicas, como o uso de pesticidas, fertilizantes e atividades de mineração (Smith et al., 1998; Baird, 2002), a liberação de arsênio no ambiente é um dos fatores de maior risco para os ecossistemas, e com sérios danos à saúde humana, que incluem efeitos mutagênicos, carcinogênicos doenças cardíacas, vasculares e pulmonares (Felipe et al., 2009).

Portanto, é necessário realizar atividades de recuperação de áreas degradadas e contaminadas por metais pesados, visando minimizar ou evitar a dispersão dos contaminantes para outros nichos ecológicos e a contaminação da população humana, bem como restaurar a funcionalidade e a diversidade dos ecossistemas impactados e degradados (Accioly & Siqueira, 2000).

Atividades de monitoramento ambiental têm sido desenvolvidas para verificar o nível de resíduos em locais impactados por arsênio (Hilty & Merenlender, 2000). Uma das formas de monitoramento ambiental é a utilização de bioindicadores, que indicam as condições do ambiente, possibilitando a previsão de problemas ecológicos ou diagnosticando as causas das mudanças ambientais (McGeoch, 1998; Niemi & McDonald, 2004).

Os parâmetros que têm sido utilizados para avaliar a recuperação das comunidades após impactos ambientais são as medidas de abundância, diversidade e composição de espécies, englobando respostas em nível de populações e comunidades (Rabitsch, 1995, 1997; Eeva et al., 2004; Sorvari et al., 2006). O uso de determinadas

espécies ou grupos de organismos como indicadores do sucesso de práticas de reabilitação ambiental tem sido difundido nas últimas décadas (Hilty & Merenlender, 2000).

Entre os grupos de organismos que vêm sendo utilizados como bioindicadores, estão as formigas. Elas têm sido sugeridas como uma ferramenta ideal para monitorar a recuperação a impactos ambientais e como indicadores do estado de conservação e/ou degradação de um local, por possuírem ampla distribuição, alta abundância, fácil amostragem, importância no funcionamento dos ecossistemas e terem uma ecologia e taxonomia relativamente bem conhecida. (Agosti et al., 2000; Underwood & Fisher, 2006).

O presente estudo teve como objetivo verificar a utilização de comunidades de formigas como bioindicadoras do impacto ambiental causado por resíduos de arsênio. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: (i) a riqueza de espécies de formigas arborícolas tem uma relação negativa com a concentração de arsênio, por sua vez há um aumento da riqueza de espécies de formigas arborícolas com o aumento da riqueza e da densidade de árvores e essas variáveis diminuem com o aumento da concentração de arsênio e; (ii) a riqueza de espécies de formigas epigêicas tem uma relação negativa com a concentração de arsênio, por sua vez há um aumento da riqueza de espécies de formigas epigêicas com o aumento da profundidade de serapilheira e essa variável diminui com o aumento da concentração de arsênio.

## **3.2. Material e Métodos**

### *3.2.1. Local de coleta*

As coletas foram realizadas em março de 2007, em uma elevação topográfica denominada Morro do Galo (19°59'05.4``S e 43°49'33.2``W), no município de Nova Lima, na região Metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, sudeste brasileiro.

A área de estudo, pertence à mineradora AngloGold Ashanti South America, onde a cerca de 35 anos funcionou uma fábrica de raticida. Esta fábrica localizava-se na

base da elevação e possuía uma chaminé por onde liberava resíduos tóxicos, entre eles o arsênio.

Em 1975, a fábrica teve suas atividades suspensas e após esse período a área entrou em progressivo processo de regeneração natural. No entanto, a vegetação estabelecida apresentou-se, por mais de 20 anos, rala e composta quase exclusivamente de gramíneas. Após esse período, implantou-se um programa de recuperação da vegetação pela introdução de espécies nativas e exóticas.

### 3.2.2. *Coleta de formigas*

Foi delimitado um transecto de 270 m a partir do local onde havia a chaminé da fábrica, sendo distribuídos 27 pontos amostrais distantes 10 m entre si ao longo desse transecto. Em cada ponto amostral, as formigas foram coletadas em dois microhabitats (epigéico e arborícola) através do uso de armadilhas do tipo “pitfall” contendo iscas atrativas de sardinha e mel.

As armadilhas permaneceram no campo por 48 horas. As formigas foram levadas ao laboratório de Ecologia de Comunidades da UFV, triadas e identificadas até o nível de gênero, com auxílio de chaves de identificação contidas em Bolton (2003) e Fernández (2003) e quando possível até espécie. Posteriormente a identificação foi checada pelo especialista Rodrigo Feitosa (USP) por comparação com espécimes do Museu de Zoologia da USP.

### 3.2.3. *Amostragem das estimativas de recurso*

Foram coletadas informações específicas das estimativas de recursos nos dois estratos, epigéico e arborícola, onde as formigas foram coletadas.

A riqueza e densidade de espécies de árvores foram contadas em cada ponto amostral em uma área de 10 m<sup>2</sup> no entorno deste. Para minimizar o efeito de erro provocado, por exemplo, pela inclinação do local, em cada ponto amostral foi alternada a posição da área amostrada. Além disso, foi medida a profundidade da serapilheira com auxílio de paquímetro digital e aferida a altitude de cada ponto amostral com auxílio de GPS.

Foram coletadas amostras de solo para avaliação da concentração de arsênio. A concentração de arsênio foi verificada por meio de análises químicas, extraído-se o arsênio das amostras de solo através do extrator Mehlich 3 que é uma mistura de ácidos, sais e quelante ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,25 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{NH}_4\text{F}$  0,015 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{HNO}_3$  0,013 mol L<sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>) (Mehlich, 1984).

#### 3.2.4. *Análises estatísticas*

A riqueza de espécies de formigas foi analisada no total (dados dos dois microhabitats amostrados) e por microhabitat (epigéico e arborícola). A relação entre riqueza de espécies de formigas (total e por microhabitat) (variável resposta) e a concentração de arsênio (variável explicativa) e altitude (co-variável explicativa) foi testada através de regressão linear múltipla.

Para testar as hipóteses explicativas acima, diferentes variáveis foram analisadas, por representarem estimativas de recursos para as formigas de cada microhabitat estudado. Para o microhabitat arborícola, foi testada a relação entre o número de espécies de formigas arborícolas (variável resposta) e a densidade e riqueza de espécies de árvores (variáveis explicativas). Já para o microhabitat epigéico, foi testada a relação entre o número de espécies de formigas epigéicas, variável resposta e a variável explicativa, profundidade de serapilheira. Em todos os casos foram utilizadas análises de regressão linear sendo múltipla para o microhabitat arborícola e simples para o epigéico.

A relação das variáveis explicativas (riqueza de espécies de árvores, densidade de árvores e profundidade de serapilheira) com a concentração de arsênio foi testada através de regressão linear, sendo a distribuição de erros utilizada Poisson, quando a variável resposta era a riqueza de espécies de árvores ou a densidade e normal quando a variável resposta era a profundidade de serapilheira.

Todas as análises foram realizadas no software R (R Development Core Team 2009), seguidas de análise de resíduos para verificar a distribuição de erros e adequabilidade do modelo (Crawley 2002).

### 3.3. Resultados

Foram coletadas 36 espécies de formigas pertencentes a 16 gêneros, representando sete das 14 subfamílias descritas para a região Neotropical por Bolton (2003). O estrato com maior número de espécies foi o epigéico, com 31 espécies (86%), pertencente a 14 gêneros, seguido do arborícola com 17 espécies (47%), pertencentes a oito gêneros (Tabela 1).

A subfamília com maior número de espécies foi Myrmicinae, com sete tribos, sete gêneros e 16 espécies de formigas (44%), seguida da Formicinae, com três tribos, três gêneros e 10 espécies (28%); Ponerinae, com uma tribo, dois gêneros e duas espécies (6%); Pseudomyrmecinae, com uma tribo, um gênero e quatro espécies (12%); Ectatomminae, com uma tribo, um gênero e duas espécies (6%); Dolichoderinae, com uma tribo, um gênero e duas espécies (6%); e Ecitocinae, com uma tribo, um gênero e uma espécie (3%).

#### 3.3.1. *Formigas epigéicas e arborícolas (Total)*

A riqueza total de espécies de formigas teve uma relação negativa com a concentração de arsênio ( $\chi^2 = 4,75$ ;  $p = 0,03$ ; Figura 1) e uma relação significativa e positiva com a riqueza de árvores ( $\chi^2 = 7,67$ ;  $p = 0,006$ ; Figura 2), não apresentando relação significativa com as variáveis explicativas: altitude ( $\chi^2 = 1,85$ ;  $p = 0,17$ ), profundidade de serapilheira ( $\chi^2 = 0,13$ ;  $p = 0,72$ ) e densidade de árvores ( $\chi^2 = 0,92$ ;  $p = 0,34$ ).

#### 3.3.2. *Formigas epigéicas*

Não foi observada variação significativa da riqueza de formigas epigéicas com o aumento da concentração de arsênio ao longo dos pontos amostrais ( $\chi^2 = 0,18$ ;  $p = 0,67$ ) e a mesma não é explicada por nenhuma das variáveis explicativas analisadas: altitude ( $\chi^2 = 0,27$ ;  $p = 0,60$ ) e profundidade de serapilheira ( $\chi^2 = 2,12$ ;  $p = 0,14$ ).

### 3.3.3. *Formigas arborícolas*

A riqueza de espécies de formigas arborícolas apresentou relação negativa com a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 10,07$ ;  $p = 0,001$ ; Figura 3), ou seja, o número de espécies de formigas diminuiu com o aumento da concentração de arsênio.

Quando analisada a relação da riqueza de formigas arborícolas com a riqueza de espécies de árvores foi observada uma influência positiva ( $\chi^2 = 5,85$ ;  $p = 0,01$ ; Figura 4), mas não teve relação significativa com a densidade de árvores ( $\chi^2 = 2,14$ ;  $p = 0,14$ ) e com a altitude ( $\chi^2 = 2,80$ ;  $p = 0,09$ ).

### 3.3.4. *Variáveis explicativas*

Quando analisadas as relações das variáveis explicativas com o arsênio apenas a riqueza de espécies de árvores apresentou relação significativa com a concentração de arsênio ( $\chi^2 = 4,71$ ;  $p = 0,03$ ; Figura 5). A densidade de árvores ( $\chi^2 = 4,36$ ;  $p = 0,18$ ) e a profundidade de serapilheira ( $\chi^2 = 531,6$ ;  $p = 0,10$ ) não apresentaram relação significativa com o arsênio.

## 3.4. **Discussão**

A utilização de formigas como bioindicadoras pode ser apropriada se pudermos compreender como estes grupos respondem às mudanças no ambiente. Recentemente, estudos sobre comunidades de formigas estão sendo utilizados para embasar programas de avaliação, recuperação, conservação de ecossistemas e como indicadores da biodiversidade de invertebrados (Schmidt & Diehl, 2008; Ottonetti et al., 2006).

No entanto, a ausência da relação de riqueza de formigas epigéicas com a concentração de arsênio e com a profundidade de serapilheira não era esperada. Por sua vez, não houve relação da profundidade de serapilheira com o arsênio. Essa ausência de relação pode indicar que as formigas epigéicas não são afetadas pelo arsênio e não se relacionam ao recurso medido.

Por sua vez, quanto maior a concentração de arsênio ao longo dos pontos amostrais menor foi a riqueza de espécies de formigas arborícolas e menor foi a riqueza

de espécies de árvores. Assim, o arsênio pode estar afetando a riqueza de espécies de plantas, e conseqüentemente, causando um efeito indireto nas formigas pela redução da disponibilidade de recursos e pela baixa qualidade do recurso.

A resposta da riqueza total de espécies de formigas pode estar sendo guiada pela resposta da riqueza de espécies arborícolas, uma vez que as epigéicas não respondem ao arsênio, o que explica a resposta diferente nos dois segmentos da comunidade de formigas no local amostrado.

Segundo Sorvari et al. (2006) e Rabitsch (1995), metais pesados são facilmente acumulados por insetos, assim o arsênio pode também ser acumulado pelas formigas afetando-as diretamente, porém neste caso necessitamos de mais estudos para analisar e compreender os efeitos diretos causados nas comunidades de formigas.

Na Austrália, alguns estudos têm utilizado formigas como bioindicadores de impactos ambientais de forma eficiente (Ottonetti et al., 2006). Alguns autores (e.g. Leal et al., 1993; Vasconcelos et al., 2000; Silva & Brandão, 1999), têm utilizado essa mesma abordagem, no Brasil. De uma forma geral, a maioria dos estudos tem como foco a resposta da comunidade de formigas ao impacto ambiental e poucos são os trabalhos que mostram o porquê das formigas serem afetadas por impactos ambientais, analisando variáveis relacionadas aos impactos que influenciem tanto os parâmetros das comunidades de formigas quanto as variáveis ambientais. Além disso, comunidades de formigas pertencentes a diferentes microhabitats podem ter respostas diferentes aos impactos, por isso a importância de analisar a comunidade em diferentes microhabitats (epigéicas e arborícolas), como demonstrado nesse estudo, onde a resposta do microhabitat epigéico foi diferente do microhabitat arborícola.

Há uma preocupação das empresas quanto à recuperação ou reabilitação de áreas contaminadas e fazendo um monitoramento adequado do impacto causado pela liberação de arsênio, através das formigas, as empresas como a AngloGold Ashanti South America, passam a contar com uma ferramenta de avaliação de recuperação das áreas degradadas, em relação à avaliação do grau de recuperação das mesmas.

Portanto, o uso de formigas como bioindicadoras é viável, pois é mais fácil e barato coletar e identificar formigas do que identificar o arsênio diretamente no solo. Os equipamentos necessários são caros e as análises do solo são caras, além de ser difícil encontrar os reagentes químicos dos extratores.

Pode-se concluir que formigas arborícolas são boas indicadoras de impactos ambientais causados pelo arsênio e formigas epigéicas não são, o que pode ser útil para a escolha do segmento das comunidades de formigas a ser utilizado em programas de monitoramento ambiental. Embora as formigas sejam potenciais bioindicadoras é necessária cautela na utilização das mesmas, pois cada assembléia pode apresentar uma resposta distinta ao impacto em análise.

Conclui-se também que a nossa proposta de verificar pressupostos e estabelecer hipóteses em diferentes estratos pode ser uma maneira de suprimir e preencher lacunas que faltam nos trabalhos realizados, possibilitando a utilização de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais.

### **Agradecimentos**

Nossos agradecimentos à Empresa AngloGold Ashanti South America por permitir a realização das coletas. Clarisse Lapa Valentim, José Henrique Schoereder, Carla R. Ribas, Fernando Schmidt, Ricardo Solar e Renata Campos receberam bolsas e financiamento da FAPEMIG e do CNPq.

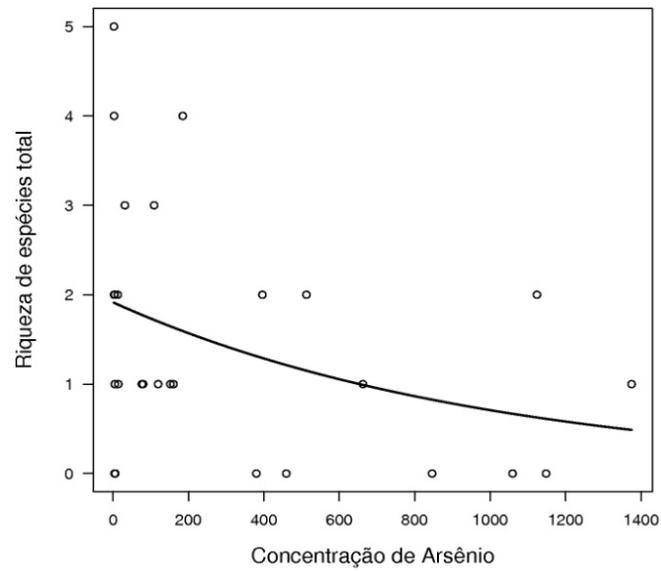
### **3.5. Referências Bibliográficas**

- Accioly, A.M.A. & Siqueira, J.O., 2000. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V.; Schaefer, C.E.G.R. Tópicos em ciências do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 299-352.
- Agosti, D., Majer, J., Alonso, L.E. & Schultz, R., 2000. *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Baird, C., 2002. *Química ambiental*. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 621 p.
- Bolton, B., 2003. *Synopsis and classification of Formicidae*. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 370 p.
- Crawley, M.J., 2002. *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. John Wiley and Sons, Chichester.

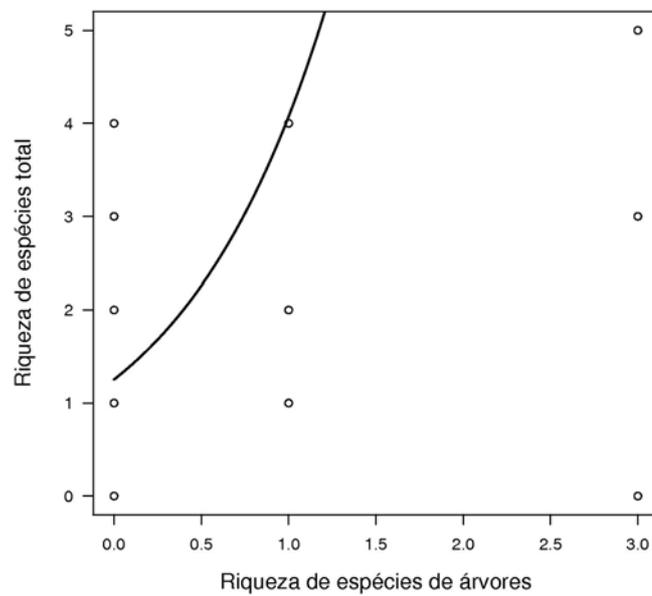
- Eeva, T., Sorvari, J. & Koivunen, V., 2004. Effects of heavy metal pollution on red wood ant (*Formica* s. str.) populations. *Environmental Pollution* 132, 533-539.
- Felipe, R.T.A., Oliveira, J.A., Leão, G.A., 2009. Potencial de *Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis* para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. *Revista Árvore*. Viçosa-MG 33, 245-254.
- Fernández, F., 2003. Introducción a las orugas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 398 p.
- Foster, A.L., 2003. Spectroscopic investigation of arsenic species in solid phases. In: A. H. Welch, & K. G. Stollenwerk (Eds.), *Arsenic in ground water: geochemistry and occurrence*. Boston, Massachusetts: Kluwer, 27-65.
- Hilty, J. & Merenlender, A., 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation* 92, 185-197.
- Hoffmann, B.D., Griffiths, A.D. & Andersen, A.N., 2000. Responses of ant communities to dry sulfur deposition from mining emissions in semi-arid tropical Australia, with implications for the use of function groups. *Austral Ecology* 25, 653-663.
- Hoffmann, B.D. & Andersen, A.N., 2003. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology* 28, 444-464.
- Leal, I.R., Ferreira, S.O. & Freitas, A.V.L., 1993. Diversidade de formigas de solo em um gradiente sucessional de Mata Atlântica, ES, Brasil. *Biotemas* 6, 42-53.
- McGeoch, M.A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Review* 73, 181-201.
- Mehlich, A., 1984. Mehlich 3 soil test extractant a modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Analysis* 15, 1409-1416.
- Mirra, A. L. V., 1998. *Impacto ambiental: aspectos da legislação brasileira*. São Paulo: Editora Oliveira Mendes.
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E., 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35, 89-111.
- Ottonetti, L., Tucci, L. & Santini, G., 2006. Recolonization patterns of ants in a rehabilitated lignite mine in central Italy: potential for the use of Mediterranean ants as indicators of restoration processes. *Restoration Ecology* 14, 60-66.

- R Development Core Team (2009). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org>
- Rabitsch, W.B., 1995. Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. II. Formicidae. *Environmental Pollution* 90, 239-247.
- Rabitsch, W.B., 1997. Tissue-Specific Accumulation Patterns of Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, and Mn in Workers of Three Ant Species (Formicidae, Hymenoptera) from a Metal-Polluted Site. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 32, 172–177.
- Ribeiro-Filho, M.R., Siqueira, J.O., Curi, N. & Simão, J.B.P., 2001. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25, 495-507.
- Schmidt, F.A., Diehl, E., 2008. What is the Effect of Soil Use on Ant Communities? *Neotropical Entomology* 37, 381-388.
- Silva, R.R. & Brandão, C.R.F., 1999. Formigas (Hymenoptera: Formicidae) como indicadores da calidad ambiental e da biodiversidad de otros invertebrados terrestres. *Biotemas* 12, 55-73.
- Smith, E.; Naidu, R.; Alston, A.M., 1998. Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in Agronomy* 64, 149-165.
- Sorvari, J., Rantala, L.M., Rantala, M.J., Hakkarainen, H. & Eeva, T., 2006. Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. *Environmental Pollution*, in press.
- Underwood, E.C.; Fischer, B.L., 2006. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biological Conservation* 132, 166 – 182.
- Vasconcelos, H.L., Vilhena, J.M.S. & Caliri, G.J.A., 2000. Responses of ants to selective logging of a central Amazonian forest. *Journal of Applied Ecology* 37, 508-514.

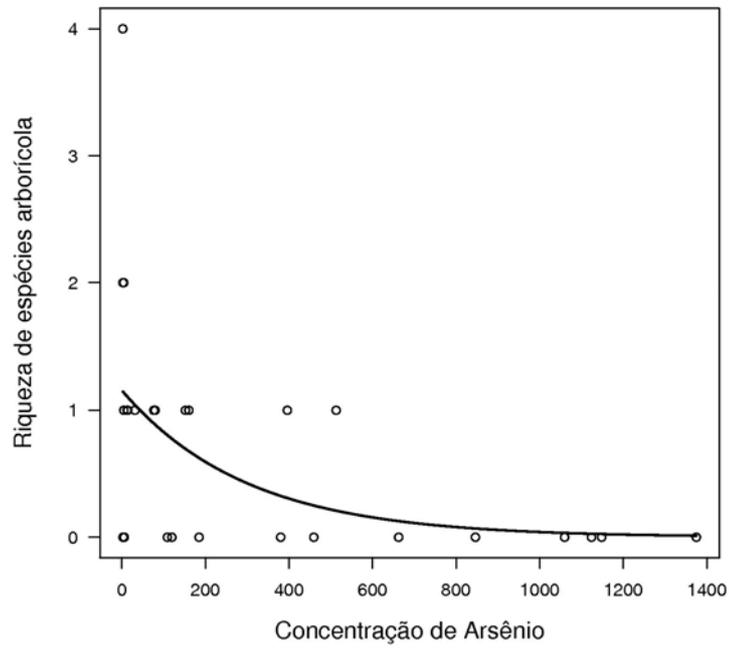
### 3.6. Figuras e Tabela



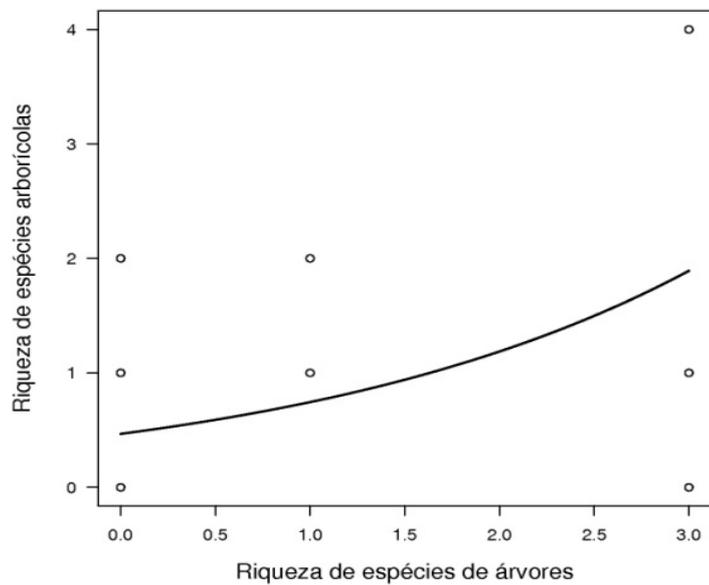
**Figura 1** - Relação entre a riqueza total de espécies de formigas e a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 4,75$ ;  $p = 0,03$ ).



**Figura 2** - Relação entre a riqueza total de espécies de formigas e a riqueza de espécies de árvores ( $\chi^2 = 7,67$ ;  $p = 0,006$ ).



**Figura 3** - Relação entre a riqueza de espécies de formigas arborícolas e a concentração de arsênio no solo ( $\chi^2 = 10,07$  ;  $p = 0,001$ ).



**Figura 4** - Relação entre a riqueza de espécies de formigas arborícolas e a riqueza de espécies de árvores ( $\chi^2 = 5,85$ ;  $p = 0,01$ ).



**Tabela 1** - Ocorrência das espécies de formigas em dois microhabitats, epigéico e arborícola, no Morro do Galo, Nova Lima, MG.

Espécies de Formicidae	Epigéica	Arborícola
<b>Subfamília Dolichoderinae</b>		
<b>Tribo Dolichoderini</b>		
<i>Linepithema</i> sp	X	
<i>Tapinoma</i> sp	X	
<b>Subfamília Ecitoninae</b>		
<b>Tribo Ecitonini</b>		
<i>Neivamyrmex</i> sp	X	
<b>Subfamília Ectatomminae</b>		
<b>Tribo Ectatommini</b>		
<i>Ectatomma brunneum</i>	X	X
<i>Ectatomma edentatum</i>	X	
<b>Subfamília Formicidae</b>		
<b>Tribo Brachymyrmecini</b>		
<i>Brachymyrmex</i> sp	X	
<i>Brachymyrmex</i> pr. <i>patagonicus</i>	X	
<b>Tribo Camponotini</b>		
<i>Camponotus atriceps</i>		X
<i>Camponotus rufipes</i>	X	X
<i>Camponotus crassus</i>	X	X
<i>Camponotus</i> pr. <i>fastigatus</i>	X	
<i>Camponotus</i> sp	X	X
<i>Camponotus</i> sp1	X	X
<i>Camponotus</i> sp2	X	
<b>Tribo Lasiini</b>		
<i>Paratrechina</i> sp	X	
<b>Subfamília Myrmicinae</b>		
<b>Tribo Attini</b>		
<i>Atta sexdens</i>	X	

“continua...”

Espécies de Formicidae	Epigéica	Arborícola
<b>Subfamília Myrmicinae</b>		
<b>Tribo Cephalotini</b>		
<i>Cephalotes pusillus</i>		X
<b>Tribo Crematogastrini</b>		
<i>Crematogaster cisplatinalis</i>	X	
<i>Crematogaster curvispinosa</i>	X	X
<i>Crematogaster torosa</i>		X
<b>Tribo Formicoxenini</b>		
<i>Nesomyrmex</i> sp1	X	X
<b>Tribo Solenopsidini</b>		
<i>Solenopsis</i> sp		X
<i>Solenopsis</i> sp1	X	
<i>Solenopsis invicta</i>	X	X
<b>Tribo Pheidolini</b>		
<i>Pheidole</i> sp	X	X
<i>Pheidole</i> sp1	X	X
<i>Pheidole</i> sp2	X	
<i>Pheidole</i> sp3	X	
<i>Pheidole</i> sp4	X	
<i>Pheidole</i> sp5	X	X
<b>Tribo Myrmicini</b>		
<i>Pogonomyrmex naegelli</i>	X	
<b>Subfamília Ponerinae</b>		
<b>Tribo Porenini</b>		
<i>Hypoponera</i> sp	X	
<i>Odontomachus haematodus</i>	X	
<b>Subfamília Pseudomyrmecinae</b>		
<b>Tribo Pseudomyrmecini</b>		
<i>Pseudomyrmex termitarius</i>	X	
<i>Pseudomyrmex</i> sp		X
<i>Pseudomyrmex</i> sp1	X	X
Total de espécies	31	17

## 4. Capítulo 2

### **Formigas como bioindicadoras de áreas reabilitadas após atividades de mineração.**

Valentim, C.L.<sup>1</sup>, Ribas, C.R.<sup>2</sup>, Solar, R.<sup>1</sup>, Schmidt, F.A.<sup>1</sup>, Campos, R.B.F.<sup>3</sup> e Schoereder, J.H.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Entomologia – Universidade Federal de Viçosa, P.H. Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais, 36570-000, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Ecologia – Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, Minas Gerais, 37200-00, Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Superior de Educação – Fundação Educacional de Divinópolis, Av. Paraná, 3001, Jardim Belvedere, Divinópolis, Minas Gerais, 35501-170, Brasil.

<sup>4</sup> Departamento de Biologia Geral – Universidade Federal de Viçosa, P.H. Rolfs, s/n, Viçosa, Minas Gerais, 36570-000, Brasil.

## RESUMO

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010.

**Formigas como bioindicadoras de áreas reabilitadas após atividades de mineração.** Orientador: José Henrique Schoereder. Co-Orientadores: Carla Rodrigues Ribas e Carlos Frankl Sperber.

Atividades de mineração podem causar grandes danos aos ecossistemas, como perda da biodiversidade local, fragmentação de ambientes e a poluição dos mesmos. Para minimizar essas perdas, é necessário monitorar a qualidade ambiental das áreas impactadas e acompanhar a recuperação de determinadas comunidades após a perturbação causada pelo impacto ambiental. Uma das formas de monitoramento ambiental é a utilização de bioindicadores e, dentre os organismos bioindicadores, as formigas representam um grupo com grande potencial de utilização em programas de monitoramento ambiental. Sendo assim, os objetivos deste estudo foram: avaliar a utilização de formigas como bioindicadoras de áreas reabilitadas após impacto causado pela atividade de mineração; e determinar como as comunidades de formigas respondem a essa reabilitação. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: a riqueza de espécies de formigas aumenta com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto ambiental; a composição de espécies em cada uma das áreas varia com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto ambiental. Foram selecionadas quatro áreas que foram depósitos de rejeitos de mineração de ouro, sendo uma das áreas sem processo de reabilitação e as outras três áreas com tempo e técnicas diferentes de reabilitação. Nessas áreas foram coletadas formigas através de armadilhas do tipo “pitfall”, com iscas de sardinha e mel, em dois estratos (epigéico e hipogéico). Foram coletadas 38 espécies de formigas, sendo 31 espécies do microhabitat epigéico e 16 do microhabitat hipogéico. A riqueza de espécies de formigas total, epigéicas e hipogéicas não variou entre as áreas, mas houve variação na composição das espécies de formigas. Formigas podem ser boas indicadoras de reabilitação de áreas impactadas por atividades de mineração. Fazendo um monitoramento adequado do impacto causado pela mineração, as empresas passam a contar com uma ferramenta de avaliação de

recuperação das áreas degradadas, tanto em relação à avaliação do grau de reabilitação quanto da eficiência do método de reabilitação escolhido.

**Palavras-chave:** Composição de espécies, formigas epigéicas, formigas hipogéicas, impacto ambiental e riqueza de espécies.

## ABSTRACT

VALENTIM, Clarisse Lapa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february 2010.

**Ants as environmental impact bioindicators in rehabilitated areas after mining activity.** Advisor: José Henrique Schoereder. Co-advisors: Carla Rodrigues Ribas e Carlos Frankl Sperber.

Mining activity can cause great damages to ecosystems, such as biodiversity loss, habitat fragmentation and habitat pollution. In order to minimize these losses, monitor the environmental quality of such areas, and follow the recovery of some communities after the impact, is required. The use of bioindicator is one of the tools used to monitor the environment. Ants can provides quantitative information on the quality of environment. This study aimed to verify the using of ant communities as bioindicators of environmental impact caused by mining and to check how ants communities respond to this rehabilitation. The hypotheses that the species richness has a positive relationship with time and/or technique used after the impact were tested. Were selected four areas wich were used as gold mining rejects deposits, one of this area did not receive rehabilitation process, and the others three differ in time and technique. Ants were collected with pitfall traps, baited with honey and sardine in two strata (epigaeic and hypogaeic). A total of 38 species were collected being 31 from epigaeic and 16 from hypogaeic. Total ant species richness, epigaeic and hypogaeic, did not change from area to area, but the species composition has change. Ants can be good bioindicators of environmental impact caused by mining. Making a proper monitoring of the minig activities, companies can count on assessing tools for rehabilitation areas. In regard to the degree of rehabilitation's evaluation, and even when considering the choosen rehabilitation method efficiencie.

**Keywords:** Species composition, epigaeic ants, tree ants, environmental impact, species richness.

#### 4.1. Introdução

Atividades de mineração estão entre as principais responsáveis pela degradação ambiental em todo mundo, causando alteração na paisagem decorrente dos processos de exploração, perda da cobertura vegetal, dos recursos bióticos, da camada superficial do solo e poluição do ar, água e solo (Dias & Griffith, 1998).

Geralmente, atividades de mineração causam sérios danos para o ambiente, mas a mineração de ouro, em específico, é uma das atividades de maior risco para os ecossistemas. Depósitos de rejeitos decorrentes de atividades de mineração de ouro são fontes de contaminação ambiental graças à presença de metais pesados e arsênio, principalmente quando esses materiais contêm minerais sulfetados e teores elevados de metais (Salomons, 1995).

Entre os contaminantes resultantes das atividades de mineração do ouro, o arsênio merece destaque, por possuir elevada toxicidade a vegetais, animais e humanos, podendo afetar a abundância, riqueza de espécies e a estrutura das comunidades biológicas (Hoffman et al., 2000; Hoffman & Andersen, 2003). Além disso, resíduos tóxicos, como o arsênio, podem ser acumulados em tecidos vegetais que serão ingeridos por animais e que por sua vez são utilizados na alimentação humana (Foster, 2003).

Portanto, é de responsabilidade das empresas mineradoras a mitigação desses impactos (Griffith, 1992). No caso da mineração a possibilidade de restauração é, de fato, bastante improvável, senão impossível. Assim, o conceito de reabilitação se destaca no caso da mineração, como “conjunto de procedimentos através do qual se minimizam os impactos bióticos e abióticos causados pelas atividades de mineração, de acordo com planejamento preestabelecido” (Willians et al., 1990).

O processo de reabilitação normalmente compreende dois estágios: o desenho e a configuração da paisagem com a reconstrução de uma superfície estável do solo; e a revegetação ou desenvolvimento de uma alternativa de uso do solo sobre a paisagem reconstruída (Willians et al., 1990).

Assim, para minimizar os impactos causados pelas atividades de mineração ou evitar a dispersão dos contaminantes no ambiente (Accioly & Siqueira, 2000), é necessário monitorar a qualidade ambiental das áreas impactadas e acompanhar a

recuperação de determinadas comunidades após a perturbação causada pelo impacto ambiental (Niemi & McDonald, 2004).

Uma das formas de monitoramento ambiental que tem sido cada vez mais utilizada, por ser pouco onerosa, é a utilização de bioindicadores, que indicam as condições do ambiente, prevendo problemas ecológicos ou diagnosticando as causas das mudanças ambientais (Niemi & McDonald, 2004; Hilty & Merenlender, 2000).

Os organismos indicadores fornecem informações úteis para o monitoramento de práticas de manejo, visando à reabilitação de ecossistemas degradados (Majer, 1992). Por serem muito abundantes e sensíveis a mudanças no ambiente, os insetos apresentam alto potencial para serem utilizados com esse propósito (Pereira, 2007). Entre os insetos, as formigas merecem destaque, pois além das características citadas acima, são de grande importância ecológica, distribuição geográfica ampla, alta riqueza local e regional, possuem taxonomia e ecologia relativamente bem conhecidas e são facilmente amostradas (Alonso & Agosti, 2000).

O uso de determinadas espécies ou grupos de organismos como indicadores do sucesso de práticas de reabilitação ambiental tem sido difundido nas últimas décadas (Hilty & Merenlender, 2000). No Brasil, vários trabalhos utilizaram comunidades de formigas como bioindicadoras, como em áreas perturbadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas, MG (Majer, 1992), e em Trombetas, PA (Majer, 1996).

Para avaliar a recuperação das comunidades após impactos ambientais inúmeros parâmetros têm sido utilizados, como medidas de abundância, diversidade e composição de espécies, englobando respostas em nível de populações e comunidades (Rabitsch 1995, 1997; Eeva et al., 2004; Sorvari et al., 2006). Mas o grande desafio é desenvolver ou adaptar critérios válidos para monitorar e avaliar a funcionalidade da área, bem como discriminar os indicadores que forneçam as informações desejadas com exatidão e a custos aceitáveis.

O presente estudo teve como objetivo verificar a utilização de formigas como bioindicadoras de reabilitação de áreas degradadas após impacto ambiental causado pela mineradora de ouro; e determinar como as comunidades de formigas respondem a reabilitação. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: (i) a riqueza de espécies de formigas aumenta com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto

ambiental; (ii) a composição de espécies em cada uma das áreas varia com o tempo e/ou da técnica de reabilitação após o impacto ambiental.

## **4.2. Material e Métodos**

### *4.2.1. Local de coleta*

O trabalho foi realizado em locais em reabilitação ambiental após atividades de mineração de ouro da empresa, em março de 2007, no município de Nova Lima, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil (19° 59' 9" S e 43° 50' 49" W). As áreas estudadas ficam próximas ao Rio das Velhas. A altitude é de 722m acima do nível do mar e a temperatura média anual é em torno de 21,1°C.

A área na qual a AngloGold Ashanti South America está localizada na região conhecida como Quadrilátero Ferrífero e abriga operações de mineração de ouro atuais e históricas. A AngloGold iniciou suas atividades com a aquisição da Mineradora Morro Velho, com o objetivo de expandir os negócios e aumentar a produção de ouro. Sob a influência de antiga mineração de ouro, a partir do ano de 2002, a mineradora AngloGold desenvolveu projetos de recuperação de áreas com antigos depósitos de rejeitos resultantes da mineração.

As áreas (Figura 1) que sofreram processo de reabilitação contaram com o preparo do solo, através da adição de diferentes camadas de solo e argila sobre o rejeito de mineração que continha arsênio, aplicação de corretivos e adubos, plantio de gramíneas e/ou espécies herbáceas e arbustivas. Uma descrição mais detalhada de cada uma das áreas segue abaixo.

Resende: área em declive localizada próximo a região central da cidade de Nova Lima. Nessa área, o processo de reabilitação se iniciou a partir do ano de 2006 e contou com o preparo do solo e revegetação com gramíneas (19° 59' 16.2" S e 43° 50' 16.2" W).

Galo: área localizada próximo ao Rio das Velhas, sua reabilitação foi iniciada no ano de 2005. Sofreu o mesmo processo de reabilitação que o local acima, e revegetação com gramíneas (19° 58' 52.7" S e 43° 49' 26.1" W).

Galo Revegetado: área localizada próximo ao Rio das Velhas, sua reabilitação realizada a partir do ano de 2004 e também contou com o preparo do solo, aplicação de corretivos e adubos, revegetação com gramíneas e espécies herbáceas e arbustivas (19° 58' 51.5" S e 43° 49' 25.4" W).

Isolamento: área em declive localizada próxima a região central da cidade de Nova Lima, onde houve a deposição de camadas de argila para isolar o arsênio e não houve processo de reabilitação. Nesta área há presença natural de gramíneas e espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas (19° 59' 16.2" S e 43° 50' 16.2" W).

#### 4.2.2. *Coletas de formigas*

As formigas foram coletadas através de armadilha do tipo “pitfall”, com iscas de sardinha e mel, em dois estratos de cada ambiente de forma a amostrar dois segmentos das comunidades: epigéicas e hipogéicas. Em cada ambiente amostrado foram instaladas 20 armadilhas (10 armadilhas em cada estrato), distantes 10 m entre si. As armadilhas permaneceram no campo por 48 horas.

As formigas foram montadas e identificadas no laboratório de Ecologia de Comunidades da UFV, até o nível de gênero, com auxílio de chaves de identificação contidas em Bolton (2003) ou Fernández (2003) e quando possível até espécie. Posteriormente a identificação foi confirmada por Rodrigo Feitosa por comparação com espécimes do Museu de Zoologia da USP.

#### 4.2.3. *Amostragem das estimativas de recursos*

Foram coletadas informações específicas dos recursos e condições (variáveis explicativas) nos dois estratos onde as formigas foram coletadas.

Nas áreas de depósitos de rejeitos de mineração do ouro foi verificada a porcentagem de cobertura vegetal (medida indireta de condição) para as formigas epigéicas. Para as análises da cobertura vegetal foram feitas fotos ao nível do solo, com a lente da máquina fotográfica voltada para cima, e posteriormente estimada a porcentagem de cobertura vegetal através do software Gap Light Analyzer (GLA).

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras de solo para avaliação da quantidade relativa de matéria orgânica (medida indireta de recurso) e para verificar a presença de arsênio, um dos principais resíduos de atividades de mineração de ouro.

A concentração de arsênio foi verificada por meio de análises químicas, extraíndo-se o arsênio das amostras de solo através do extrator Mehlich 3 que é uma mistura de ácidos, sais e quelante ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  0,25 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{NH}_4\text{F}$  0,015 mol L<sup>-1</sup> +  $\text{HNO}_3$  0,013 mol L<sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>) (Mehlich, 1984).

#### 4.2.4. *Análises estatísticas*

A riqueza de espécies de formigas foi analisada no total (dados dos dois microhabitats amostrados) e por microhabitats (epigéico e hipogéico). Para testar a hipótese de que a riqueza de espécies de formigas varia com as características das áreas foi feita uma análise de variância, com distribuição Poisson. A variável resposta foi à riqueza de espécies e a variável explicativa foram as diferentes áreas.

Para testar as hipóteses explicativas acima, diferentes variáveis foram analisadas, por representarem estimativas de recursos para as formigas de cada microhabitat estudado.

Para o microhabitat epigéico, foi testada a relação entre o número de espécies de formigas epigéicas (variável resposta) e a porcentagem de cobertura vegetal (variável explicativa). Para o microhabitat hipogéico, foi testada a relação entre o número de espécies de formigas hipogéicas, variável resposta, e a variável explicativa matéria orgânica. As duas análises foram feitas com regressão linear simples, com distribuição Poisson.

Foi testado também se as variáveis explicativas (porcentagem de cobertura vegetal e matéria orgânica) eram diferentes entre as áreas, através do modelo linear generalizado, acrescentando ao modelo as áreas como variável categórica.

Para o teste da hipótese que a composição de espécies em cada uma das áreas é dependente do tempo e/ou da técnica de reabilitação, utilizamos análises multivariadas. Primeiramente construiu-se um mapa de ordenação em duas dimensões através de NMDS (Non-metric multidimensional scaling), utilizando-se o índice Raup-Crick de

similaridade, calculado a partir de matrizes de presença/ausência para cada área e cada microhabitat.

Para testar a significância das possíveis diferenças na composição indicadas pelo mapa gerado pelo NMDS, realizou-se a comparação das distribuições de similaridades entre as áreas por ANOSIM (analysis of similarity), teste análogo a ANOVA (Clarke e Green, 1988). Para avaliar a significância das diferenças de dissimilaridades entre as áreas observou-se o valor de R. O valor de R indica quão distintos são os grupos criados na análise, sendo zero o menor valor possível e indicativo da distribuição aleatória dos dados enquanto que o valor máximo equivale a um e indica grupos absolutamente distintos. A significância do valor de R calculado foi determinada pela sua comparação com o resultado da permutação das amostras 10000 vezes.

No caso de se mostrarem grupos distintos de espécies em alguma área, a identidade das espécies que contribuem para esta distinção foi investigada através do teste SIMPER (similarity percentage) (Clarke, 1993).

Todas as análises de riqueza de espécies foram realizadas no software R (R Development Core Team 2009), seguidas de análise de resíduos para verificar a distribuição de erros e adequabilidade do modelo (Crawley 2002) e as análises de composição no software PAST (Hammer, 2001).

### **4.3. Resultados**

Foram coletadas 38 espécies de formigas pertencentes a 18 gêneros e 14 tribos, representando seis das 14 subfamílias descritas para a região Neotropical por Bolton (2003). Dessas espécies, 31 foram coletadas em armadilhas epigéicas e 16 em armadilhas hipogéicas (Tabela 7).

A área que apresentou o maior número de espécies foi o Isolamento com 23 espécies de formigas, seguida das áreas Galo Revegetado e Galo com 13 espécies e por fim, Resende com quatro espécies de formigas (Tabela 7).

A subfamília com maior número de espécies foi Myrmicinae, com sete tribos, nove gêneros e 22 espécies de formigas (55%), seguida da Formicinae, com três tribos, três gêneros e nove espécies (23%); Ponerinae, com uma tribo, dois gêneros e quatro espécies (10%); Dolichoderinae, com uma tribo, dois gêneros e três espécies (8%);

Pseudomyrmecinae, com uma tribo, um gênero e três espécies (8%) e Ectatomminae, com uma tribo, um gênero e uma espécie (3%).

Não foi encontrado arsênio nos pontos amostrais ao longo de todas as quatro áreas estudadas. Apenas na área Resende foi detectada a presença de arsênio em um ponto amostral.

#### 4.3.1. *Formigas epigéicas e hipogéicas (Total)*

A riqueza total de espécies de formigas não variou significativamente entre as áreas ( $F = 1,37$ ;  $p = 0,27$ ).

A composição total de espécies de formigas (epigéicas e hipogéicas) difere significativamente entre as áreas Galo Revegetado e Galo (ANOSIM,  $R = 0,34$ ;  $p < 0,0001$ ; Figura 2; Tabela 1). Os resultados do teste SIMPER para essas áreas mostram que sete espécies são responsáveis pelo acúmulo de aproximadamente 50% de distinção das comunidades encontradas (Tabela 2).

#### 4.3.2. *Formigas epigéicas*

A riqueza de espécies de formigas epigéicas não variou entre as áreas ( $\chi^2 = 3,30$ ;  $p = 0,35$ ). Também não foi observada relação significativa da riqueza de espécies epigéicas com a porcentagem de cobertura vegetal ( $\chi^2 = 1,42$ ;  $p = 0,23$ ).

A composição das espécies de formigas epigéicas difere significativamente em quase todas as áreas (ANOSIM,  $R = 0,37$ ;  $p < 0,0001$ ; Figura 3; Tabela 3), exceto entre as áreas Isolamento e Resende. Os resultados do teste SIMPER para cada área onde foi possível distinguir os grupos de modo estatisticamente significativo mostram cinco espécies responsáveis por aproximadamente 50% da distinção das comunidades encontradas (Tabela 4).

#### 4.3.3. *Formigas hipogéicas*

Não há diferença significativa entre a riqueza de espécies de formigas hipogéicas entre as áreas ( $F = 1,27$ ;  $p = 0,30$ ). A riqueza de espécies de formigas hipogéicas não apresentou relação significativa com a matéria orgânica ( $\chi^2 = 3,55$ ;  $p = 0,07$ ).

A composição das espécies de formigas hipogéicas difere significativamente entre as áreas (ANOSIM,  $R = 0,24$ ;  $p < 0,0001$ ; Figura 4; Tabela 5). Os resultados do teste SIMPER mostram que três espécies são responsáveis por aproximadamente 50% da distinção das comunidades encontradas (Tabela 6).

#### 4.3.4. *Variáveis explicativas*

A cobertura vegetal variou significativamente entre as áreas, sendo que nas áreas Galo e Resende não havia cobertura vegetal e nas áreas Isolamento e Galo Revegetado havia cobertura, mas esta não era diferente entre essas duas áreas ( $\chi^2 = 2763$ ;  $p = 0,01$ ; Figura 5).

A quantidade de matéria orgânica variou significativamente entre as áreas ( $\chi^2 = 34,72$ ;  $p < 0,0001$ ; Figura 6), sendo maior na área Galo do que nas outras três áreas que apresentaram a mesma quantidade de matéria orgânica.

### 4.4. **Discussão**

Não há variação na riqueza de espécies de formigas entre as áreas, em nenhum dos microhabitats amostrados. No entanto, houve mudanças significativas na composição de espécies nos dois microhabitats analisados (epigéico e hipogéico).

A ausência de variação da riqueza de espécies pode ser explicada, provavelmente, devido à ação de fatores bióticos sobre as comunidades de formigas das áreas, principalmente à baixa diversificação vegetal. De acordo com Soares et al. (2001), a quantidade, a disponibilidade e a heterogeneidade espacial dos recursos, podem ser importantes na determinação da riqueza local de espécies de formigas, sendo que habitats mais homogêneos apresentam limitações à presença de organismos, devido à falta de recursos proporcionados por estes ambientes (Pereira, 2007).

O número de espécies formigas coletadas em todos os pontos amostrais foi mais alto na área Isolamento. Esta área apresenta uma maior diversificação vegetal, é mais velha e está em processo de regeneração natural. Posteriormente, das 38 espécies de formigas coletadas 13 foram coletadas nas áreas Galo Revegetado, onde a revegetação foi composta por gramíneas e espécies herbáceas e arbustivas e Galo onde, apesar de ser composta de apenas gramíneas está localizada ao lado da área Galo Revegetado. Por final na área Resende, obteve-se o menor número de espécies de formigas, área esta revegetada apenas com gramíneas e a mais recente das áreas reabilitadas.

Portanto, a heterogeneidade da área e a idade parecem ser importantes em relação ao número de espécies coletadas, e como não temos repetição das técnicas de reabilitação realizadas em cada área, seria necessário analisar mais áreas com as mesmas técnicas para testar esta hipótese.

A cobertura vegetal apresentou relação significativa com as áreas, ou seja, a cobertura vegetal foi igual nas áreas onde havia vegetação arbóreas e/ou arbustivas, Isolamento e Galo revegetado, e nula nas áreas com revegetação apenas com gramíneas, Galo e Resende. A quantidade de matéria orgânica parece ser recurso para as formigas, pois as características das áreas influenciaram na quantidade de matéria orgânica, sendo maior na área Galo.

Apesar da ausência de variação da riqueza de espécies de formigas em cada ponto amostral das áreas, a composição das comunidades é diferente. A variação na composição de espécies total (epigéico e hipogéico) pode ser explicada por refletir os resultados da composição das espécies epigéicas e hipogéicas.

A maior frequência dos gêneros *Crematogaster*, *Paratrechina* e *Solenopsis*, tanto entre as formigas epigéicas quanto as hipogéicas pode ser explicada por estas estarem relacionadas a locais de baixa heterogeneidade ambiental (Wink et al., 2005), serem generalistas na escolha do hábito alimentar (Delabie & Fowler, 1995) e se adaptarem bem a locais perturbados (Wink et al., 2005).

Em relação à identidade das formigas que habitam ambientes perturbados, parece haver um conjunto particular de espécies. As espécies *Crematogaster evallans*, *Paratrechina* pr. *fulva* e *Solenopsis invicta* foram às espécies que mais contribuíram para a distinção dos grupos para as formigas epigéicas (Tabela 4). Essas espécies foram mais frequentes nas áreas onde o período de reabilitação foi mais recente e só existem

gramíneas (Galo e Resende) em relação a área onde a reabilitação é mais antiga e o ambiente tem presença de herbáceas, arbustivas e/ou árvores (Isolamento e Galo Revegetado). Isso se deve, provavelmente, a estas espécies possuírem características de alta abundância local, por se adaptarem bem a locais com baixa heterogeneidade e a locais perturbados (Wink et al., 2005).

No microhabitat hipogéico, as espécies que mais contribuíram para a distinção dos grupos foram duas das já citadas acima: *Solenopsis invicta* e *Paratrechina pr. fulva*, além de uma espécie de *Hypoponera*. Nesse caso *Solenopsis invicta* aparece com uma baixa frequência no Isolamento (ambiente mais heterogêneo) em comparação com as outras áreas e *Paratrechina pr. fulva* com uma baixa frequência em todas as áreas. Já *Hypoponera* só aparece na área mais nova e com a presença somente de gramíneas – Resende. O gênero *Hypoponera* é um dos gêneros mais representativos dentro da subfamília Ponerinae com relação ao número de espécies, e são generalistas e predadores hipogéicos de serapilheira (Weiser & Kaspari, 2006).

De acordo com os resultados apresentados nesse estudo, as espécies mais frequentes nas áreas estudadas, *Crematogaster evallans*, *Paratrechina pr. fulva* e *Solenopsis invicta*, são espécies a serem utilizadas como indicadoras de impactos ambientais causados pela atividade de mineração.

O procedimento de reabilitação, cobrindo o depósito de rejeitos com argila e solo, realizado pela empresa nas áreas estudadas, pode ser considerado eficiente quando analisado em relação ao arsênio, uma vez que não encontramos arsênio em quase nenhuma amostra analisada. Somente em um ponto encontramos arsênio, na área Resende que é a mais nova.

A reabilitação da vegetação das áreas realizada pela empresa não alterou a riqueza de espécies de formigas em cada um dos locais (ponto amostral), mas parece haver uma tendência de quanto mais complexa, quanto mais heterogênea a vegetação, maior o número de espécies do local. Na área Isolamento havia a presença de duas árvores em dois pontos amostrais, onde também foram coletadas espécies de formigas. Apesar dessas espécies não terem entrado nas análises, uma vez que nas outras áreas não havia presença de árvores e, portanto, não dava para comparar, a presença de árvores realmente traz espécies novas pro local, como as espécies *Cephalotes pusillus* e *Pseudomyrmex* sp1, que não apareceram em nenhuma outra área.

Essa relação entre a riqueza de espécies de formigas e a heterogeneidade ambiental já foi encontrada por outros autores (e.g. Ribas et al 2003; Soares et al. 2001; Pereira 2007). Além disso, a reabilitação da vegetação influenciou na composição de formigas. Novamente, ambientes com mais diversidade de vegetação, independente de terem sido reabilitados pela empresa (Galo Revegetado) ou naturalmente (Isolamento), tem uma composição diferenciada de espécies epigéicas e hipogéicas em relação as outras duas áreas onde só houve o plantio de gramíneas (Galo e Resende).

Dessa forma, a empresa pode melhorar o processo de reabilitação das áreas, adotando o plantio de árvores, pois apenas a plantação de gramíneas, como ocorreu em algumas áreas, limita à presença de organismos, devido à falta de recursos proporcionados por estes ambientes.

A análise de somente um parâmetro da comunidade de formigas, por exemplo, a riqueza de espécies, não é suficiente para utilizar formigas como bioindicadoras de impactos ambientais. A maioria dos trabalhos relacionados a bioindicação de impactos ambientais e de sua reabilitação, através de formigas, fica restrita a descrição de respostas das comunidades, não promovendo generalizações e avanço no entendimento dos processos que causam as respostas observadas.

Portanto, a nossa proposta de verificar pressupostos e estabelecer hipóteses em diferentes estratos pode ser uma maneira de suprimir e preencher lacunas que faltarem nos trabalhos realizados, possibilitando a utilização de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e de sua recuperação.

Nosso trabalho contribuiu para um entendimento mais integral da resposta da comunidade de formigas ao impacto ambiental, bem como para a utilização destes insetos na avaliação da recuperação de áreas degradadas ao gerar informações mais conclusivas e passíveis de generalizações sobre a utilização de formigas como bioindicadoras. Além disso, encontramos três espécies de formigas que são possíveis indicadores de impactos ambientais causados por atividades de mineração.

## **Agradecimentos**

Nossos agradecimentos à Empresa AngloGold Ashanti South America por permitir a realização das coletas. Clarisse Lapa Valentim, José Henrique Schoederer,

Carla R. Ribas, Fernando Schmidt, Ricardo Solar e Renata Campos receberam bolsas e financiamento da FAPEMIG e do CNPq.

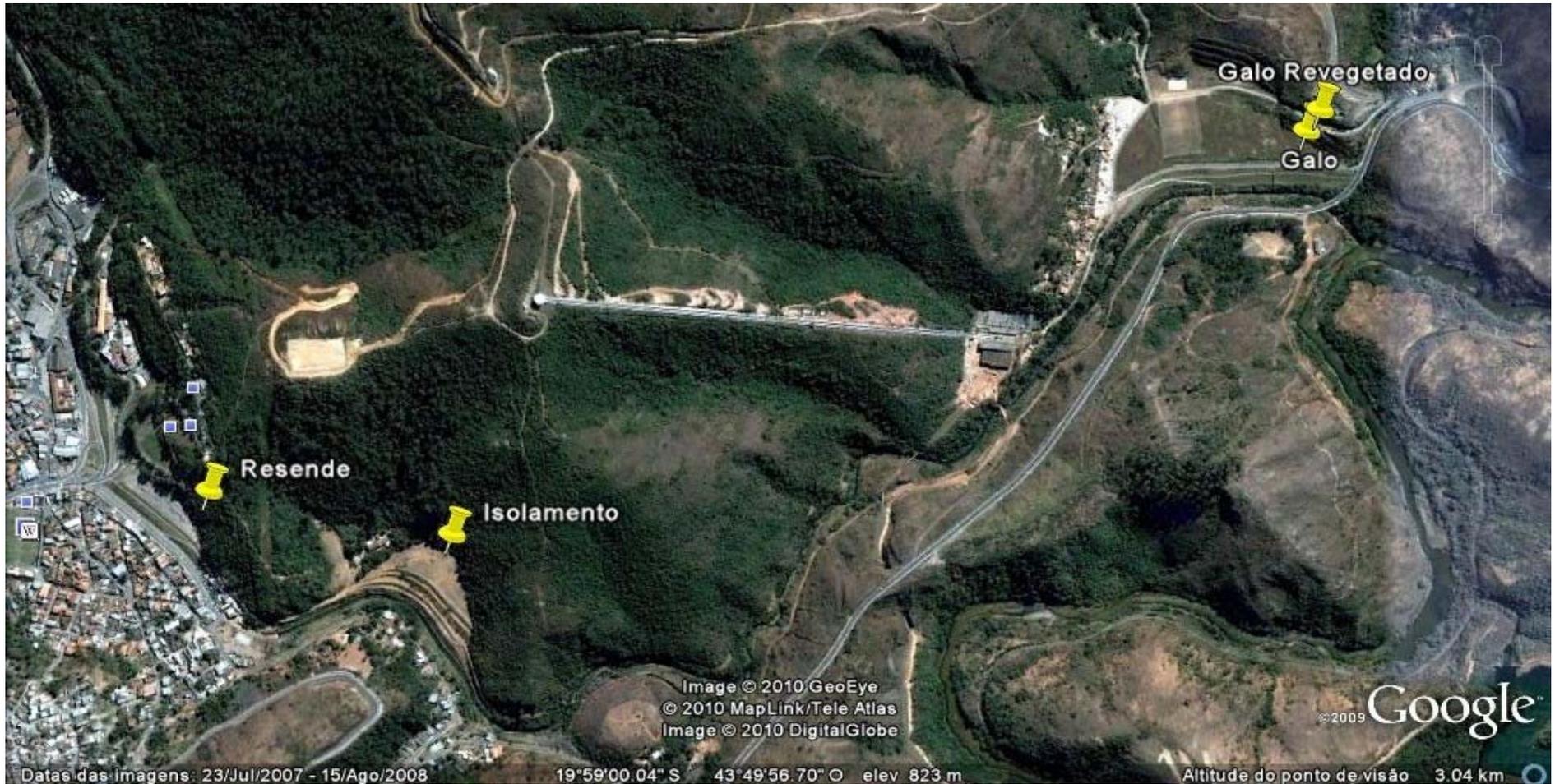
#### **4.5. Referências Bibliográficas**

- Accioly, A.M.A. & Siqueira, J.O., 2000. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R.F., Alvarez V., Schaefer, C.E.G.R. Tópicos em ciências do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 299-352.
- Alonso, L.E. & Agosti, D., 2000. Biodiversity studies, monitoring, and ants: An overview. In: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso, L.E., Schultz, T.R. (Ed.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1-8.
- Bolton, B. 2003. Synopsis and classification of Formicidae. *Memoirs of the American Entomological Institute*, 370 p.
- Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18, 117-143.
- Clarke, K.R. & Green, R.H., 1988. Statistical design and analysis for a biological effects study. *Marine Ecology Progress Series* 46, 213-226.
- Crawley, M.J., 2002. *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. John Wiley and Sons, Chichester.
- Delabie, J.H.C. & Fowler, H.G., 1995. Soil and litter cryptic ant assemblages of Bahia cocoa plantations. *Pedobiologia, Jena* 39, 423-433.
- Dias, L.E. & Griffith, J.J., 1998. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Dias, L.E. & Mello, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1-7.
- Eeva, T., Sorvari, J. & Koivunen, V., 2004. Effects of heavy metal pollution on red wood ant (*Formica s. str.*) populations. *Environmental Pollution* 132, 533-539.
- Fernández, F., 2003. *Introducción a las orugas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 398 p.

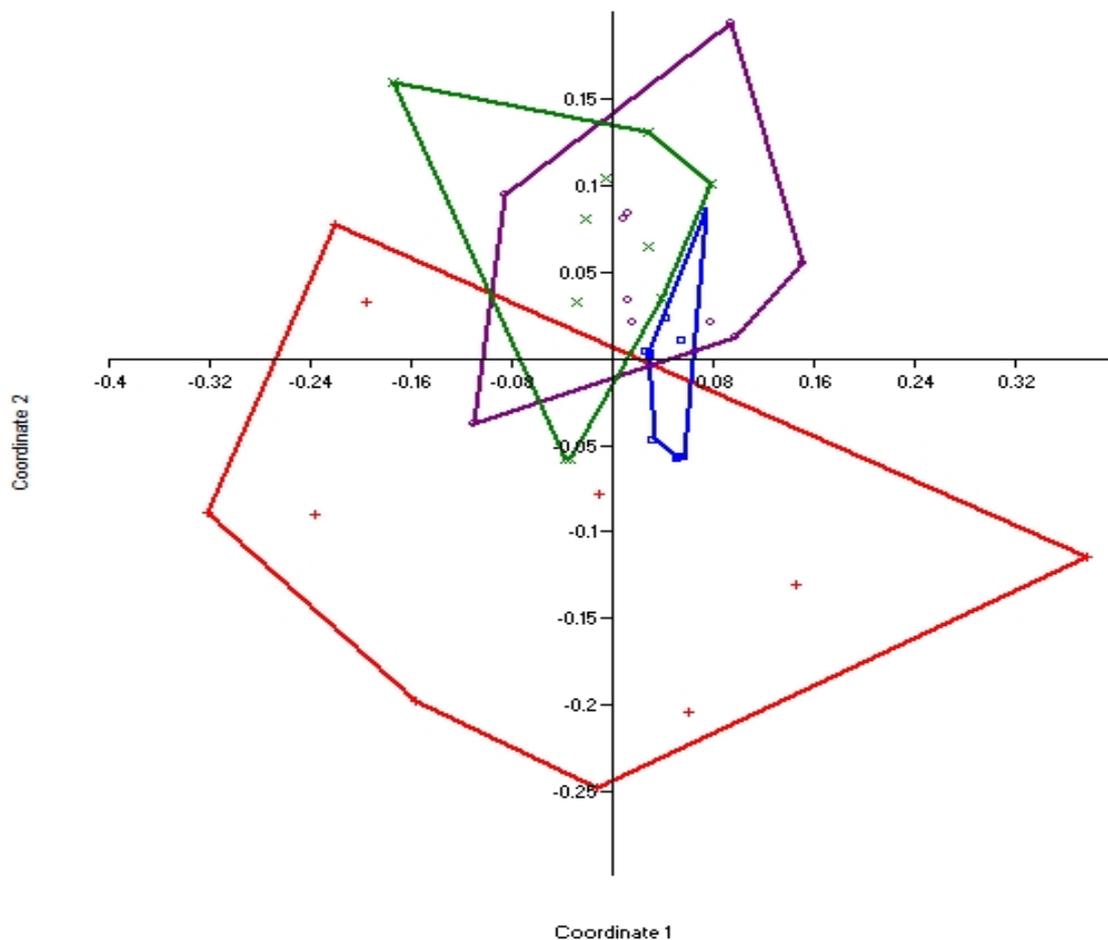
- Foster, A.L., 2003. Spectroscopic investigation of arsenic species in solid phases. In: A. H. Welch, & K. G. Stollenwerk (Eds.), *Arsenic in ground water: geochemistry and occurrence*. Boston, Massachusetts: Kluwer, 27–65.
- Griffith, J.J., 1992. O estado da arte na recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: *Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas*, 1. Curitiba. Anais Curitiba: Fupef, 77-82.
- Hammer, Ø., Harper, A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaentologia Electronica*, 4-9.
- Hilty, J. & Merenlender, A., 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation* 92, 185-197.
- Hoffmann, B.D., Griffiths, A.D. & Andersen, A.N., 2000. Responses of ant communities to dry sulfur deposition from mining emissions in semi-arid tropical Australia, with implications for the use of function groups. *Austral Ecology* 25, 653-663.
- Hoffmann, B.D. & Andersen, A.N., 2003. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology* 28, 444-464.
- Majer, J.D., 1992. Ant recolonization of rehabilitation bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge 8, 97-108.
- Majer, J.D., 1996. Ant recolonization of rehabilitation bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge 12, 257-273.
- Mehlich, A., 1984. Mehlich 3 soil test extractant a modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Science Plant Analysis* 15, 1409-1416.
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E., 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35, 89-111.
- Pereira, M.P.S., Queiroz, J.M., Valcarcel, R., Mayhé-Nunes, A.J., 2007. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na Ilha da Madeira, Itaguaí, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria 17, 197-204.
- R Development Core Team (2009). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical computing, Vienna, Austria. <http://www.r-project.org>
- Rabitsch, W.B., 1995. Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. II. Formicidae. *Environmental Pollution* 90, 239-247.

- Rabitsch, W.B., 1997. Tissue-Specific Accumulation Patterns of Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, and Mn in Workers of Three Ant Species (Formicidae, Hymenoptera) from a Metal-Polluted Site. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 32, 172–177.
- Ribas, C. R., Schoederer, J.H., Pic M., Soares, S.M., 2003. Tree heterogeneity, resource availability, and large scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology* 28, 305-314.
- Soares, S.M., Schoederer, J.H., DeSouza, O., 2001. Processes involved in species saturation of ground-dwelling ant communities (Hymenoptera, Formicidae). *Austral Ecology Victoria* 21, 187-192.
- Salomons, W, 1995. Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. *Journal Geochemical Exploration* 52, 5-23.
- Sorvari, J., Rantala, L.M., Rantala, M.J., Hakkarainen, H. & Eeva, T., 2006. Heavy metal pollution disturbs immune response in wild ant populations. *Environmental Pollution*, in press.
- Weiser, M.D & Kaspari, M., 2006. Ecological morphospace of New World ants. *Ecological Entomology* 31, 131–142.
- Willians, D.D., Bugin, A., Reis, J.L.B., 1990. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação, Brasília: IBAMA, 96 p.
- Wink, C., Guedes, J.V.C., Fagundes, C.K., Rovedder, A.P., 2005. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages* 4, 60-71.

#### 4.6. Figuras e Tabelas



**Figura 1** – Áreas que foram depósitos de rejeitos de mineração de ouro em Nova Lima, MG, Brasil (Foto: Google Earth).



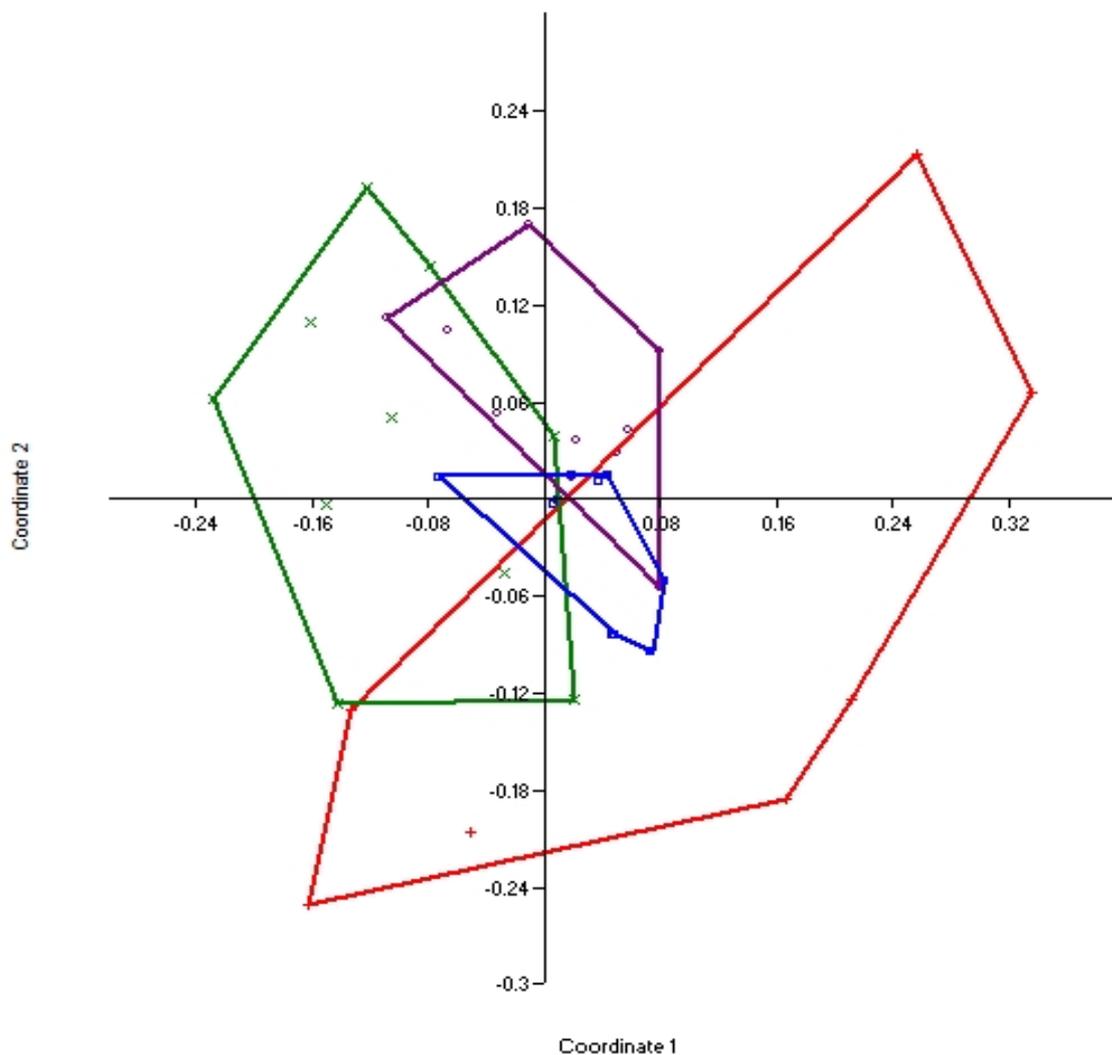
**Figura 2** - Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0,21.

**Tabela 1** – Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.

	<b>Isolamento</b>	<b>Galo Revegetado</b>	<b>Galo</b>	<b>Resende</b>
<b>Isolamento</b>	-	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
<b>Galo Revegetado</b>		-	0,02	p < 0,0001
<b>Galo</b>			-	
<b>Resende</b>				-

**Tabela 2** - Lista de contribuição das espécies total de formigas (epigéicas e hipogéicas) comparando a frequência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).

Espécie	<b>Contribuição</b>	Porcentagem acumulada	Freq. média <b>Isolamento</b>	Freq. média <b>Galo Reveg.</b>	Freq. média <b>Galo</b>	Freq. média <b>Resende</b>
<i>Crematogaster evallans</i>	8,694	11,66	0	0,7	0,9	0,6
<i>Paratrechina pr. fulva</i>	7,089	21,16	0	0,4	0,1	0,7
<i>Solenopsis invicta</i>	6,944	30,47	0,4	0,8	0,8	0,9
<i>Hypoponera sp.</i>	5,331	37,62	0	0	0	0,7
<i>Pheidole sp. 7</i>	4,833	44,10	0,2	0,3	0,2	0
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	4,797	50,53	0	0,6	0,2	0
<i>Camponotus rufipes</i>	3,801	55,62	0,1	0,4	0	0



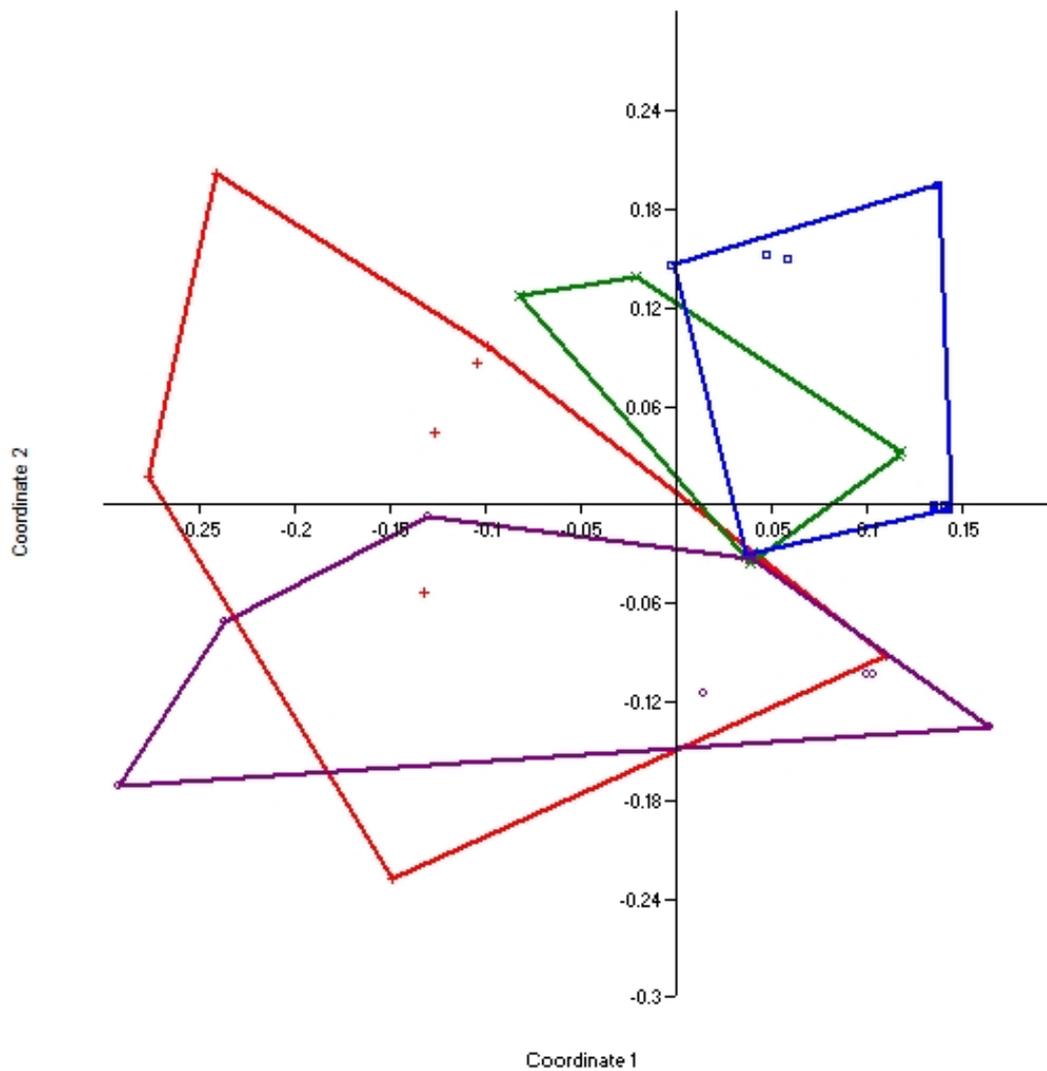
**Figura 3** - Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies de formigas epigéicas em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0.21.

**Tabela 3** – Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies de formigas epigéicas em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.

	<b>Isolamento</b>	<b>Galo Revegetado</b>	<b>Galo</b>	<b>Resende</b>
<b>Isolamento</b>	-	0,0003	0,0002	p < 0,0001
<b>Galo Revegetado</b>		-	0,0087	0,0001
<b>Galo</b>			-	0,0053
<b>Resende</b>				-

**Tabela 4** - Lista de contribuição das espécies de formigas epigéicas comparando a frequência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).

Espécie	<b>Contribuição</b>	Porcentagem acumulada	Freq. média <b>Isolamento</b>	Freq. média <b>Galo Rev.</b>	Freq. média <b>Galo</b>	Freq. média <b>Resende</b>
<i>Solenopsis invicta</i>	10,32	13,45	0,286	0,3	0,7	0,9
<i>Crematogaster evallans</i>	10,07	26,57	0	0,7	0,9	0,6
<i>Paratrechina pr. fulva</i>	7,585	36,46	0	0,3	0,1	0,6
<i>Dorymyrmex brunneus</i>	6,174	44,51	0	0,6	0,2	0
<i>Camponotus rufipes</i>	5,291	51,40	0,143	0,4	0	0



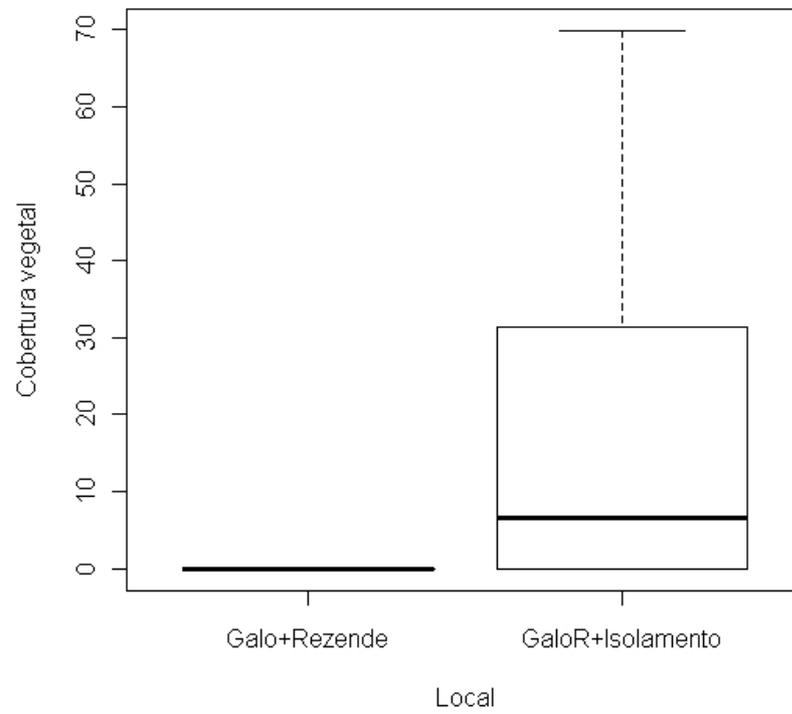
**Figura 4** - Ordenação de escala multidimensional não-métrica da composição de espécies de formigas hipogéicas em relação às áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração do ouro, em Nova Lima - MG. Símbolos – (+) = Isolamento, (x) = Galo Revegetado, (●) = Galo e (■) = Resende. Valor do estresse = 0.24.

**Tabela 5** – Comparação do ANOSIM (analysis of similarity) da composição de espécies de formigas hipogéicas em quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima - MG.

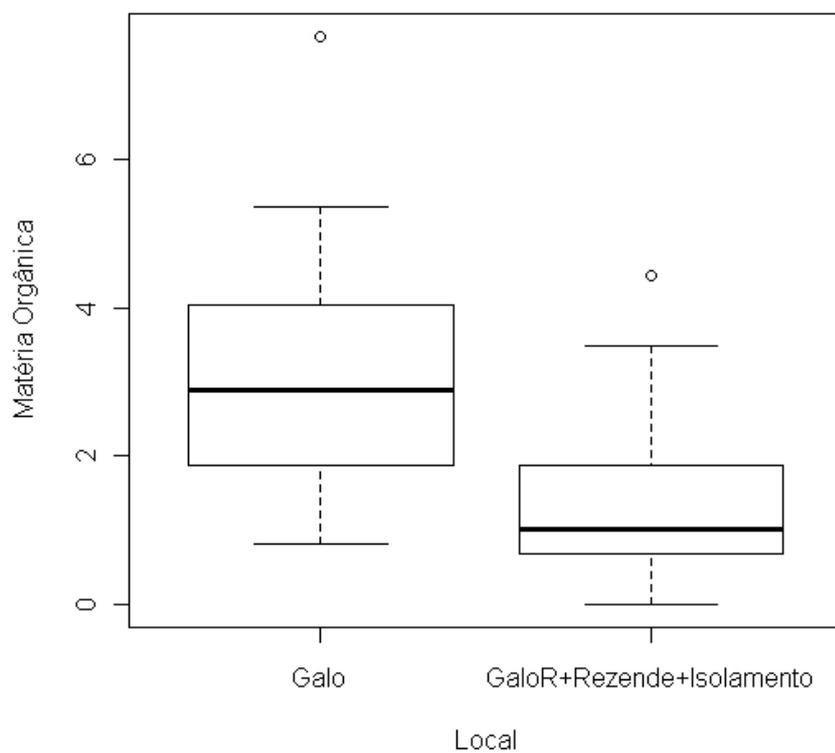
	<b>Isolamento</b>	<b>Galo Revegetado</b>	<b>Galo</b>	<b>Resende</b>
<b>Isolamento</b>	-	0,057 N.S.	0,0682 N.S.	0,0012
<b>Galo Revegetado</b>		-	0,0211	0,005
<b>Galo</b>			-	0,0009
<b>Resende</b>				-

**Tabela 6** - Lista de contribuição das espécies de formigas hipogéicas comparando a freqüência em cada um das áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG, determinado por SIMPER (similarity percentage).

Espécie	<b>Contribuição</b>	Porcentagem acumulada	Freq. média <b>Isolamento</b>	Freq. média <b>Galo Rev.</b>	Freq. média <b>Galo</b>	Freq. média <b>Resende</b>
<i>Solenopsis invicta</i>	18,38	23,73	0,3	0,778	0,667	0,556
<i>Hypoponera sp.</i>	12,64	40,04	0	0	0	0,778
<i>Paratrechina pr. fulva</i>	8,454	50,95	0	0,333	0	0,222



**Figura 5** - Relação entre a porcentagem de cobertura vegetal e as áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG ( $\chi^2 = 2763$ ;  $p = 0,01$ ).



**Figura 6** - Relação entre a quantidade de matéria orgânica no solo (dag/kg) e as áreas utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração de ouro, em Nova Lima – MG ( $\chi^2 = 34,72$ ;  $p < 0,0001$ ).

**Tabela 7** - Ocorrência das espécies de formigas nas quatro áreas que foram utilizadas como depósitos de rejeitos de mineração, em dois microhabitats (E= epigéico e H = hipogéico).

Espécies de Formicidae	Isolamento	Galo Revegetado	Galo	Resende
<b>Subfamília Dolichoderinae</b>				
<b>Tribo Dolichoderini</b>				
<i>Dorymyrmex brunneus</i>		E	E	
<i>Dorymyrmex spurius</i>		E	E	
<i>Linepithema cerradense</i>	E			
<b>Subfamília Ectatomminae</b>				
<b>Tribo Ectatommini</b>				
<i>Ectatomma edentatum</i>	E			
<b>Subfamília Formicidae</b>				
<b>Tribo Brachymyrmecini</b>				
<i>Brachymyrmex pr. patagonicus</i>	E e H		E e H	
<b>Tribo Camponotini</b>				
<i>Camponotus crassus</i>	H			
<i>Camponotus melanoticus</i>		E e H		
<i>Camponotus pr. fastigatus</i>	E			
<i>Camponotus rufipes</i>	E	E		
<i>Camponotus sp</i>	E			
<i>Camponotus sp1</i>	E			
<b>Tribo Lasiini</b>				
<i>Paratrechina pr. fulva</i>		E e H	E	E e H
<i>Paratrechina sp</i>	E			
<b>Subfamília Myrmicinae</b>				
<b>Tribo Attini</b>				
<i>Atta sexdens</i>		E e H		
<i>Atta sp</i>		E		
<i>Cyphomyrmex pr. rimosus</i>	E	E	E	
<i>Cyphomyrmex sp</i>			E	

“continua...”

Espécies de Formicidae	Isolamento	Galo Revegetado	Galo	Resende
<b>Subfamília Myrmicinae</b>				
<b>Tribo Blepharidattini</b>				
<i>Wasmannia auropunctata</i>	E			
<b>Tribo Crematogastrini</b>				
<i>Crematogaster evallans</i>		E	E e H	E
<i>Crematogaster pr. quadriformis</i>	E			
<b>Tribo Pheidolini</b>				
<i>Pheidole</i> sp	E			
<i>Pheidole</i> sp1	E			
<i>Pheidole</i> sp2			E e H	
<i>Pheidole</i> sp3	E			
<i>Pheidole</i> sp4	H	E	E e H	
<i>Pheidole</i> sp5	H			
<b>Tribo Pheidologetonini</b>				
<i>Carebara</i> sp	H			
<b>Tribo Solenopsidini</b>				
<i>Monomorium floricola</i>			H	
<i>Solenopsis</i> sp	H			
<i>Solenopsis</i> sp1	H			
<i>Solenopsis</i> sp2	E			
<i>Solenopsis invicta</i>	E e H	E e H	E e H	E e H
<b>Subfamília Ponerinae</b>				
<b>Tribo Porenini</b>				
<i>Hypoponera</i> sp				E e H
<i>Hypoponera</i> sp1		E		
<i>Hypoponera</i> sp2			H	
<i>Pachycondyla striata</i>	E			
<b>Subfamília Pseudomyrmecinae</b>				
<b>Tribo Pseudomyrmecini</b>				
<i>Pseudomyrmex termitarius</i>			E	
<i>Pseudomyrmex</i> sp		E		
<b>Total de espécies</b>	<b>23</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>4</b>

## 5. Considerações Finais

Os resultados do presente trabalho evidenciam a importância de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais causado pelo arsênio e bioindicadoras de áreas reabilitadas após atividades de mineração. A riqueza de espécies de formigas e a composição das espécies de formigas, utilizadas como medidas para inferir esses impactos apresentam relações distintas nos locais estudados.

Em relação a impactos ambientais causados por arsênio, formigas arborícolas são boas indicadoras de impactos ambientais causados pelo arsênio e formigas epigéicas não são, o que pode ser útil para a escolha do segmento das comunidades de formigas a ser utilizado em programas de monitoramento ambiental. Embora as formigas sejam potenciais bioindicadoras é necessário cautela na utilização das mesmas, pois cada assembléia pode apresentar uma resposta distinta ao impacto em análise.

Por sua vez, quando utilizamos formigas como bioindicadoras em áreas reabilitadas após atividades de mineração, não houve variação na riqueza de espécies de formigas entre as áreas. A ausência de relação da riqueza de espécies em todos os microhabitats (epigéico e hipogéico) nas diferentes áreas se deve, provavelmente, à ação de fatores bióticos sobre as comunidades de formigas das áreas, principalmente à baixa diversificação vegetal.

Apesar da ausência de padrões de riqueza de espécies nas áreas reabilitadas após atividades de mineração, a composição das comunidades por microhabitats nas diferentes áreas mostram que há diferença entre os grupos de espécies coletadas.

Em relação à identidade das formigas que habitam ambientes perturbados, parece haver um conjunto particular de espécies. As espécies *Crematogaster evallans*, *Paratrechina pr. fulva* e *Solenopsis invicta* foram às espécies mais frequentes nas áreas estudadas e de acordo com os resultados encontrados nesse estudo são espécies a serem utilizadas como indicadoras de impactos ambientais causados pela atividade de mineração.

Portanto, formigas são indicadoras de impactos ambientais causado por arsênio e de áreas reabilitadas após atividades de mineração. Mas, a análise de somente um parâmetro da comunidade de formigas, por exemplo, a riqueza de espécies, não é suficiente para utilizar formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e de

reabilitação de áreas impactadas por atividades de mineração. A maioria dos trabalhos relacionados a bioindicação de impactos ambientais e de sua reabilitação, através de formigas, fica restrita a descrição de respostas das comunidades, não promovendo generalizações e avanço no entendimento dos processos que causam as respostas observadas.

A proposta de verificar pressupostos e estabelecer hipóteses em diferentes estratos pode ser uma maneira de suprimir e preencher lacunas que faltarem nos trabalhos realizados, possibilitando o uso de formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e de sua recuperação.

Nosso trabalho contribuiu para um entendimento mais integral da resposta da comunidade de formigas ao impacto ambiental, bem como para a utilização destes insetos na avaliação da recuperação de áreas degradadas ao gerar informações mais conclusivas e passíveis de generalizações sobre o uso de formigas como bioindicadoras.