

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Quais os impactos de rodovias sobre as comunidades de formigas da Mata Atlântica e suas funções ecossistêmicas?

Jade Carvalho Guimarães
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

JADE CARVALHO GUIMARÃES

Quais os impactos de rodovias sobre as comunidades de formigas da Mata Atlântica e suas funções ecossistêmicas?

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

Orientador: Lucas Navarro Paolucci

Coorientadores: Tathiana G. Sobrinho
Vanessa Soares Ribeiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

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

T

G963q
2025
Guimarães, Jade Carvalho, 1998-
Quais os impactos de rodovias sobre as comunidades de
formigas da Mata Atlântica e suas funções ecossistêmicas? / Jade
Carvalho Guimarães. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (29 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Lucas Navarro Paolucci.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Geral, 2025.
Referências bibliográficas: f. 25-29.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.134>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ecossistemas - Mata Atlântica - Efeito das rodovias.
2. Formigas - Mata Atlântica - Efeito das rodovias. I. Paolucci,
Lucas Navarro, 1984-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Biologia Geral. Mestrado em Ecologia.
III. Título.

CDD 22. ed. 577.270981

JADE CARVALHO GUIMARÃES

Quais os impactos de rodovias sobre as comunidades de formigas da Mata Atlântica e suas funções ecossistêmicas?

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

APROVADA: 4 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

Jade Carvalho Guimarães
Autora

Lucas Navarro Paolucci
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 20/03/2025 às 17:21:46 e pelo orientador em 21/03/2025 às 09:43:47. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **ME7C.JMPX.TSMK** e clique no botão 'Validar documento'.

À minha mãe Márcia Regina Ferreira de Carvalho
que me ensinou a enxergar o mundo com amor
 Às *Mulheres* da minha família
Minha avó Nely que nos trilhou no caminho da educação
Ao meu avô Miron que me viu formar e habita minha memória
Às guveudas: minhas irmãs Pilar, Sofia e Sara, com vocês sou muito mais feliz e são
 meu alicerce na construção da realidade que queremos viver
 À minha família tão resiliente e forte; tias, tios, primas e primos
Ao meu parceiro de vida Arthur, por ser meu kindred spirit e meu grande amor e à
 Suhfi pelo amor incondicional
 À Lorena por dividir e amparar a vida comigo desde os oito anos
À Luísa que tornou minha caminhada mais leve e calma, minha dupla de vida
 Filipe pelas risadas, cumplicidade e apoio desde 2016
 Ao meu melhor amigo, Heithor Simão
Ao Cardume por ser minha segunda família quando retorno para casa
 Às minhas amigas da República Clandestinas
 À Brendinha, Júlia, Dri e Sosô – nossa amizade cura
À Camila por tudo que vivemos e pelo Bento - meu afilhado do coração
 Aos meus amigos da graduação e da vida, nossa história é linda.

AGRADECIMENTOS

Ao Lucas, por ser tão atencioso, sincero, por incentivar minha autonomia e fazer jus ao título de orientador. Obrigada pela leitura crítica e atenta desde os primeiros formulários de hipóteses até esta versão, e por compartilhar conosco seu entusiasmo pela ciência

Às minhas coorientadoras Tathi e Vanessa que se tornaram amigas queridas e contribuíram muito para o meu desenvolvimento profissional

José Schoereder, obrigada por me fazer gostar de Estatística

À Gínia Bontempo, minha amiga e orientadora da graduação, você me ensinou sobre gentileza

Agradeço ao Gustavo, Lucas, Vinícius, Jefferson, Aline, Darwin, Ana, Dante, Geovana, Felipe, Caio, Eduardo e Ísis pela dedicação e colaboração nas coletas de campo

Agradeço à Sílvia pela dedicação com nosso laboratório

Ao meu laboratório EcoTrop, lugar em que fiz lindas amizades

Ao José Eduardo por nunca medir esforços para me ajudar

À Gabriela de Figueiredo, minha amiga e taxonomista deste trabalho

Ao Antônio e todos os motoristas da UFV pela gentileza em nos levar ao nosso destino e nos trazer com segurança para casa

Às funcionárias e funcionários da limpeza do ECS e da UFV que me proporcionaram um ambiente bem cuidado para meu trabalho

Ao chefe do DBG Eduardo e secretário Rafael pelo apoio nas solicitações de transporte

E, por fim, agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de Viçosa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa, que possibilitou a execução desta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no
meio da travessia”
(João Guimarães Rosa)*

RESUMO

GUIMARÃES, Jade Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **Quais os impactos de rodovias sobre as comunidades de formigas da Mata Atlântica e suas funções ecossistêmicas?**. Orientador: Lucas Navarro Paolucci. Coorientadores: Tathiana Guerra Sobrinho e Vanessa Soares Ribeiro.

A fragmentação de habitats, causada por exemplo pela conversão de áreas naturais em cidades, rodovias e pastagens, ameaça a biodiversidade e afeta os ecossistemas florestais. Rodovias intensificam essa fragmentação ao alterar a estrutura das florestas e gerar bordas que modificam o microclima e as interações ecológicas nestes locais. Os fragmentos de Mata Atlântica são, em sua maioria, pequenos e isolados, e vêm perdendo sua integridade. As formigas são organismos ecologicamente dominantes sensíveis a distúrbios antrópicos, e são excelentes modelos de estudo pois desempenham funções para as florestas, como controle de artrópodes, a dispersão de sementes e a ciclagem de nutrientes. Investigamos os impactos de rodovias na estruturação das comunidades de formigas e nas suas funções ecossistêmicas na Mata Atlântica do Sudeste Brasileiro. Nossa hipótese é que as bordas de rodovias afetam as comunidades de formigas de forma mais severa do que as bordas geradas por outros distúrbios. Para isso, amostramos as formigas usando pitfalls epigeicos e quantificamos a remoção de sementes e a predação de invertebrados. A quantidade de rodovia adjacente aos fragmentos florestais altera a composição das comunidades de formigas, mas não altera a riqueza de espécies e nem a remoção de sementes ou a predação de cupins. Observamos variações na densidade da vegetação nas bordas de rodovias e pastagens em relação ao interior dos fragmentos, indicando uma redução na integridade da floresta nessas áreas. A composição de comunidades de formigas é moldada, portanto, por impactos da fragmentação e das rodovias, e este efeito é persistente mesmo em um contexto antigo de fragmentação e degradação.

Palavras-chave: Distúrbios antrópicos; Funções ecossistêmicas; Floresta tropical; Efeito de borda

ABSTRACT

GUIMARÃES, Jade Carvalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **What are the impacts of highways on ant communities in the Atlantic Forest and their ecosystem functions?**. Adviser: Lucas Navarro Paolucci. Co-advisers: Tathiana Guerra Sobrinho and Vanessa Soares Ribeiro.

Habitat fragmentation, caused by the conversion of natural areas into cities, highways, and pastures, threatens biodiversity and affects forest ecosystems. Highways intensify this fragmentation by altering the structure of forests and creating edges that modify the microclimate and ecological interactions in these areas. Most fragments of the Atlantic Forest are small and isolated, and have been losing their integrity. Ants are ecologically dominant organisms that are sensitive to anthropogenic disturbances, and they are excellent study subjects because they perform important functions for forests, such as controlling arthropods, seed dispersal, and nutrient cycling. We investigated the impacts of highways on ant community structure and their ecosystem functions in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. Our hypothesis is that highway edges affect ant communities more severely than edges created by other disturbances. To test this, we sampled ants using epigeic pitfall traps and quantified seed removal and invertebrate predation. The proportion of highway area to forest fragments alters the composition of ant communities but does not affect species richness or seed removal or termite predation. We observed variations in vegetation density at the highway and pasture edges compared to the interior of the fragments, indicating a reduction in forest integrity in these areas. Therefore, the composition of ant communities is shaped by the impacts of fragmentation and highways, and this effect is persistent even in a long-standing context of fragmentation and degradation.

Keywords: Anthropogenic disturbances; Ecosystem functions; Tropical forest; Edge effect

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 9 |
| MÉTODO | 11 |
| Área de estudo..... | 11 |
| Amostragem de variáveis ambientais | 13 |
| Amostragem de comunidades de formigas | 14 |
| Análises estatísticas..... | 17 |
| RESULTADOS | 18 |
| DISCUSSÃO | 21 |
| CONCLUSÃO | 24 |
| REFERÊNCIAS | 25 |

INTRODUÇÃO

A perda e fragmentação de habitats estão entre as principais ameaças à biodiversidade global (Fahrig, 2019), e a conversão de habitats naturais em áreas urbanas, rodovias e pastagens gera fragmentos isolados e imersos em uma matriz antropizada (Haddad et al. 2015). A fragmentação pode reduzir a biodiversidade de 13 a 75%, e pode comprometer funções ecossistêmicas em diversos biomas ao reduzir a biomassa e alterar ciclos de nutrientes (Haddad et al. 2015). Atualmente, por exemplo, a Mata Atlântica apresenta paisagens com 97% dos fragmentos com menos de 50 hectares, e cerca de 60% da vegetação original está a menos de 90 metros das bordas (Vancine et al. 2024). As florestas inseridas nestas paisagens desmatadas são menos saudáveis, possuem temperaturas mais elevadas e apresentam retração na estrutura da vegetação local – o que causa distúrbios na manutenção da biodiversidade e nos processos ecológicos (Faria et al. 2023). Este processo altera a composição da vegetação e, em escalas de paisagem, reduz a diversidade, a extensão e a integridade de florestas subtropicais (Delgado et al. 2007).

As rodovias são um dos principais distúrbios antrópicos que fragmentam as florestas tropicais, pois aumentam a acessibilidade e intensificam a exploração destas áreas (Laurance et al. 2009; Freitas et al. 2010). No Brasil, a maioria das rodovias foi construída na Mata Atlântica e, atualmente, Minas Gerais possui a maior malha rodoviária do país (CNT 2017). Os efeitos da fragmentação se potencializam nos fragmentos menores e mais isolados (Haddad et al. 2015), e as rodovias e ferrovias Brasileiras contribuíram para a fragmentação dos maiores remanescentes de vegetação, reduzindo seu tamanho entre 56% e 94% (Vancine et al. 2024). Além disso, as florestas próximas às rodovias tendem a ser as primeiras a serem exploradas devido à facilidade de acesso promovida pela abertura das vias (Cassela e Filho 2013).

As rodovias, além de fragmentarem a paisagem e alterarem a estrutura vegetal, causam distúrbios físicos, poluição química e atuam como barreiras físicas e genéticas para os organismos (Laurance et al. 2009; Lasmar et al. 2021; Pinto et al. 2022). As matrizes rodoviárias são abruptas, gerando efeitos de borda que alteram o microclima – como temperatura, luz e cobertura do dossel – em até 10 metros para o interior das florestas subtropicais (Delgado et al. 2007). Os efeitos de borda podem modificar as condições microclimáticas nas margens dos fragmentos, levando a alterações na abundância e distribuição de espécies e, conseqüentemente, na interação entre elas, como predação, dispersão de sementes e herbivoria (Murcia, 1995). Esses efeitos afetam

mamíferos, répteis, anfíbios e invertebrados (Knapp et al. 2013; Quiles e Barrientos 2024), levando ao declínio populacional de diversos grupos animais e vegetais (Fahrig 2002).

As formigas são organismos predominantes em florestas tropicais e desempenham funções ecossistêmicas como dispersão de sementes, controle de comunidades de artrópodes, proteção contra a herbivoria de plantas e ciclagem de nutrientes (Del Toro et al. 2012; Wilson 1987). A composição das comunidades de formigas terrestres em florestas tropicais tende a responder a distúrbios ambientais (Majer et al. 2007) e à complexidade ambiental da serrapilheira e da cobertura vegetal (Guilherme et al. 2019), refletindo diretamente na diversidade e nos processos ecossistêmicos a elas associados. As comunidades de formigas são impactadas de maneiras diferentes por distúrbios antrópicos, dependendo do contraste entre as matrizes, das características das bordas e da dimensão da biodiversidade considerada (Martello, 2022). Dada a amplitude da fragmentação da Mata Atlântica (Freitas et al. 2010; Morellato e Haddad 2000; Rezende et al. 2018a; Rezende et al. 2018b), a resposta de comunidades de formigas a distúrbios e seu papel-chave em funções ecossistêmicas contribui para o entendimento do funcionamento de ecossistemas degradados. Apesar disso, pouco se sabe sobre os efeitos das rodovias em comunidades de formigas em comparação ao efeito de outros distúrbios antrópicos.

As bordas de rodovias podem reduzir a área e a qualidade do habitat para invertebrados de serrapilheira em florestas subtropicais (Delgado et al. 2013). Por exemplo, houve um aumento na riqueza de formigas nas margens de rodovias, que oferecem habitats secundários compostos principalmente por gramíneas, situadas nas bordas de florestas da Europa Central (Kaur et al. 2019). Entretanto, em escalas regionais, o aumento de matrizes antropizadas diminui a riqueza de formigas em regiões de transição entre Mata Atlântica e Cerrado (Lasmar et al. 2021). A densidade de rodovias e o uso da terra intensificam a fragmentação florestal, sendo este responsável também por afetar a regeneração da Mata Atlântica (Freitas et al. 2009). As funções ecossistêmicas desempenhadas por formigas, como a herbivoria, por exemplo, podem ser alteradas pela fragmentação e comprometer a regeneração florestal, visto que fragmentos mais isolados apresentam maiores taxas de herbivoria por insetos (Morante-Filho et al. 2024). Além disso, a fragmentação promovida por distúrbios antrópicos reduz em até 24% a remoção de diásporos por formigas em regiões tropicais (Bona et al. 2023). Por outro lado, o

controle de artrópodes por formigas não é influenciado pela cobertura de dossel e pelo tamanho do fragmento, mas a riqueza da vegetação intensifica essa função (Leles et al. 2017).

Neste trabalho nós quantificamos a magnitude dos impactos de rodovias – e seus possíveis mecanismos – sobre a estrutura de comunidades de formigas e suas funções ecossistêmicas na Mata Atlântica do Sudeste Brasileiro. Nossa hipótese é que as bordas de rodovias afetam essas comunidades e suas funções de forma mais severa do que outros tipos de bordas, como as pastagens, devido a mudanças em condições e recursos causadas por estes distúrbios. Nós amostramos as comunidades de formigas com *pitfalls* epigeicos, quantificamos as funções ecossistêmicas de remoção de sementes e a predação de invertebrados por formigas. Como possíveis mecanismos explicativos de impactos das rodovias sobre as formigas, nós medimos o nível de degradação e a saúde do fragmento por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), uma vez que o distúrbio se reflete na redução dos valores de NDVI (Meneses – Tovar 2012). Por fim, utilizamos a altura de serrapilheira como um *proxy* para disponibilidade de recurso – já que a composição de formigas tende a modificar à medida que a estrutura da vegetação se altera (Rabello et al. 2021), possivelmente via quantidade de recurso disponível (Ribas et al. 2003).

MÉTODO

Área de estudo

Este estudo foi realizado na mesorregião da Zona da Mata mineira, nos municípios de Viçosa, Teixeira, Cachoeira de Santa Cruz, Cajuri e Porto Firme (Fig. 01.a e 01.b). A região possui uma variação altimétrica entre 592 m e 965 m, e uma precipitação média anual de 1.289 mm (Fialho e Santos 2023). A temperatura média mensal no período chuvoso varia entre 20,30 °C e 22,30 °C, e no período seco entre 15,40 °C e 18,30 °C (Fialho e Santos 2023). A vegetação local se caracteriza como Floresta Atlântica Estacional Semidecidual e o clima é o tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco (Veloso et al. 1991). Os fragmentos amostrados têm uma área média de 94,2 hectares ($\pm 72,3$ hectares; desvio padrão), o que é cerca de 88% maior do que a média nacional de 50 hectares, e estão localizados a no mínimo 1 km de distância uns dos outros (Fig. 1). Coletamos os dados em 10 fragmentos de floresta com borda adjacente a uma rodovia e outra borda adjacente a uma pastagem (Fig. 1.b; 1.c; 1.d e Fig. 2), entre os meses de

setembro e novembro de 2023. Nós amostramos em borda de pastagem para avaliar se bordas de rodovias são mais severas do que bordas geradas por outro distúrbio antrópico frequente na paisagem. Estabelecemos nas bordas de rodovia e pastagem, e no interior de cada fragmento, um tratamento com um transecto de 10 pontos amostrais, espaçados 10 m entre si (Fig. 2). A distância mínima entre os tratamentos foi de 100 m entre si. Registramos as coordenadas dos pontos de coleta por meio do aplicativo *AlpineQuest*.

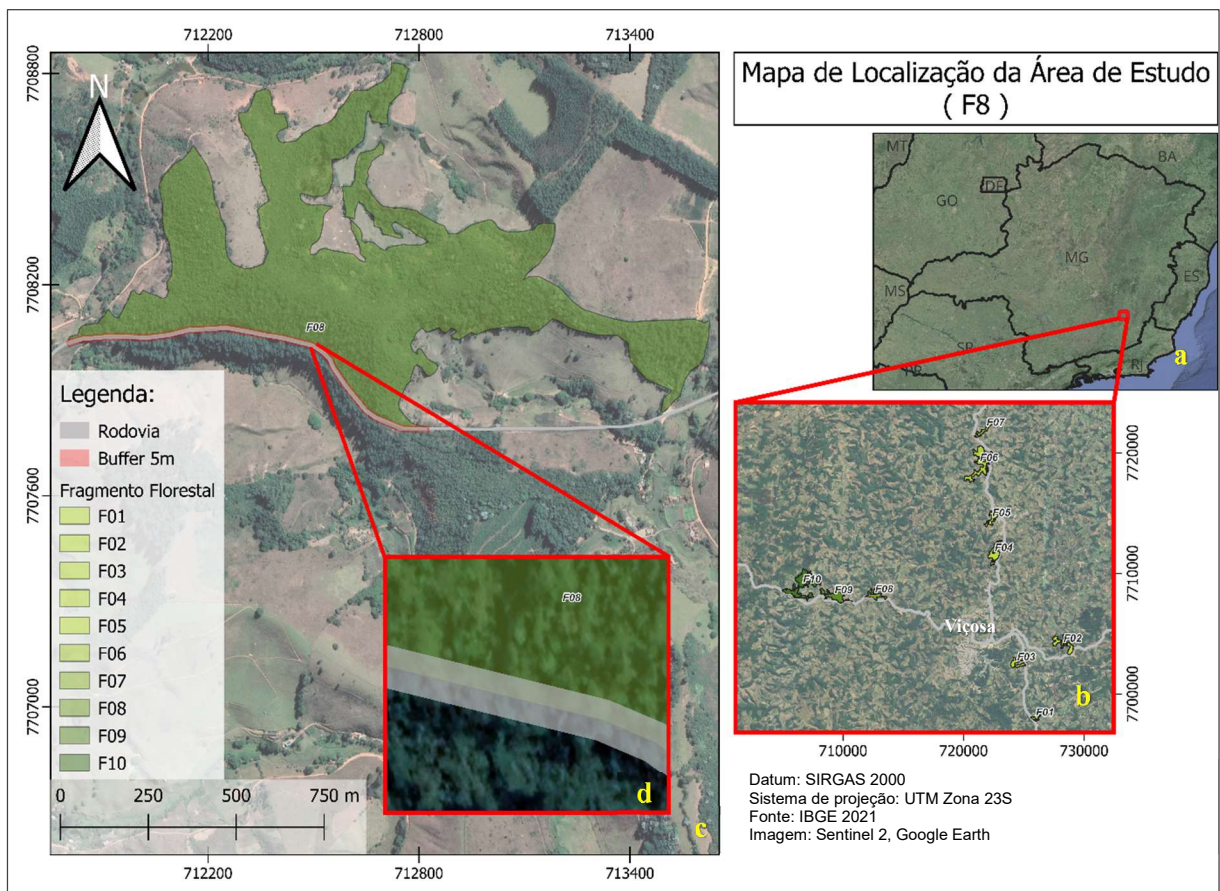


Figura 1: Região de coleta no sudeste de MG (a). Zoom dos dez fragmentos coletados na Mesorregião da Zona da Mata e a malha urbana de Viçosa (b). Mapa de localização da área de estudo em um dos fragmentos (polígono F08) amostrados (c). Em evidência, a fragmentação em nível de paisagem, a área de influência da rodovia considerada (buffer 5m) e os diferentes tipos de matrizes; (d). Zoom do trecho da rodovia adjacente ao fragmento F08 (d).



Figura 2: Mapa do desenho amostral conduzido em cada um dos 10 fragmentos. Os pontos de coleta de estão evidenciados em amarelo, a delimitação de parte do fragmento está em verde e a rodovia adjacente ao fragmento está no polígono tracejado bege.

Amostragem de variáveis ambientais

Para estimar o *proxy* da disponibilidade de recurso para formigas, medimos com uma régua a altura de serrapilheira em todos os pontos de coleta de cada tratamento (Fig. 2). Estimamos a condição ambiental de cada fragmento por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Ozyavuz et al. 2015). O uso do NDVI identifica as variações na vegetação e identifica padrões que afetam a estrutura das comunidades, especialmente em áreas com diferentes intensidades de distúrbios, como os causados por rodovias. Utilizamos imagens do Sentinel-2 disponíveis no *Google Earth*, que têm uma resolução de 10×10 m, a mesma distância de nossos pontos nos tratamentos. As imagens de satélite fornecem dados precisos em locais de difícil acesso, onde barreiras físicas ou variações de altitude dificultariam a coleta de dados diretamente no campo. Obtivemos o valor do NDVI para cada ponto no *software* livre *QGIS* 3.36.1 na ferramenta ‘*raster calculator*’, por meio da fórmula: $(\text{Banda 4} - \text{Banda 3}) / (\text{Banda 4} + \text{Banda 3})$ (Fig. 03; QGIS Development Team 2022). Em seguida, determinamos a média de NDVI para cada tratamento. Medimos a proporção de contato da rodovia com o fragmento por meio do mesmo *software*, através da fórmula: $\text{área da rodovia} / \text{área do fragmento}$.

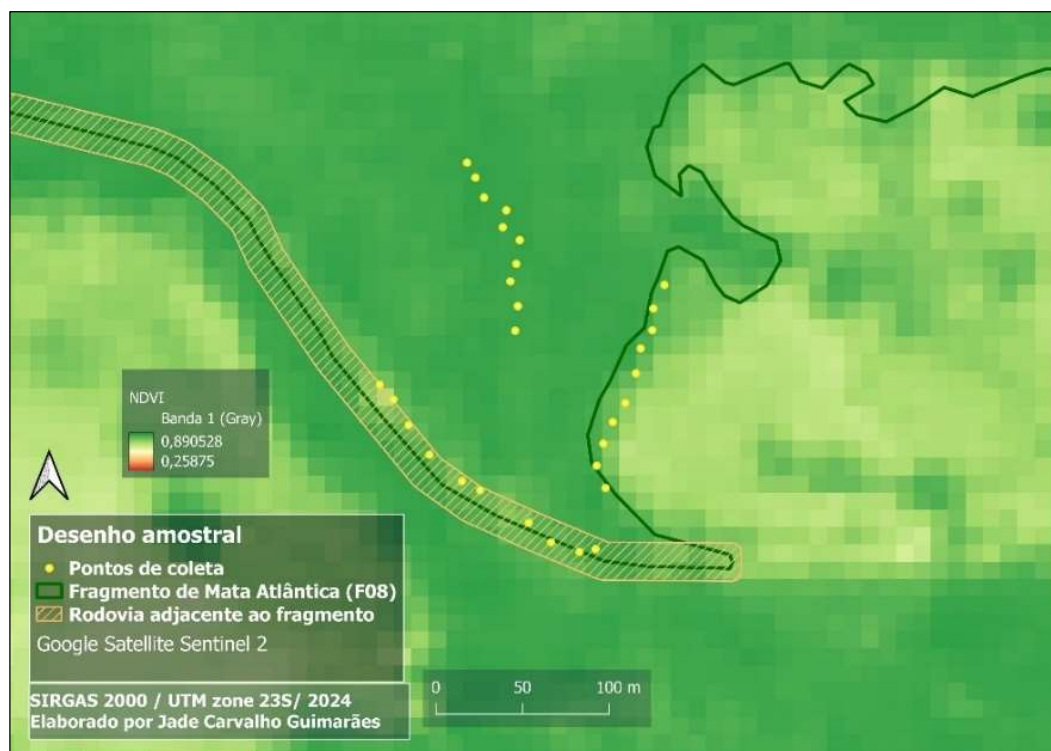


Figura 3: Zoom de um fragmento com a camada de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) mostrando a distribuição dos pontos de coleta. O NDVI varia de -1 a 1, e quanto mais próximo do 1 indica maior intensidade de vegetação (verde mais escuro). Cada ponto de coleta (amarelo) estava dentro de um pixel de 10×10 m da imagem do Sentinel 2, que continha seu respectivo valor de NDVI.

Amostragem de comunidades de formigas

Instalamos em cada um dos 10 pontos amostrais dos três transectos uma armadilha do tipo *pitfall* epigeico de 200 ml preenchida até a metade com uma solução aquosa de sal, álcool 96% e detergente, totalizando 10 por transecto e 30 por fragmento. A armadilha permaneceu aberta no campo por 48 horas. Após esse tempo, o material coletado foi transportado ao Laboratório de Ecologia de Comunidades e Ecossistemas Tropicais (EcoTrop) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As formigas foram triadas, montadas e identificadas ao menor nível taxonômico possível pela entomóloga e taxonomista Gabriela de Figueiredo Jacintho.

No dia seguinte às coletas descritas, nós estabelecemos um experimento para quantificar a predação de invertebrados por formigas. O experimento foi conduzido em cinco pontos do transecto, espaçados a cada 20 m, nos três tratamentos: interior, pasto e rodovia. Para isso, fixamos três cupins vivos, coletados no mesmo dia, em discos de papel filtro com cola branca. Posicionados os discos com cupins simultaneamente no solo, formando um arranjo triangular com 1 metro de distância entre si ao redor do ponto de

amostragem (Fig. 4). Em seguida, observamos o comportamento das formigas em relação aos cupins por 10 minutos (Fig. 5a). Durante a observação, registramos o tempo para início da interação e o seu tipo, dentre as três possíveis: i) localização; (quando as formigas localizavam os cupins); ii) interação com antenas (quando as formigas tocavam os cupins usando suas antenas, mas não predavam); ou iii) predação (quando as formigas efetivamente atacavam com as mandíbulas; Fig. 5b).

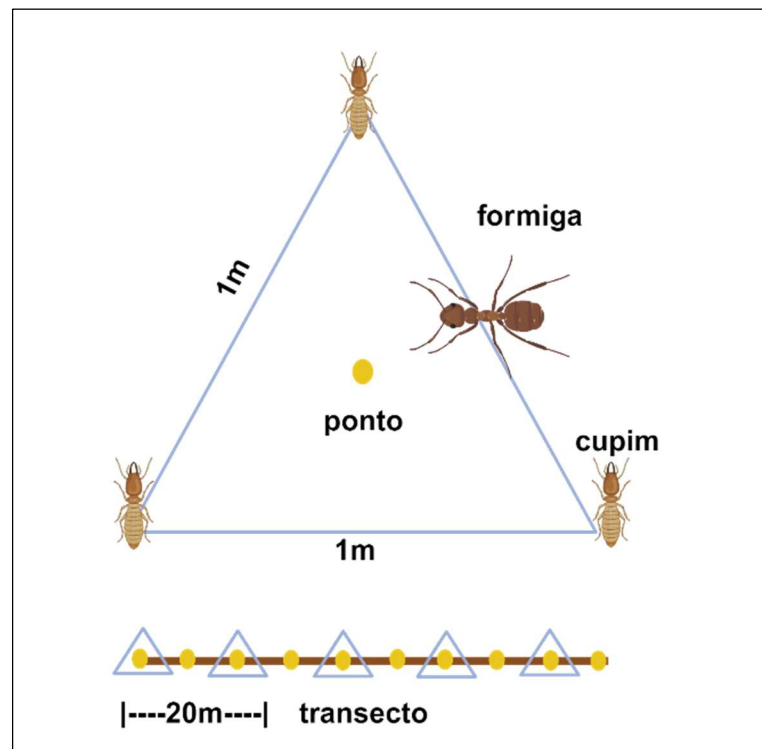


Figura 4: Esquema do experimento de predação de cupim por formigas. O experimento ocorreu em cinco pontos em cada transecto, distantes 20 m entre si, nos tratamentos; interior; pasto e rodovia.



Figura 5: Montagem do experimento de predação de cupim por formigas em campo (a). *Ectatomma brunneum* predando um cupim durante o experimento (b).

Para investigar os impactos da rodovia sobre a remoção de sementes por formigas, utilizamos sementes de girassol (*Helianthus annuus* - Asteraceae) sem cascas. Estas são sementes altamente atrativas para granívoros e dispersores de sementes, pois são ricas em lipídios. Todas as sementes foram previamente expostas a uma temperatura de 120 °C por 60 minutos (modificado de Hargreaves et al. 2019) para garantir que não germinassem. Selecionamos apenas as sementes sem danos físicos aparentes, de forma que qualquer alteração pudesse ser atribuída aos granívoros terrestres. Em cada ponto do transecto, em cada tratamento, colocamos 10 sementes de girassol dentro de um copo plástico, orientado com a abertura voltada para baixo. O copo plástico tinha volume de 500 mL, 13,5 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro da parte superior. Cada copo continha cinco furos de 2 cm de diâmetro acima da abertura para acesso de invertebrados. O copo foi fixado, no nível do solo, por palitos de madeira, impedindo o acesso às sementes que não fosse por meio dos furos (Fig. 6 e 7a). As sementes permaneceram em campo por 24 h. Após esse período, contabilizamos e registramos o número de sementes removidas e de sementes danificadas (Fig. 7b) – classificadas como predadas.

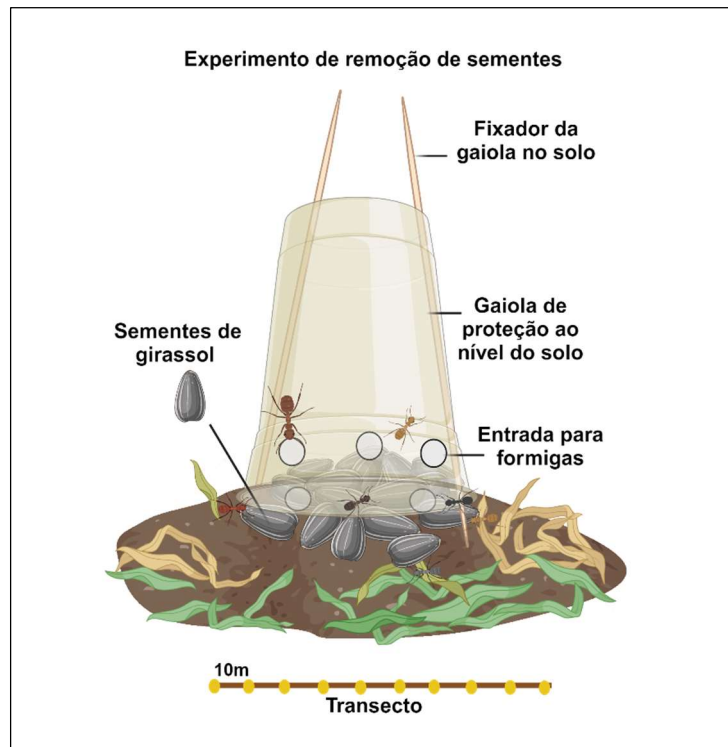


Figura 6: Esquema do experimento de remoção de sementes por formigas.



Figura 7: Gaiola do experimento de remoção de sementes em campo (a). Após 24h de experimento, neste ponto, quatro sementes foram removidas (10-6) e as seis sementes restantes apresentaram marcas de predação por formigas (b).

Análises estatísticas

Analizamos o impacto das rodovias na estrutura das comunidades de formigas e em suas funções ecossistêmicas, investigando o NDVI como indicador da condição ambiental e a serrapilheira como estimativa de recurso, para avaliar sua relação com a

magnitude do distúrbio. Analisamos como a riqueza, a composição e as funções ecossistêmicas de remoção de sementes e predação de cupins variam em função das seguintes variáveis preditoras: i) proporção de contato da rodovia com o fragmento (área da rodovia/ área do fragmento), ii) média de NDVI e iii) altura média de serrapilheira. Em seguida, avaliamos como o NDVI e altura de serrapilheira respondiam à proporção de contato da rodovia com o fragmento. Verificamos a homogeneidade e a adequação dos dados ao modelo por meio do pacote *DHARMA* (Hartig 2022) no R.

Para avaliar a riqueza de formigas, utilizamos o pacote *lme4* (Bates et al. 2015) e sua função *glmer* no modelo *Generalized Linear Mixed Model* (GLMM) do programa R (R Core Team 2022). Consideramos a identidade dos fragmentos como fator aleatório e os preditores como efeitos fixos. Ajustamos o modelo com a distribuição de erros *Poisson*, e avaliamos a significância dos efeitos por meio da função *Anova* do pacote *car* (Fox e Weisberg, 2019). Para investigar o efeito do tratamento e da proporção de rodovia na composição das comunidades de formigas, utilizamos um *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA) com a matriz de distâncias calculada com o índice de *Bray-Curtis*, que considera a abundância das espécies. As análises das funções de predação de cupins e remoção de sementes foram feitas com o pacote *lme4*, e utilizamos a função *glmer* para ajustar o modelo GLMM, e a função *Anova* do pacote *car* para avaliar a significância dos preditores. Para a função de remoção de sementes, utilizamos a distribuição normal para a remoção de sementes, pois trabalhamos com médias de remoção por tratamento. Verificamos a homogeneidade e a adequação dos dados ao modelo por meio do pacote *DHARMA* no R. A fim de avaliar o NDVI e a altura média de serrapilheira em função da proporção de contato da rodovia com o fragmento e do tratamento, aplicamos o modelo GLMM do pacote *lme4* e a função *lmer* no R, com a *Anova* do pacote *car* para testar a significância do modelo.

RESULTADOS

Coletamos 79 espécies pertencentes a 28 gêneros de formigas. Os gêneros mais frequentes foram *Pheidole*, *Camponotus* e *Atta*. As espécies *Acromyrmex* sp.3 e *Atta laevigata* ocorreram exclusivamente em rodovias, e *Acromyrmex* sp.2 na borda de pasto. A riqueza de espécies de formigas não variou com a proporção de rodovia (Chisq = 2,72; $p= 0,098$), o tratamento (Chisq = 2,07; $p= 0,353$) e a interação entre eles (Chisq = 1,52;

$p=0,467$). De forma similar, a riqueza de espécies não alterou com a altura média da serapilheira ($\text{Chisq} = 2,80$; $p=0,094$), o tratamento ($\text{Chisq} = 1,92$; $p=0,382$) e a interação ($\text{Chisq} = 2,30$; $p=0,317$). Da mesma forma, a riqueza de espécies não variou com a média do NDVI ($\text{Chisq} = 0,42$; $p=0,516$), o tratamento ($\text{Chisq} = 1,84$; $p=0,399$) e a interação ($\text{Chisq} = 2,59$; $p=0,273$). A composição de espécies de formigas não variou em função do tratamento (PERMANOVA; $F_{2,27} = 0,6383$; $R^2 = 0,04515$; $p=0,901$), mas variou em função da proporção de contato da rodovia com os fragmentos (Fig. 8; PERMANOVA, $F_{1,28} = 2,269$; $R^2 = 0,075$; $p=0,0078$).

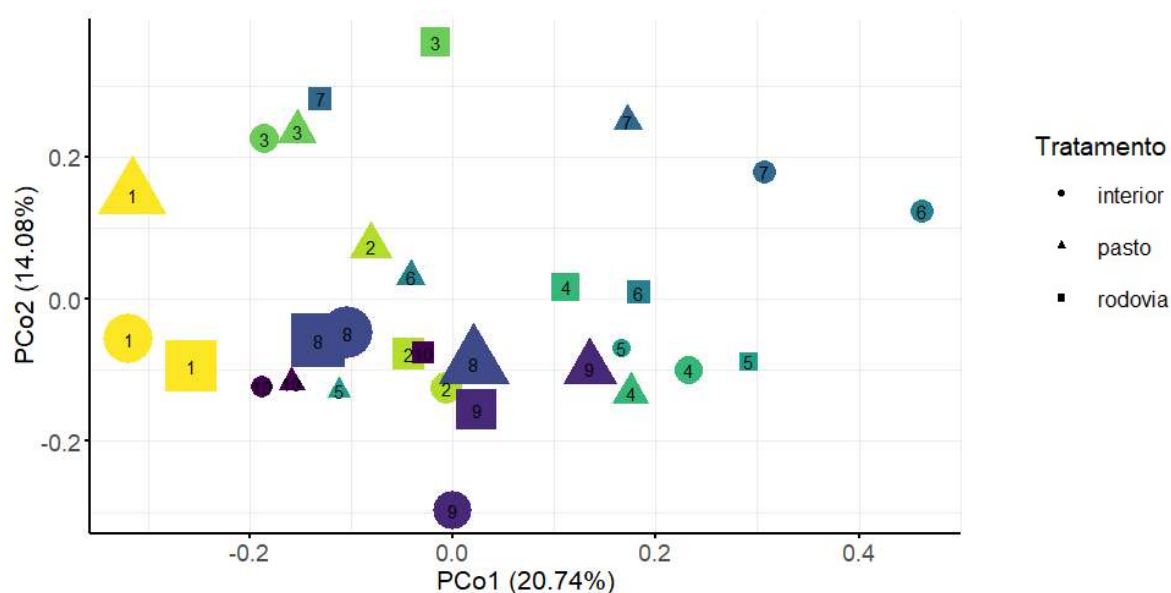


Figura 8: Distribuição dos fragmentos com base na composição de comunidades de formigas, utilizando o índice de *Bray-Curtis*. Cada cor e número representa um fragmento, de um a dez, e as diferentes formas representam um tratamento (círculo para interior, triângulo para pasto e quadrado para rodovia). O tamanho dos pontos reflete a proporção de contato da rodovia associada ao fragmento, com pontos maiores indicando maior proporção de rodovia. Houve diferenças na composição de espécies de formigas em função da proporção de rodovia (PERMANOVA, $F_{1,28} = 2,269$; $R^2 = 0,075$; $p=0,0083$).

A predação de cupins por formigas não variou em função da proporção de contato da rodovia com o fragmento ($\text{Chisq} = 0,11$; $p=0,742$), com os tratamentos ($\text{Chisq} = 0,23$; $p=0,892$) e nem com a interação entre as duas variáveis ($\text{Chisq} = 3,93$; $p=0,139$). Da mesma forma, a predação de cupins por formigas não variou com a altura média de serapilheira ($\text{Chisq} = 0,68$; $p=0,407$), com os tratamentos ($\text{Chisq} = 0,31$; $p=0,854$) nem com a interação ($\text{Chisq} = 4,75$; $p=0,092$). Essa função também não se modificou com a média de NDVI ($\text{Chisq} = 2,34$; $p=0,125$), com o tratamento ($\text{Chisq} = 1,76$; $p=0,416$) ou com a interação ($\text{Chisq} = 1,26$; $p=0,531$). A remoção de sementes por formigas não variou

com a proporção de contato da rodovia com o fragmento ($\text{Chisq} = 0,026$; $p = 0,871$), os tratamentos ($\text{Chisq} = 1,348$; $p = 0,509$) e a interação ($\text{Chisq} = 1,812$; $p = 0,404$). Da mesma forma, a altura média de serrapilheira ($\text{Chisq} = 0$; $p = 0,997$), os tratamentos ($\text{Chisq} = 1,188$; $p = 0,552$) e a interação ($\text{Chisq} = 2,934$; $p = 0,230$) não têm efeito na média de remoção de sementes. Igualmente, essa função ecossistêmica não variou com a média de NDVI ($\text{Chisq} = 0,00$; $p = 0,979$), com os tratamentos ($\text{Chisq} = 0,614$; $p = 0,735$) ou com a interação ($\text{Chisq} = 0,534$; $p = 0,765$).

A proporção de rodovia ($\text{Chisq} = 2,971$; $p = 0,084$), e a interação ($\text{Chisq} = 1,318$; $p = 0,517$) não afetaram o NDVI. Por outro lado, o tratamento afetou a média de NDVI (Fig. 9; $\text{Chisq} = 30,251$; $\text{estimate} = 0,246$; $\text{SE} = 0,0447$; $t = 5,5$; $p < 0,0001$), sendo que no interior dos fragmentos o NDVI foi 38% maior que no pasto e 46% maior que na rodovia.

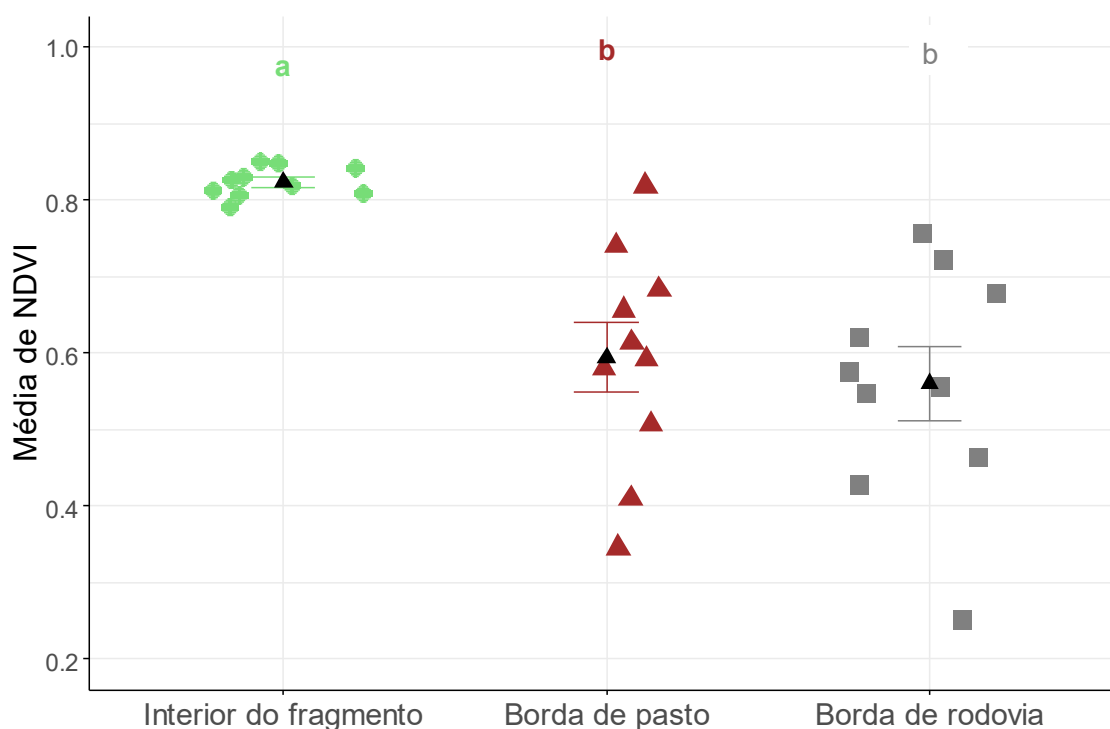


Figura 9: Gráfico de dispersão das médias de NDVI por tratamento em fragmentos de Mata Atlântica na Zona da Mata. Cada ponto representa a média de NDVI por fragmento para cada tratamento, e as barras indicam o erro padrão. Os losangos pretos representam a média de NDVI para cada tratamento. As letras de significância (a ou b) indicam diferenças estatísticas entre as médias de NDVI, por meio do teste *post hoc* do *emmeans* (Contrast = interior – pasto; estimate = 0,228; SE= 0,054; t= 4,22; $p = 0,0014$; contrast= interior – rodovia; Estimate = 0,26; SE= 0,05; t= 4,86; $p = 0,0003$; contrast= pasto - rodovia; estimate = 0,03; SE= 0,054; t= 0,64; $p = 0,8$).

A proporção de rodovias ($\text{Chisq} = 0,705$; $p = 0,4$) e a interação da proporção de rodovia com o tratamento ($\text{Chisq} = 2,239$; $p = 0,326$) não afetaram a altura média de

serrapilheira. No entanto, a altura média de serrapilheira variou entre os tratamentos (Fig. 10; $\text{Chisq} = 11,55$; $p < 0,001$). As bordas de pasto apresentaram a menor altura média de serrapilheira ($\text{estimate} = 3,04$, $\text{SE} = 0,893$; $t = 3,40$; $p = 0,003$), que foi 6,1% menor em relação ao interior, e 4% em relação a rodovia, que não diferiram entre si.

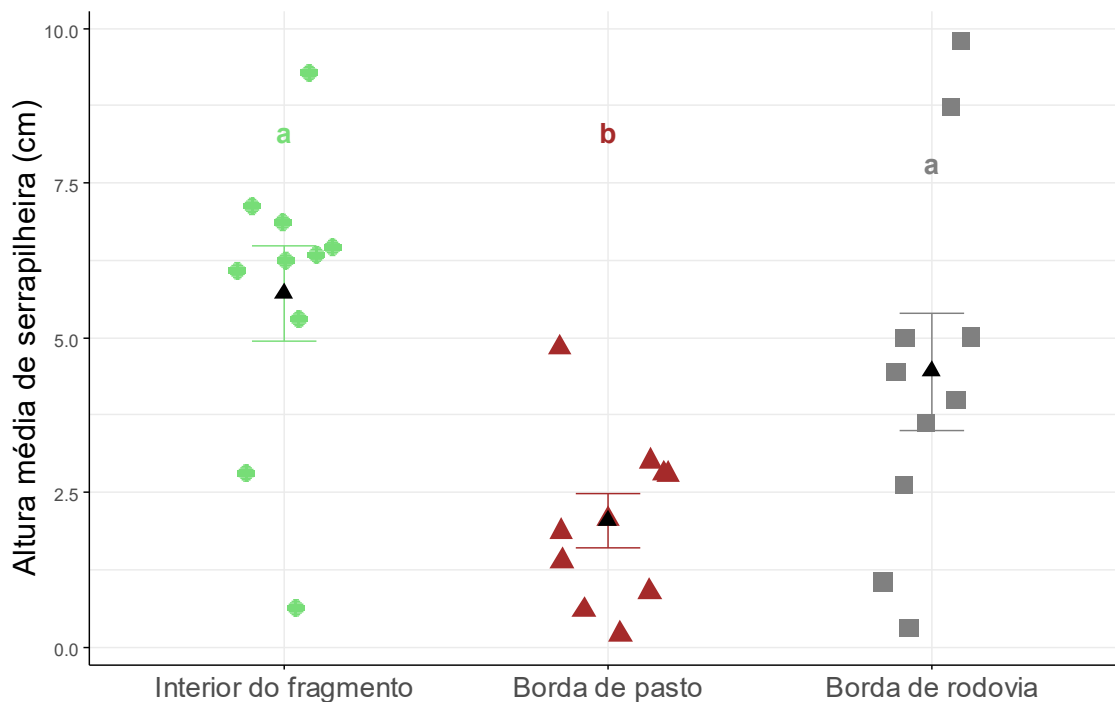


Figura 10: Gráfico de dispersão da altura média de serrapilheira (cm) nos diferentes tratamentos nos fragmentos de Mata Atlântica na Zona da Mata. Cada ponto representa a média simples da altura de serrapilheira para cada fragmento, calculada pela média de todos os pontos coletados no fragmento para cada tratamento. As barras de erro indicam o erro padrão da média. Os losangos pretos representam a média geral de altura de serrapilheira para cada tratamento. As letras de significância (a ou b) indicam diferenças estatísticas entre as alturas médias, conforme o teste post hoc de comparações par a par da função *emmeans* (Contrast= interior – pasto; estimate = 3,67; SE= 1,02; t= 3,64; $p = 0,005$; contrast= interior – rodovia; Estimate = 1,26; SE= 1,02; t= 1,23; $p = 0,447$; contrast= pasto - rodovia; estimate = -2,41; SE= 1,02; t= -2,36; $p = 0,071$).

DISCUSSÃO

Nós investigamos os impactos de rodovias na estruturação de comunidades de formigas e suas funções ecossistêmicas. Nós esperávamos que as bordas de rodovias afetariam as comunidades de forma mais severa do que bordas de pastagens. A riqueza de espécies de formigas e as suas funções ecossistêmicas não variaram em função da

proporção de rodovia nos fragmentos, do tratamento ou das variáveis ambientais NDVI e a altura da serrapilheira. Contudo, a proporção de rodovia adjacente aos fragmentos promoveu alterações na composição de comunidades de formigas, e as variáveis ambientais NDVI e altura de serrapilheira variaram entre os locais de coleta.

No interior dos fragmentos, o NDVI foi 41% mais alto em comparação às bordas, resultado consistente com estudos em outras florestas tropicais (Mallegowda et al. 2015). Apesar da maior abertura de dossel do interior às margens do fragmento, as bordas de rodovia exibiam árvores de grande porte, visto que analisamos fragmentos atravessados por rodovias e marcados por uma transição abrupta. Além disso, essas bordas também apresentavam vegetação abundante de herbáceas e gramíneas quando comparada às bordas de pasto. Isso é coerente com nossos resultados, visto que a altura média de serrapilheira foi similar ao do interior do fragmento, com ambas diferindo apenas das bordas de pasto. Isso indica que as bordas de rodovias podem oferecer habitats secundários para algumas espécies de formigas (Kaur et al. 2019), e em nosso trabalho duas espécies foram exclusivas em bordas de rodovias: *Acromyrmex* sp. 3 e *Atta laevigata*. Apesar da diferença de NDVI e da altura média de serrapilheira entre os tratamentos, essas variáveis ambientais não foram responsáveis por alterar a estrutura de comunidades de formigas. Este resultado se contrasta com o observado em bordas de rodovias no Cerrado, onde houve aumento na abundância, por exemplo, de *Atta* sp., por exemplo, devido à abertura de estradas (Vasconcelos et al. 2006). Utilizamos a serrapilheira e o NDVI como *proxy*, respectivamente, para recurso e condição, pois são importantes para as formigas epigeicas (Guilherme et al. 2019; Gibb e Parr 2013), mas estudos em florestas tropicais de outros países sugerem que outros fatores, como a umidade do solo, também podem ter grande influência na estruturação destas comunidades (Fichaux et al. 2019; Sakchoowong et al. 2015).

A redução do NDVI do interior para as bordas indica que a vegetação é mais saudável quanto mais afastada das margens do fragmento, apresentando maior densidade de biomassa (Meneses-Tovar, 2012), e os diferentes valores de NDVI podem estar relacionados a diferentes estágios de regeneração da floresta (Berveglieri et al. 2021). Os fragmentos com proporções semelhantes de contato com a rodovia exibiram comunidades de formigas mais parecidas entre si. Em média, a área de contato da rodovia com os fragmentos correspondeu a cerca de 3% da área total desses fragmentos, mas essa variável foi responsável por explicar 7,5% da variação na composição das comunidades de

formigas. Em nível de paisagem, este resultado, combinado à diminuição de NDVI nas bordas, sugere que a quantidade de rodovia adjacente ao fragmento pode alterar condições ambientais que afetam a composição de comunidades de formigas. A área de contato da rodovia com o fragmento, portanto, é um preditor importante nas comunidades de formigas, visto que sua composição responde a alterações ambientais (Andersen, 2019; Ribas et al. 2012), especialmente quando essas variações resultam de distúrbios antrópicos (Majer et al. 2007). Neste trabalho, apenas a proporção de contato da rodovia com o fragmento foi responsável por gerar padrões de similaridade na composição das comunidades entre os fragmentos, mesmo em florestas historicamente degradadas. Outros estudos também apontam que a composição de espécies pode ser a métrica mais adequada em programas de monitoramento que avaliam efeitos de distúrbios naturais e antrópicos (Ribas et al, 2012; Hoffman, 2010).

A alteração na composição das comunidades de formigas em resposta aos distúrbios antrópicos pode impactar as interações das quais as formigas participam, e com isso as funções que elas exercem nos ecossistemas. Por exemplo, comunidades de formigas de florestas tropicais ripárias cercadas por plantações demoraram mais tempo para encontrar sementes (Ribeiro et al. 2024), e a riqueza de árvores em florestas tropicais também pode afetar a proporção e a distância de sementes dispersas por formigas (Dantas et al. 2024). As margens de rodovias podem tanto prejudicar ou favorecer o estabelecimento de formigas removedoras de sementes, alterando sua composição (Palfi et al. 2017), e isto pode ocorrer pois a vegetação à margem de rodovias pode criar habitats adequados para espécies de formigas removedoras de sementes (Palfi et al. 2020). Entretanto, em nosso trabalho, embora a proporção de contato da rodovia com o fragmento tenha sido um filtro ambiental importante para modificar a composição de espécies, a magnitude do distúrbio gerado pela rodovia não alterou a remoção de sementes por formigas entre os tratamentos.

Neste trabalho não registramos as espécies que interagiram com as sementes, mas como as rodovias representam um distúrbio importante na estruturação de comunidades de formigas, é possível que esse filtro ambiental também tenha um efeito na composição de espécies removedoras de sementes. Outro estudo em vegetações à margem de rodovias identificou essa relação para uma espécie de formiga, com a maior frequência de remoção de sementes com o aumento da distância da rodovia - pois havia menos espécies invasoras de plantas (Pirk e Lopez, 2017). Os altos valores de NDVI no interior do fragmento

representam locais com maior integridade da vegetação (Berveglieri et al. 2021) e, possivelmente, com recursos mais abundantes para as formigas. Entretanto, essa variável ambiental não atuou como um filtro para a remoção de sementes. A altura média de serrapilheira foi menor no pasto em comparação com as bordas de rodovia, mas essa menor fonte de recurso também não interferiu na remoção de sementes. Esses resultados sugerem que a remoção de sementes é independente do tipo de borda, e que a identidade das formigas envolvidas na interação pode fornecer uma melhor compreensão dessa função.

A predação de cupins por formigas também não variou com a proporção de contato da rodovia com o fragmento nem com as bordas de rodovias, o que nos indica que o controle que as formigas exercem sobre invertebrados é até certo ponto resiliente a este distúrbio antrópico. Além disso, a predação também não responde à diminuição de NDVI em bordas de pasto e de rodovia, e nem à menor altura de serrapilheira nos pastos. Nós também não registramos a identidade das formigas que interagiram com os cupins durante o experimento, mas como a proporção de rodovia afetou a composição de espécies, é possível que também afete a composição das formigas predadoras. De maneira similar, um estudo na Floresta Amazônica, realizado em áreas com diferentes intensidades de distúrbios antrópicos, não encontrou efeitos na predação de cupins por formigas (Ribeiro et al. 2024). Em florestas tropicais, embora a predação por formigas tenha sido mais intensa em áreas com maior riqueza de plantas, a distância da borda e o gradiente de dossel não influenciaram essa interação (Leles et al. 2017).

CONCLUSÃO

Nossos resultados indicam que a proporção de contato de rodovias com os fragmentos florestais afeta a composição de comunidades de formigas, mas não altera a riqueza de espécies ou as funções ecossistêmicas, como a remoção de sementes e a predação de cupins. A composição de comunidades é moldada, portanto, por impactos da fragmentação e das rodovias, e este efeito é persistente mesmo em um contexto antigo de fragmentação e degradação. Além disso, observamos uma redução na densidade da vegetação nas bordas de rodovias e pastagens em relação ao interior dos fragmentos, indicando uma redução na integridade da floresta nessas áreas.

REFERÊNCIAS

- Andersen AN (2019) Responses of ant communities to disturbance: Five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. *J Anim Ecol* 88, 350–362. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12907>
- Andersen, AN, Majer, JD (2004) Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(6), 291–298. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0292:ASTWDU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0292:ASTWDU]2.0.CO;2)
- Bates D, Machler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using Lme4. *J Stat Softw.* <https://doi.org/10.18637/JSS.V067.I01>
- Berveglieri A, Imai NN, Christovam LE, Galo MLBT, Tommaselli AMG, Honkavaara E (2021) Analysis of trends and changes in the successional trajectories of tropical forest using the Landsat NDVI time series. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 24, 100622. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100622>
- Bona K, Delabie JHC, Cazetta E (2023) Effects of anthropogenic disturbances on diaspore removal by ants: A meta-analysis. *Acta Oecologica* 118:103893. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2023.103893>
- Casella J, Filho ACP (2013) The influence of highway BR262 on the loss of cerrado vegetation cover in southwestern Brazil. *Oecol Aust* 17:77–85. <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8257>
- Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2017) Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/malha-rodoviaria-minas-gerais-mais-precisa-investimentos>
- Dantas A, Dantas TAV, Ganade G, Fonseca CR (2024) Tree richness affects ground-ant diversity and seed dispersal in a tropical biodiversity–ecosystem function experiment. *Oikos* 2024, e10623. <https://doi.org/10.1111/oik.10623>
- Del Toro I, Ribbons RR, Pelini SL (2012) The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecol News* 17:133–146.
- Delgado JD, Arroyo NL, Arévalo JR, Fernández-Palacios JM (2007) Edge effects of roads on temperature, light, canopy cover, and canopy height in laurel and pine forests (Tenerife, Canary Islands). *Landscape Urban Plan* 81:328–340. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.005>
- Delgado JD, Arroyo NL, Arévalo JR, Fernández-Palacios JM (2013) Road edge effects on litter invertebrate communities of subtropical forests. *J Nat Hist* 47:203–236. <https://doi.org/10.1080/00222933.2012.743610>
- Fahrig L (2002) Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*, 12: 346–353. [https://doi.org/10.1890/1051-761\(2002\)012\[0346:EOHFOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-761(2002)012[0346:EOHFOT]2.0.CO;2)
- Fahrig L (2019) Habitat fragmentation: A long and tangled tale. *Global Ecol Biogeogr* 28:33–41. <https://doi.org/10.1111/geb.12839>

- Faria D, Morante-Filho JC, Baumgarten J, Bovendorp RS, Cazetta E, Gaiotto FA, Mariano-Neto E, Mielke MS, Pessoa MS, Rocha-Santos L, Santos AS, Soares LAS, Talora DC, Vieira EM, Benchimol M (2023) The breakdown of ecosystem functionality driven by deforestation in a global biodiversity hotspot. *Biol Conserv* 283:110126. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110126>
- Fialho ES, Santos LGF (2023) Clima, Cidade e Crescimento: Uma investigação da expansão norte da cidade de Viçosa-MG, por meio da termografia de superfície (2000-2019). *Rev Bras Climatol* 32:383–414. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.15766>
- Fichaux M, Bechade B, Donald J, Weyna A, Delabie J, Muriene J, Baraloto C, Orivel J (2019) Habitats shape taxonomic and functional composition of Neotropical ant assemblages. *Oecologia* 189:1–13. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04341-z>
- Fox J, Weisberg S (2019) *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks, CA.
- Freitas SR, Hawbaker TJ, Metzger JP (2010) Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *For Ecol Manag* 259:410–417. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.036>
- Freitas SR, Mello MCS, Cruz CBM (2005) Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. *For Ecol Manag* 218:353–362. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.036>
- Gibb H, Parr CL (2013) Does Structural Complexity Determine the Morphology of Assemblages? An Experimental Test on Three Continents. *PLOS ONE* 8(5): e64005. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064005>
- Guilherme DR, Souza JLP, Franklin E, Pequeno PACL, Chagas ACD, Baccaro FB (2019) Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? A test across the Amazon Basin. *Acta Oecologica* 99:103434. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.05.004>
- GUIMARÃES RJ. (1986) *Grande sertão: veredas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Haddad NM, Brudvig LA, Clobert J, Davies KF, Gonzalez A, et al. (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Sci Adv* 1:e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hargreaves AL, Suárez E, Mehltreter K, et al. (2019) Seed predation increases from the Arctic to the Equator and from high to low elevations. *Sci Adv* 5:eaau4403. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau4403>
- Hartig F (2022) DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical regression models. R package version 0.4.5. <https://cran.r-project.org/package=DHARMA>.
- Hoffmann BD (2010) Using ants for rangeland monitoring: Global patterns in the responses of ant communities to grazing. *Ecological Indicators* 10:105–111. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.04.016>
- Kaur H, Torma A, Gallé-Szpisjak N, Šeat J, Lőrinczi G, Módra G, Gallé R (2019) Road verges are important secondary habitats for grassland arthropods. *J Insect Conserv* 23:899–907. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00171-9>

- Knapp M, Saska P, Knappová J, Vonička P, Moravec P, Kůrka A, Anděl P (2013) The habitat-specific effects of highway proximity on ground-dwelling arthropods: Implications for biodiversity conservation. *Biol Conserv* 164:22–29. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.04.012>
- Lasmar CJ, Queiroz ACM, Rosa C, Carvalho NS, Schmidt FA, Solar RR, Paolucci LN, Cuissi RG, Ribas CR (2021) Contrasting edge and pasture matrix effects on ant diversity from fragmented landscapes across multiple spatial scales. *Landscape Ecol* 36:2583–2597. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01258-y>
- Laurance WF, Goosem M, Laurance SGW (2009) Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends Ecol Evol* 24:659–669. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009>
- Leles B, Xiao X, Pasion BO, Nakamura A, Tomlinson KW (2017) Does plant diversity increase top–down control of herbivorous insects in tropical forest? *Oikos* 126:1142–1149. <https://doi.org/10.1111/oik.03562>
- Majer JD, Orabi G, Bisevac L (2007) Ants (Hymenoptera: Formicidae) pass the bioindicator scorecard. *Myrmecol News* 10:69–76.
- Mallegowda P, Rengaiyan G, Krishnan J, Niphadkar M (2015) Assessing Habitat Quality of Forest-Corridors through NDVI Analysis in Dry Tropical Forests of South India: Implications for Conservation. *Remote Sensing* 7:1619–1639. <https://doi.org/10.3390/rs70201619>
- Martello F, Andriolli FSA, Medeiros HR, Barão T, Ribeiro MC (2022) Edge contrast modulates ant community responses to edge distance in agricultural landscapes. *Agric Forest Entomol* 24:92–103. <https://doi.org/10.1111/afe.12492>
- Meneses-Tovar CL (2012) NDVI as Indicator of Degradation. *Unasylva* 238:39–46.
- Morante-Filho JC, Arroyo-Rodríguez V, Lohbeck M, Tschardt T, Faria D (2016) Tropical forest loss and its multitrophic effects on insect herbivory. *Ecology* 97:3315–3325. <https://doi.org/10.1002/ecy.1592>
- Morellato LPC, Haddad CFB (2000) Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32:786. [https://doi.org/10.1646/0006-3606\(2000\)032\[0786:itbaf\]2.0.c](https://doi.org/10.1646/0006-3606(2000)032[0786:itbaf]2.0.c)
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends Ecol Evol* 10:58–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)
- Ozyavuz M, Bilgili BC, Salici A (2015) Determination of vegetation changes with NDVI method. *J Environ Prot Ecol* 16:264–273.
- Palfi Z, Robinson W, Spooner PG (2020) Cheaters and removalists: the influence of soil disturbance on ant–seed interactions in roadside vegetation. *Insect Soc* 67:429–438. <https://doi.org/10.1007/s00040-020-00778-1>
- Palfi Z, Spooner PG, Robinson W (2017) Soil disturbance effects on the composition of seed-dispersing ants in roadside environments. *Oecologia* 183:493–503. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3767-2>
- Pinto FAS, Cirino DW, Cerqueira RC, Rosa C, Freitas SR (2022) How many mammals are killed on Brazilian roads? Assessing impacts and conservation implications. *Diversity* 14:835. <https://doi.org/10.3390/d14100835>

- Pirk, G.I., Lopez De CJ (2017) Ant interactions with native and exotic seeds in the Patagonian steppe: Influence of seed traits, disturbance levels and ant assemblage. *Plant Ecol* 218, 1255–1268. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0764-4>
- QGIS Development Team (2022) QGIS Geographic Information System (Versão 3.36.1) [Software]. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>
- Quiles P, Barrientos RR (2024) Interspecific interactions disrupted by roads. *Biol Rev* 99:1121-1139. <https://doi.org/10.1111/brv.13061>
- R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing.
- Rabello AM, Parr CL, Queiroz ACM, et al. (2021) Taxonomic and functional approaches reveal different responses of ant assemblages to land-use changes. *Basic Appl Ecol* 54:39-49. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.04.001>
- Rezende CL, Fraga JS, Sessa JC, Souza GVP, Assad ED, Scarano FR (2018a) Land use policy as a driver for climate change adaptation: A case in the domain of the Brazilian Atlantic forest. *Land Use Policy* 72, 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.027>.
- Rezende CL, Scarano FR, Assad CA et al. (2018b) From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest, *Perspectives in Ecology and Conservation*, Volume 16, Issue 4, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>.
- Ribas CR, Campos RBF, Schmidt FA, Solar RRC (2012) Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche*. <https://doi.org/10.1155/2012/636749>
- Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM (2003) Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecol* 28:305–314. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01290.x>
- Ribeiro, V.S., Schoereder, J.H., Sobrinho, T.G., Brando, P.M., Maracahipes-Santos, L., Macedo, M.N. et al. (2024). Ecosystem functions of ants and dung beetles in agriculture-dominated Amazonian riparian forests. *Ecological Entomology* 49(4), 508–517. <https://doi.org/10.1111/een.13326>
- Sakchoowong W, Hasin S, Pachey N, Amornasak W, Bunyavejchewin S, Pitoon K, Basset Y (2015) Influence of leaf litter composition on ant assemblages in a lowland tropical rainforest in Thailand. *Asian Myrmecology* 7:57–71.
- Vancine MH, Muylaert RL, Niebuhr BB, Oshima JE de F, Tonetti V, Bernardo R, De Angelo C, Rosa MR, Grohmann CH, Ribeiro MC (2024) The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. *Biol Conserv* 291:110499. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>
- Vasconcelos HL, Vieira-Neto EHM, Mundim FM, Bruna EM (2006) Roads alter the colonization dynamics of a keystone herbivore in neotropical savannas. *Biotropica* 38, 661–665. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00180.x>.
- Veloso HP, Rangel-Filho ALR, Lima JCA (1991) Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. IBGE, Rio de Janeiro.

Wilson EO (1987) The little things that run the world (The importance and conservation of invertebrates). *Conserv Biol* 1:344-346.