

UNIDADE FRUTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

**BESOUROS ROLA-BOSTA (SCARABAEIDAE:
SCARABAEINAE) COMO BIOINDICADORES DE
PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS CAFEEIROS, MINAS
GERAIS, BRASIL**

Gabriela de Sousa Barbosa
Licenciada em Ciências Biológicas

FRUTAL-MG
2024

GABRIELA DE SOUSA BARBOSA

**BESOUROS ROLA-BOSTA (SCARABAEIDAE:
SCARABAEINAE) COMO BIOINDICADORES DE
PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS CAFEEIROS, MINAS
GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora
Dra. Vanesca Korasaki

**FRUTAL-MG
2024**

Barbosa, Gabriela de Sousa.

Besouros rola-bosta (*Scarabaeidae: scarabaeinae*) como bioindicadores de produtividade em sistemas cafeeiros, Minas Gerais, Brasil. / Gabriela de Sousa Barbosa. - Frutal, MG, 2024.
93 f.: il.

Orientadora: Vanesca Korasaki, Dra.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, MG, 2024.

1. Biodiversidade. 2. Funções Ecológicas. 3. Habitats. 3. Coleoptera. 4. *Scarabaeinae*. I. Korasaki, Vanesca, orient. II. Título.

CDU 502.7

Catálogo na fonte



GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

GABRIELA DE SOUSA BARBOSA

BESOUIROS ROLA-BOSTA (SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) COMO BIOINDICADORES DE PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS CAFEEIROS, MINAS GERAIS, BRASIL

Dissertação apresentada a Universidade do Estado de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de concentração Ciências Ambientais, Linha de Pesquisa Diagnóstico e Ecologia Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2024

Prof. Dr. Júlio Neil Cassa Louzada - UFLA - Lavras-MG

Prof.^a. Dr.^a. Ronara de Souza Ferreira Châline - USP - São Paulo-SP

PROF.^a DR.^a VANESCA KORASAKI

ORIENTADORA



Documento assinado eletronicamente por **Ronara de Souza Ferreira Châline, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julio Neil Cassa Louzada, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanesca Korasaki, Professora de Educação Superior**, em 28/02/2024, às 15:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 47.222, de 26 de julho de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.mg.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **82819132** e o código CRC **F5364A6C**.

Referência: Processo nº 2350.01.0009326/2023-18

SEI nº 82819132

Dedicatória

À minha mãe, Miriã de Sousa, e ao meu irmão, Guilherme de Sousa Barbosa, expresso minha profunda gratidão. Meus verdadeiros pilares de incentivo, amor, estabilidade, companheirismo, força, determinação, entre tantas outras qualidades essenciais para o desenvolvimento de um ser humano. Com todo meu amor e carinho, á nós três.

“Onde há esperança, sempre há dificuldades”

BTS (Sea)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus por abrir este novo caminho em busca do título de Mestre em Ciências Ambientais. Agradeço por fortalecer minha jornada desde a graduação em Ciências Biológicas e por abrir a futura porta do Doutorado, na Unesp e a Ufla.

À minha mãe, Miriã de Sousa, por me mostrar a face de uma mulher guerreira e expor que por mais que a vida seja difícil e pela necessidade de fazer escolhas, a vida sempre terá particularidades belas e isso só dependerá do meu campo de visão. Obrigada por me fazer acreditar em Deus e saber que Ele sempre age pelo certo e fortalece os caminhos que são corretos. Eu te amo e estou aqui, essencialmente, por você.

Ao meu irmão, Guilherme de Sousa Barbosa, pelo caráter, amor (por mais que ele esteja guardado nas profundezas do seu coração) e por acreditar em mim. Obrigada pelo melhor presente que ganhei na vida, o meu carro, pois com ele consigo realizar minha pesquisa e meus estudos. Sua busca incessante para alcançar seus objetivos foi e é inspiradora. Você é e sempre será minha maior influência. Te amo.

Aos meus familiares, tios (a), avós (a), primos (a) que foram fundamentais para meu desenvolvimento, meu sincero reconhecimento.

À minha amiga Pamella Damaris, pelo companheirismo e ajuda durante a minha mudança e moradia em Frutal. Sem você tudo teria sido um caos, você foi meu anjo da guarda. Obrigada pela amizade, carinho, amor, irmandade e por existir, reconheço sua importância em minha vida e espero que seja feliz. Te amo.

Aos amigos, Ana Beatriz, Karen, Adriana, Heytor, Javier, Geovanni, Pedro e Ana Luiza agradeço pelos momentos alegres, pelas conversas, desabafos, cervejas, rolês caóticos e alguns chatos (risos), filminhos, choros, risadas, e abraços compartilhados durante esses dois anos. Vocês foram essenciais para que eu não endoidasse e foram guerreiros por aturar o meu lado passivo agressivo. Meu eterno carinho e gratidão. Eu amo vocês com todo meu coração. Torço para que cada um encontre sua felicidade e calma, e que possam alcançar seus objetivos de vida. Essa vida é muito doida e quero poder contar com vocês sempre e que possamos viajar e compartilhar muitos momentos bons que ainda estão por vir.

A todos os amigos e colegas que conheci durante o Curso de Identificação de Escarabaeinae Americanos 2023 e ao Team Pouca Bosta, conviver com vocês por mais de 10 dias foi incrível. Pode parecer pouco tempo, mas agradeço de coração a troca de conhecimento

e carinho que foram proporcionados durante o curso, nos cafés e almoços, nas festinhas e na piscininha de “casa”, aquela que salvou nossas noites em CuiabáHell (risos). Espero revê-los.

Ao Professor Fernando Vaz-de-Melo pela identificação dos meus bichos e por dedicar um pouco do seu tempo a me ensinar sobre Besouros durante minha estadia na UFMT em Cuiabá. Foi um prazer conhecê-lo.

A todos os professores do mestrado que passaram pela minha vida, saibam que vocês foram cruciais para o meu desenvolvimento. Em especial destaco os professores: Vanesca Korasaki, Eliana Panarelli, Gustavo Gravatim, Jhansley da Mata, Osania Ferreira, Rodrigo Millan, Thais Corrêa e Leandro Pinheiro. Agradeço a cada socialização e conversas edificantes e não edificantes que tivemos. Vocês são exemplos de profissionais e humanos.

À minha orientadora Prof. Dr. Vanesca Korasaki, agradeço pela aceitação no processo seletivo, incentivo e orientação durante os dois anos. Obrigada pelas conversas, chamadas de atenção, conselhos e amizade. Saiba que quero ser uma pesquisadora semelhante a você, uma profissional foda.

À UEMG, corpo docente, técnicos administrativos, técnicos laboratoriais, pessoal da limpeza, meu sincero obrigada por manterem a ordem na Universidade.

À UFPA, professores e alunos que tive a oportunidade de conhecer durante o desenvolvimento do projeto Biosbrasil.

Aos órgãos de fomento FAPESP, CAPES, CNPq, INCT – Biodiversidade do Solo.

A FAPESP pela concessão da bolsa de mestrado, onde fui contemplada e pude realizar o mestrado com exclusividade.

Um agradecimento especial aos professores da Graduação da UFPA - campus Iturama, Dr. Cassiano Sousa Rosa e Dr. Armando Castelo Branco, por serem gigantes em me mostrar o caminho da pesquisa.

Em memória da minha avó, Marlene Pereira Barbosa, gostaria que soubesse das nossas conquistas. Esteja em paz.

Por fim, agradeço a mim mesma por não desistir. É difícil, mas quem disse que seria fácil? Você nunca estará sozinha nessa. E por favor pare de se autossabotar, você já chegou muito longe e venceu muitas pequenas/grandes batalhas.

A todos que acreditaram em mim e na pesquisa brasileira, direta ou indiretamente.

Obrigada!

RESUMO

Os besouros rola-bosta desempenham um papel ecologicamente importante, fornecendo serviços vitais ao ecossistema. Essa comunidade tem o potencial de influenciar a estrutura e a fertilidade do solo, além de desencadear interações em vários serviços ambientais, tanto de forma direta quanto indireta. No entanto, a destruição do habitat desses insetos, principalmente devido à atividade humana, pode resultar em alterações na estrutura da comunidade. Apesar da interferência humana, esses invertebrados são capazes de continuar prestando serviços ecossistêmicos, mesmo que sua eficiência seja alterada por perturbações. Áreas que abrigam diferentes biomas estão ameaçadas à medida que a expansão agrícola avança, substituindo áreas naturais por um novo ambiente transformado, o que resulta na fragmentação de grandes extensões de vegetação contínua em um mosaico de áreas modificadas. No Brasil, a cultura do café deixou uma marca significativa na história do país, especialmente durante o Ciclo do Café, perdurando até os dias de hoje. Nesse contexto, esta dissertação aborda um capítulo dedicado à análise da estrutura das comunidades de besouros rola-bosta e suas funções ecológicas como bioindicadores em sistemas de cafezais, nas áreas de Mata Atlântica do Estado de Minas Gerais, Brasil. Para coletar dados, escolhemos áreas no município de Santo Antônio do Amparo - MG, selecionando seis paisagens com uma distância mínima de 2 km entre elas. Em cada segmento, examinamos áreas com distintos níveis de produtividade de café e florestas adjacentes. Nessas regiões, coletamos amostras de besouros rola-bosta, juntamente com suas respectivas funções ecológicas. Foram coletados o total de 1249 indivíduos, distribuídos 46 espécies, 13 gêneros. A pesquisa revelou disparidades significativas na abundância e riqueza de besouros nos diversos sistemas analisados. Embora não tenham sido notadas diferenças significativas na riqueza, abundância de besouros entre plantações de café de maior e menor produtividade. As análises destacaram distinções entre comunidades de besouros rola-bosta entre essas áreas cafeeiras e as áreas de floresta, porém, não houve diferenças significativas na comunidade de besouros entre plantações de café de maior e menor produtividade. Esses resultados ressaltam a influência positiva da cobertura vegetal na configuração das comunidades, na riqueza e abundância de escarabeíneos, sublinhando como a comunidade é afetada pela conversão de áreas nativas em diferentes áreas de uso da terra.

Palavras-chave: Biodiversidade. Funções Ecológicas. Habitats. Coleoptera. Scarabaeinae..

DUNGE BEETLES (SCARABAEIDAE: SCARABAEINAE) AS BIOINDICATORS OF PRODUCTIVITY IN COFFEE SYSTEMS, MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

Dung beetles play an ecologically important role, providing vital ecosystem services. This community has the potential to influence soil structure and fertility, in addition to triggering interactions in various environmental services, both directly and indirectly. However, the destruction of these insects' habitat, mainly due to human activity, can result in changes in the community structure. Despite human interference, these invertebrates are able to continue providing ecosystem services, even if their efficiency is altered by disturbances. Areas that host different biomes are threatened as agricultural expansion advances, replacing natural areas with a new transformed environment, resulting in the fragmentation of large expanses of continuous vegetation into a mosaic of modified areas. In Brazil, coffee culture left a significant mark on the country's history, especially during the Coffee Cycle, lasting until today. In this context, this dissertation addresses a chapter dedicated to the analysis of the structure of dung beetle communities and their ecological functions as bioindicators in coffee plantation systems, in the Atlantic Forest areas of the State of Minas Gerais, Brazil. To collect data, we chose areas in the municipality of Santo Antônio do Amparo - MG, selecting six landscapes with a minimum distance of 2 km between them. In each segment, we examined areas with different levels of coffee productivity and adjacent forests. In these regions, we collected samples of dung beetles, along with their respective ecological functions. A total of 1249 individuals were collected, distributed across 46 species, 13 genera. The research revealed significant disparities in the abundance and richness of beetles in the different systems analyzed. Although no significant differences were noted in the richness and abundance of beetles between higher and lower productivity coffee plantations. The analyzes highlighted distinctions between dung beetle communities between these coffee growing areas and forest areas, however, there were no significant differences in the beetle community between higher and lower productivity coffee plantations. These results highlight the positive influence of vegetation cover on the configuration of communities, on the richness and abundance of dung beetles, highlighting how the community is affected by the conversion of native areas into different areas of land use.

Keywords: Biodiversity. Coleoptera. Ecological Functions. Habitats. Scarabaeinae.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	
166	
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. Sistemas de Cultivo do Café	20
2.2. Bioma Mata Atlântica	23
2.3. Mudanças de Sistemas de Uso da Terra (SUT)	25
2.4. Insetos Bioindicadores	26
2.5. Besouros Escarabeíneos	28
REFERÊNCIAS	33
CAPÍTULO 3 – O PAPEL DOS BESOUROS ROLA-BOSTA COMO INDICADORES AMBIENTAIS NA PAISAGEM CAFEIEIRA DA MATA ATLÂNTICA, MINAS GERAIS, BRASIL	47
3.1. INTRODUÇÃO	
518	
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	50
3.2.1 Seleção de áreas de estudo e delineamento experimental	50
3.2.2 Coleta de Funções Ecológicas	53
3.2.3 Coleta de Besouros	574
3.2.4. Variáveis físicas e químicas do solo	56
3.2.5. Análise de Dados	56
3.2.5.1. Besouros rola-bosta como indicadores	56
3.3. RESULTADOS	57
3.3.1. Abundância e diversidade.....	607
3.3.2. Composição da comunidade de besouros escarabeíneos	663
3.3.3. Espécies Indicadoras (IndVal)	674
3.3.4. Efeito das variáveis ambientais na composição da comunidade de besouros rola-bosta	
696	
3.3.5. Efeito do sistema de uso da terra sobre funções ecológicas	69
3.4. DISCUSSÃO	70

3.4.1. Riqueza, abundância e diversidade	70
3.4.2. Composição da comunidade e espécies indicadoras e detectoras	72
3.4.3. Variáveis ambientais e funções ecológicas	73
3.5. CONCLUSÃO	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICES	88

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3 – O PAPEL DOS BESOUROS ROLA-BOSTA COMO INDICADORES AMBIENTAIS NA PAISAGEM CAFEIEIRA DA MATA ATLÂNTICA, MINAS GERAIS, BRASIL	47
Figura 1 – Pontos amostrais de cafês de maior e menor produtividade no município de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	51
Figura 2 – Arenas de função para avaliação do grau de remoção de fezes e revolvimento de solo por besouros rola-bosta em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	53
Figura 3 – Estação para calibrar a perda e/ou ganho de umidade em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	54
Figura 4 – Armadilhas tipo pitfall para captura de besouros rola-bosta em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo – MG, Brasil	55
Figura 5. A – Curva de rarefação baseada no número de coletas em relação a riqueza estimada; 5.B - número de indivíduos coletados em áreas de café com maior e menor produtividade e florestas, em Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil. Linha pontilhada representa intervalo de confiança de 95%	60
Figura 6 – Diagrama de Venn indicando o compartilhamento de espécies nos sistemas de uso da terra, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	61
Figura 7 – Representação em box-plot de parâmetros da comunidade de besouros rola-bosta em sistemas cafeeiros de maior e menor produtividade e áreas de floresta adjacentes, na cidade de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil. A) Abundância; B) Riqueza. Letras diferentes em cima das barras representam diferença estatística ($p < 0,05$)	62
Figura 8 – Análise de Componentes Principais – PCO, da comunidade de besouros escarabeíneos, construída a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis em áreas de café e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	63

- Figura 9** – Análise de redundância baseada em distância (dbRDA). Relação entre a ordenação das áreas amostradas em café de baixa e alta produtividade baseada na composição da comunidade de besouros escarabeíneos e variáveis ambientais, sendo: Silte, Cu (cobre), Mn (manganês), Zn (zinco), pH (potencial hidrogeniônico) e P-rem (fósforo remanescente). Triângulos azuis: café com maior produtividade; Quadrados rosa: café com menor produtividade 67
- Figura 10** – Revolvimento de solo e remoção de fezes realizadas por besouros rola-bosta em cafeeiros de maior produtividade, menor produtividade e floresta, em Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil 69
- Figura 11** – Precipitação e temperatura mensal entre janeiro de 2018 a dezembro de 2022. Flechas pretas indicam o mês de janeiro dos anos de 2018-2021 e flecha vermelha o mês de fevereiro de 2022 70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3 – O PAPEL DOS BESOUROS ROLA-BOSTA COMO INDICADORES AMBIENTAIS NA PAISAGEM CAFEEIRA DA MATA ATLÂNTICA, MINAS GERAIS, BRASIL	47
Tabela 1 – Produtividade das áreas de café, em Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	52
Tabela 2 – Número de indivíduos de besouros escarabeíneos em áreas de café com maior produtividade, menor produtividade e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	58
Tabela 3 – Teste pareado de Permanova entre as áreas de café de maior e menor produtividade e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil	64
Tabela 4 – Valores obtidos para espécies indicadoras dos ambientes estudados. CMEP = café maior produtividade; CMAP = café menor produtividade; FRT = floresta; Obser (IV) = resultado do índice para cada espécie; S.Dev = desvio padrão. Valores significativos em negrito	65
Tabela 5 – Resultados da Modelagem linear baseada em distância (DistLM) entre a relação das variáveis ambientais e a composição da comunidade de besouros escarabeíneos em teste marginal (variação explicada por variável única) e em teste sequencial (variação explicada pela adição de novas variáveis por vez para obter o critério de ajuste ideal) usando o procedimento de seleção R2 ajustado. * P<0.05	68

APÊNDICE

CAPÍTULO 3 – O PAPEL DOS BESOUROS ROLA-BOSTA COMO INDICADORES AMBIENTAIS NA PAISAGEM CAFEEIRA DA MATA ATLÂNTICA, MINAS GERAIS, BRASIL	48
Apêndice a – Pontos de amostragem, municípios de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.....	88
Apêndice b – Pontos de amostragens, município de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.	89
Apêndice c – Mapa do uso da terra com pontos amostrais de sistemas cafeeiros com maior e menor produtividade.	90

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, os ecossistemas florestais abrangem aproximadamente 497.962.509 hectares, distribuídos em seis biomas: Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal e destacam-se pela alta riqueza de biodiversidade ambiental (Snif, 2020). Entretanto, a biodiversidade dessas paisagens enfrenta ameaças significativas devido à ação humana, especialmente pela expansão descontrolada da agricultura, pecuária e urbanização, resultando em impactos ambientais não mitigados (Hansen; Defries; Turner, 2012; Franco *et al.*, 2023).

No contexto ambiental brasileiro, a introdução de monoculturas, como a plantação de café, destaca-se como uma das intervenções mais significativas, especialmente considerando a posição de liderança global do país na produção e exportação dessa cultura (Embrapa, 2018). Frequentemente, as áreas dedicadas aos cafezais substituem habitats onde a vegetação nativa foi removida, resultando em impactos ambientais consideráveis, agravados por condições climáticas adversas (Cruz *et al.*, 2023).

Apesar das interferências ambientais causadas pelo diferente uso da terra, a cultura do café é de extrema importância para o Brasil em diversos aspectos. O país destaca-se como um dos maiores produtores e exportadores de café no mundo, e essa cultura possui uma longa história que influenciou significativamente a economia, a sociedade, a cultura brasileira (Tarifa-Lopes, 2020) e as paisagens.

A modificação dos habitats leva à uniformização de ecossistemas variados em áreas com recursos limitados, afetando não só a diversidade biológica, mas também as propriedades do solo e os serviços ecossistêmicos (Nunes *et al.*, 2022). As mudanças na paisagem causadas pelo uso da terra têm um impacto direto na composição e abundância de diferentes comunidades de organismos, favorecendo algumas espécies em detrimento de outras (Korasaki, 2010; Korasaki *et al.*, 2013). É importante salientar que a fauna e a flora capaz de se adaptar a essas mudanças desempenham funções ambientais importantes para o novo ecossistema (Braga *et al.*, 2012; 2013).

Para compreender esses impactos ambientais causados pelo uso da terra, é importante analisar a fauna que habita esses novos ambientes, especialmente os animais classificados dentro da Classe Insecta, pois eles refletem diretamente atividades antrópicas (Cluzeau *et al.*, 2012). Dentro da Classe Insecta, uma das maiores ordens é a Coleoptera, tendo como representantes os besouros. Os besouros rola-bosta (Scarabaeidae: Scarabaeinae) têm sido

amplamente utilizados como indicadores de qualidade ambiental devido à sua sensibilidade às alterações do ambiente (Nichols *et al.*, 2007), sendo considerados consagrados indicadores de biodiversidade nos trópicos (Halffter; Favila, 1993; Oliveira, *et al.*, 2011), devido a sua rápida resposta quando submetidos as alterações ambientais das mais variadas fontes (Nichols *et al.*, 2007).

Esses animais desempenham um papel importante nos ecossistemas devido às suas adaptações alimentares e comportamentais, utilizando o solo para alocação de recursos, abrigo e nidificação (Halffter; Matthews, 1966; Halffter; Edmonds, 1982; Davis *et al.*, 2001; Resende, 2012). Os escarabeíneos são elementos significativos nos ambientes, pois contribuem para uma série de serviços ecossistêmicos, incluindo a ciclagem de nutrientes, decomposição de matéria orgânica (Hanski; Cambeforti, 2016; Peixoto *et al.*, 2021), bioturbação do solo e controle de pragas (Halffter; Matthews, 1966; Braga *et al.*, 2012). As comunidades de besouros são extremamente relevantes no equilíbrio ecológico (Nichols *et al.*, 2008), pois contribuem para a estabilidade da comunidade de plantas e animais, permitindo assim a manutenção do controle ambiental (Hanski; Cambeforti, 2016).

Considerando as importantes funções ecológicas desempenhadas por besouros rola-bosta, que os tornam animais de extrema relevância ambiental, devido à atribuição no funcionamento do ambiente e pela influência na qualidade e fertilidade do solo, além de desencadear interações em vários serviços ambientais, tanto de forma direta quanto indireta, este estudo teve como objetivo estudar as comunidades de besouros rola-bosta e as funções ecológicas associadas a estes organismos como bioindicadores em sistemas de cafezais, em áreas de Mata Atlântica, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Para isso, foram testadas as seguintes hipóteses: i) a composição da comunidade se altera de acordo com o uso da terra; ii) a composição da comunidade permitirá indicar produtividade nos sistemas cafeeiros; iii) alterações na paisagem interferem na riqueza, abundância, comunidade e funções ecológicas de rola-bosta; iiiv) há presença de espécies indicadoras em cada ambiente.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; AUDINO, L. D.; LOUZADA, J. Are dung beetles driving dung-fly abundance in traditional agricultural areas in the Amazon?. **Ecosystems**, v. 15, p. 1173-1181, 2012. DOI: 10.1007/s10021-012-9576-5.
- BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; ANDRESEN, E.; LOUZADA, J. Dung beetle community and functions along a habitat-disturbance gradient in the Amazon: a rapid assessment of ecological functions associated with biodiversity. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, e57786, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0057786.
- CRUZ, M.L.B.; MENDES, L.; NASCIMENTO, C.; SOUZA, M.; MELO, C.; AGUIAR, A.E.; OLIVEIRA, Í.; OLIVEIRA, F. **Contexto geoambiental do semiárido do nordeste brasileiro - temas geográficos**. ISBN: 978-65-86445-41-1. p.133. 2023.
- CLUZEAU, D.; GUERNION, M.; CHAUSSOD, MARTIN-LAURENT, F.; VILLENAVE, C.; CORTET, J.; RUIZ-CAMACHO, N.; PERNIN, C.; MATEILLE, T.; PHILIPPOT, L.; BELLIDO, A.; ROUGÉ, L.; ARROUAYS, D.; BISPO, A.; PÉRÈS, G. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. **European Journal of Soil Biology**, [S.l.], v. 49, p. 63-72, 2012. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2011.11.003.
- DAVIS, A. J.; HOLLOWAY, J. D.; HUIJBREGTS, H.; KRIKKEN, J.; KIRKSPRIGGS, A. H.; SUTTON, S. Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 593-616, jun. 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x.
- EMBRAPA. **Relatório mensal dezembro 2018. Conselho dos Exportadores de Café do Brasil**. 2018. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/CECAFE_Relatorio_Mensal_Dezembro_2018.pdf. Acesso em: 29 fev. 2023.
- FRANCO, A. L.; CARVALHO, R. L.; ANDRESEN, E.; MORA, F.; VASCONCELOS, H. L.; KORASAKI, V. Dung beetle morphological traits show intraspecific differences among four land uses in the Cerrado biome. **Journal of Insect Conservation** v. 27, p. 97-106, 2023. DOI: 10.1007/s10841-022-00452-w.
- HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. **México: Instituto de Ecologia**, p.176. 1982.
- HALFFTER, G.; FAVILA, M. E. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. **Biology International**, v. 27, n. 1, p. 15-21, 1993.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, v. 12-14, p. 312, 1966.

HANSEN, A. J.; DEFRIES, R. S.; TURNER, W. Land use change and biodiversity. *In*: Land change science. **Dordrecht: Springer**, p. 277-299, 2012.

HANSKI, I.; CAMBEFORTI, Y. **Dung Beetle Ecology**. New Jersey – EUA, Princeton University Press. p.514, 2016.

KORASAKI, V. **Respostas espaciais e temporais da comunidade de escarabeíneos e formigas ao gradiente de uso da terra, no noroeste da Amazônia**. Tese (Doutorado em Agronomia/Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 214. 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/1501>.

KORASAKI, V.; BRAGA, R. F.; ZANETTI, R. Conservation value of alternative land use systems for dung beetles in Amazon: Valuing traditional farming practices. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, p. 1485–1499, 2013. DOI: 10.1007/s10531-013-0487-3.

NICHOLS, E.; LARSEN, T.; SPECTOR, S.; DAVIS, A.F.; ESCOBAR, F.; FAVILA, M.; VULINEC, K. THE SCARABAEINAE RESEARCH NETWORK. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. **Biological Conservation**, v. 137, p. 1-19, 2007. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.01.023.

NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, L.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILLA, M.E. THE SCARABAEINAE RESEARCH NETWORK. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, 2008. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.

NUNES, C.; BERENGUER, E.; FRANÇA, F.; FERREIRA, J.; LEES, A.; LOUZADA, J.; SAYER, E.; SOLAR, R.; SMITH, C.; ARAGÃO, L.; BRAGA, D.; CAMARGO, P.; CERRI, C.; OLIVEIRA, R.; DURIGAN, M.; MOURA, N.; OLIVEIRA, V.; RIBAS, C.; VAZ-DE-MELLO, F.; BARLOW, J. Linking land-use and land-cover transitions to their ecological impact in the Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 119, n. 27, e2202310119, 2022. DOI: 10.1073/pnas.2202310119.

OLIVEIRA, V.; SOUZA, J.; VAZ-DE-MELLO, F.; NEVES, F.; FAGUNDES, M. Variação na fauna de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeinae) entre habitats de cerrado, mata seca e mata ciliar em uma região de transição cerrado-caatinga no norte de Minas Gerais. *Revista MG.Biota*. **Revista Científica MG.Biota**, v. 4, n. 4, p. 38, 2011.

PEIXOTO, P. G. **Análise dos sistemas de uso da terra no Cerrado do Triângulo Mineiro: impactos sobre a comunidade de besouros rola-bosta (Scarabaeidae: Scarabaeinae)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, p. 1-75, 2021.

RESENDE, N. F. Mudanças do uso da terra no Cerrado sobre comunidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia**, ISSN 2237-1664, v. 3, n. 1, p. 87-102, 2012.

SNIF. Florestas Naturais. **Serviço Florestal Brasileiro - Sistema Nacional de Informações Florestais**, 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/os-biomas-e-suas-florestas#:~:text=A%20%C3%A1rea%20de%20floresta%20do,apenas%202%25%20s%C3%A3o%20florestas%20plantadas>.

TARIFA-LOPES, V. A reprimarização das exportações brasileiras em perspectiva histórica de longa duração. **Carta Internacional**, v. 15, n. 3, 2020. DOI: 10.21530/ci.v15n3.2020.1029.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de Cultivo do Café

A cultura do café é uma das atividades agrícolas mais antigas e tradicionais do Brasil (Ibge, 2016), tendo influenciado profundamente a economia, a sociedade e a cultura do país ao longo dos séculos. Suas origens remontam ao século XVI (1501-1600), período marcado por grandes transformações econômicas e paisagísticas no Brasil colonial. Diversas atividades foram desenvolvidas para explorar os recursos da então, colônia, impulsionadas pelo início da atividade canavieira em conjunto com a exploração do pau-brasil, seguido pelo ciclo da mineração e, posteriormente, do café (Rodrigues *et al.*, 2018).

As primeiras mudas de café foram introduzidas no Brasil a partir da Guiana Francesa e plantadas na região do Pará por volta de 1730, mas as condições climáticas desfavoráveis na região amazônica e no Nordeste dificultaram sua adaptação. Foi somente mais tarde, no Sudeste do Brasil, especialmente na região do Vale do Paraíba, que o café encontrou o ambiente propício para prosperar e impulsionar a economia nacional (Nagay, 1999).

Com o sucesso do cultivo, uma nova tentativa de produção de café foi iniciada no Rio de Janeiro, por volta de 1760, a produção de café rapidamente se expandiu pela região, tornando a província de Vassouras um centro produtor. Entretanto, com o passar dos anos, a cultura do café encontrou diversos obstáculos, principalmente devido à escassez de terras disponíveis tanto para expansão, quanto para obter rendimentos econômicos satisfatórios (Nagay, 1999).

A degradação do solo e a exaustão dos recursos naturais agravaram ainda mais a disponibilidade de terras férteis, levando os produtores a migrarem para outras regiões do país. Assim, o café estabeleceu-se em novas áreas mais favoráveis ao seu cultivo, tornando-se um dos principais pilares da economia brasileira durante os séculos seguintes, impulsionando o desenvolvimento e a prosperidade das regiões produtoras (Rodrigues *et al.*, 2018).

A expansão do uso da terra teve consequências ambientais e sociais significativas, com o desmatamento em larga escala de áreas antes cobertas por florestas tropicais nativas (Ruiz *et al.*, 2018). A extensiva utilização de áreas para o cultivo do café teve profundas implicações, tanto ambientais quanto sociais, deixando um legado duradouro na paisagem e na estrutura socioeconômica do Brasil ao longo da história. O desmatamento para dar lugar às plantações de café transformou paisagens inteiras, resultando em impactos ambientais que permanecem evidentes em várias regiões do Brasil (Solórzano *et al.*, 2018).

É importante enfatizar que o Ciclo do Café no Brasil alcançou um significativo nível de transformação da paisagem por meio de um modo de exploração da terra que foi considerado devastador no contexto colonial, no qual consistia em latifúndios baseados no uso intensivo de mão-de-obra escrava, ou seja, a posse da terra se restringia a poucos proprietários e a paisagem resultante era em grande parte, homogênea. A lavoura cafeeira, em sua estrutura, tornou-se altamente dependente de mão-de-obra, devido ao tamanho das plantações e ao manejo exigido pelo cafezeiro (Brasil *et al.*, 2018).

De acordo com Nagay (1999), na década de 1880, a situação econômica do café no Brasil começou a se deteriorar, devido à pouca adoção de novas técnicas na produção, ao processo abolicionista, à crise de superprodução em 1897 e à política deflacionista entre 1898 e 1902. Esses eventos culminaram na Grande Crise Cafeeira no país, também conhecida como "Crise do Café", que ocorreu em 1898 e teve um impacto significativo na economia brasileira, uma vez que o café era a principal fonte de receita do país naquela época.

O aumento da produção mundial de café e a competição de outros países produtores pressionaram os preços do café brasileiro tanto no mercado nacional, quanto no internacional (Stein, 1961; Paula, 2001). Desde o final do século XIX, o Brasil já enfrentava desafios relacionados ao mercado cafeeiro, e a situação se agravou quando a Bolsa de Nova York registrou uma significativa queda nos preços, desencadeando a Crise de 29 e causando instabilidade na produção cafeeira (Nagay, 1999). Com a baixa na bolsa, os produtores brasileiros enfrentaram dificuldades financeiras, levando muitos deles à falência (Brasil *et al.*, 2018). A crise teve impacto econômico e social devastador no Brasil, com as receitas do governo sendo gravemente afetadas, o que resultou em declínio nas exportações e enfrentamento de dificuldades financeiras em âmbito nacional (Furtado, 2005).

Apesar dos desafios enfrentados durante as crises geradas ao decorrer dos decênios o Brasil conseguiu se restabelecer como líder na produção de café nos séculos seguintes (Nagay, 1999). Landau *et al.* (2020) relatam várias medidas adotadas para revitalizar a indústria cafeeira e superar os desafios enfrentados durante períodos adversos. Essas medidas incluem a diversificação das técnicas de cultivo, investimento em infraestrutura, esforços para melhorar as condições de trabalho nas fazendas, busca por novos mercados para expandir as transações para outras regiões do mundo e implementação de modificações nas políticas governamentais, com regimes de apoio à indústria cafeeira, mantendo uma comunicação contínua com as questões políticas, sociais e econômicas do país.

Com a implementação dessas medidas, o Brasil conseguiu se recuperar gradualmente e, nas décadas seguintes, reassumiu sua posição como principal produtor e exportador de café no mundo (Miranda, 2020). A produção de café continuou sendo importante força impulsionadora da economia brasileira ao longo do século XX e ainda hoje é uma das principais *commodities* agrícolas do país.

Entre os estados produtores de café no Brasil, destacam-se Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná (Landau *et al.*, 2020), sendo Minas Gerais o principal deles (Martins, 2017; Almeida, 2023), responsável por aproximadamente 65% da produção nacional (Orozco, 2018). Essa variedade na produção é resultado das características distintas de cada região do país, que proporcionam uma diversidade de tipos de café, como o natural ou de terreiro, o despulpado e o descascado, cada um com suas particularidades sensoriais, como suavidade, corpo, acidez, aroma e outras características especiais (Machado *et al.*, 2020). Essas diferenças e classificações decorrem da variedade de origens do café, uma vez que cada área de cultivo possui atributos únicos que a distinguem das demais (Orozco, 2018).

Diante da importância da produção de café no Brasil, é fundamental entender os diferentes métodos de manejo de solos e cultivos utilizados, incluindo tanto as práticas convencionais quanto as alternativas, como os sistemas orgânicos e regenerativos. Isso se deve ao fato de que as altas produtividades exigem o uso intenso de fertilizantes e pesticidas, o que aumenta consideravelmente os custos de produção e torna a sustentabilidade do agronegócio, especialmente para os pequenos produtores de café, cada vez mais desafiadora (Abreu *et al.*, 2011).

O sistema orgânico, baseado em princípios ecológicos, visa a preservação ambiental e o fornecimento de grãos de alta qualidade, excluindo o uso de agrotóxicos e promovendo a sustentabilidade do solo (Penteado, 2007, 2016; da-Silva *et al.*, 2019). O café orgânico, produzido de acordo com normas da agricultura orgânica, visa manter recursos naturais e a produtividade agrícola a longo prazo, minimizando o uso de insumos externos e reduzindo os impactos ambientais, além de proporcionar rentabilidade aos produtores e atender às necessidades sociais das comunidades rurais (Abreu *et al.*, 2011).

Além disso, métodos não convencionais como o agroflorestal e o regenerativo buscam práticas mais ecológicas, integrando o trabalho ao bioma de floresta e promovendo sistemas ecológicos sustentáveis (Senar, 2017; Schreefel *et al.*, 2020). A agricultura regenerativa, focada na preservação do solo, aumenta sua biodiversidade e promove a resiliência no cafeeiro,

alinhando-se cada vez mais a práticas sustentáveis (Hidalgo *et al.*, 2023).

Por outro lado, o café convencional, caracterizado pelo uso extensivo de insumos químicos, ainda prevalece, mas há uma tendência crescente em direção a práticas mais sustentáveis (Gonçalves, 2008; Abreu *et al.*, 2011). A dependência da indústria química gera impactos ambientais adversos, destacando preocupações sobre insumos industrializados nas atividades brasileiras (Embrapa, 2002).

No âmbito do solo e cultivo de café, a fertilidade do solo é importante, exigindo práticas de manejo adequadas para garantir a sustentabilidade do sistema produtivo. O preparo do solo, com estratégias de incorporação de insumos e manutenção da matéria orgânica, é essencial para a longevidade e qualidade da lavoura (Navarro, 2021; Parecido, 2020).

2.2 Bioma Mata Atlântica

Em escala global, o Brasil é reconhecido como o detentor da maior biodiversidade do mundo e possui o maior número de espécies endêmicas do planeta (Bayma *et al.*, 2022). Embora a rica biodiversidade esteja em grande parte localizada em florestas fragmentadas, é possível encontra-las nos biomas da Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pantanal e Pampas (Silva *et al.*, 2020a).

O conceito de bioma está relacionado a uma unidade de paisagem que exibe características físicas e fatores ecológicos semelhantes, compreendendo um conjunto de ecossistemas (Coutinho, 2006). Dentre os maiores e mais diversificados biomas, considerados *hotspots* de biodiversidade, destaca-se a Mata Atlântica, por abrigar uma rica diversidade de espécies (Myers *et al.*, 2000). A Mata Atlântica foi uma das maiores florestas tropicais das Américas, cobrindo originalmente aproximadamente 1,5 milhões de km² (Passos *et al.*, 2023).

Originalmente, este *hotspot* abrange 17 estados do Brasil, além de estar presente na Argentina, Paraguai e Uruguai (Almeida, 2016; Poleti *et al.*, 2023). Cerca de 123 milhões de pessoas habitam a região da Mata Atlântica, dependendo diretamente dos serviços ambientais oferecidos por esse bioma (Guedes; Seehusen, 2011; Zanini *et al.*, 2021). Devido à crescente influência humana, a Mata Atlântica enfrenta uma série de desafios em sua dinâmica natural, pois abriga os principais polos industriais e silviculturais do Brasil, além dos principais centros urbanos do país. Sendo assim, é uma das regiões mais afetadas pela destruição e fragmentação de habitats (Galindo-Leal; Câmara, 2005; Zanini *et al.*, 2021).

No Brasil, restam apenas 7,0% da cobertura original do bioma Mata Atlântica preservada (Fundação SOS Mata Atlântica, 2015; Gotardo et al., 2020). Esses remanescentes, encontrados em fragmentos de diversos tamanhos, desempenham um papel importante como pontos de pouso e trampolins ecológicos para animais (Ribeiro et al., 2009; Guzmán; Wolfhard; Raedig, 2019; Campos-Silva; Piratelli, 2020; Poletti et al., 2023). Notavelmente, os maiores fragmentos remanescentes estão situados em áreas de difícil acesso humano, geralmente caracterizadas por terrenos íngremes (Silva *et al.*, 2007), portanto, constata-se que a manutenção dessas áreas se deve a baixa relevância para uso humano.

É importante destacar que o tamanho e o isolamento dos remanescentes da Mata Atlântica são fatores que têm impacto significativo na defaunação, uma vez que áreas muito pequenas e isoladas podem não oferecer condições de sobrevivência das espécies (Bogoni *et al.*, 2018). Essa situação é comum em muitas florestas tropicais da América do Sul, que enfrentaram declínio nas reservas devido ao aumento do uso da terra, resultando em alterações nos padrões de biodiversidade (Sala *et al.*, 2000), interferindo rapidamente no papel funcional de outros organismos (Galetti; Dirzo, 2013; Dirzo *et al.*, 2014; Souza, 2022).

As transformações nas paisagens das florestas tropicais podem acarretar consequências adversas, como o declínio em diversos grupos de espécies, perturbação das cadeias tróficas e alteração na dinâmica das comunidades (Bogoni et al., 2016). Esses efeitos podem culminar em extinções locais, comunidades com baixa diversidade e homogeneização das funções ecológicas (Tabarelli et al., 2010; Canale et al., 2012; Magioli et al., 2015; Beltrão, 2019). Em resposta a essa preocupação, a Mata Atlântica, com sua extraordinária diversidade de espécies, recebeu proteção legal, sendo reconhecida como patrimônio nacional pela Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). A implementação da legislação de proteção do bioma, promulgada pela Lei Nº 11.428 de 2006, restringiu as práticas de manejo florestal, visando à preservação da vegetação nativa desse ecossistema único (BRASIL. Lei Nº LEI Nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 26 dez. 2006).

A influência da Mata Atlântica nas políticas desenvolvimentistas do país é evidente, especialmente em ciclos econômicos como o da cana-de-açúcar e do café, que priorizavam modelos de produção insustentáveis (Silva, 2012). Esse direcionamento resultou na redução significativa da extensão da Mata Atlântica, sendo que o avanço da fronteira agrícola devastou vastas áreas e ainda representa uma ameaça real para outros biomas. Em meio a esse cenário, a

proteção legal e a implementação de políticas de manejo sustentável se tornam cruciais para a preservação desses valiosos patrimônios naturais, garantindo não apenas a conservação da biodiversidade, mas também a sustentabilidade socioeconômica a longo prazo.

2.3 Mudanças de Sistemas de Uso da Terra (SUT)

Dentre as ações antrópicas responsáveis pelas perturbações ambientais, incluem-se as atividades de monocultura (Foley *et al*, 2005). A expansão agrícola é a maior responsável pelo desflorestamento em regiões tropicais, mas o comércio de madeira, mineração, urbanização e fatores relacionados a estes podem contribuir para o desmatamento (Geist; Lambin, 2002; Korasaki, 2010), causando mosaicos com características ecotonais evidentes e únicos.

Segundo Holland (1998) ecótonos são zonas de transição entre sistemas ecológicos adjacentes, possuindo um conjunto de características definidas exclusivamente por escalas de espaço e tempo e pela força das interações entre os sistemas (Milan; Moro, 2016). A transição entre ambientes adjacentes pode ser abrupta ou gradual e ser caracterizada por condições abióticas e bióticas diferentes dos habitats adjacentes, chamados coletivamente de efeitos de borda (Daubenmire, 1968; Milan; Moro, 2016).

A borda, em sua essência, representa uma área ou um conceito geográfico que se refere à zona de contato entre dois ambientes. Por outro lado, o efeito de borda diz respeito às perturbações que ocorrem nessa área de transição entre um fragmento e a matriz (Milan; Moro, 2016). Embora o termo "efeito de borda" tenha sido inicialmente introduzido para descrever a tendência de aumento da abundância populacional na transição entre dois habitats (Odum, 1971), é importante destacar que diferentes espécies podem responder de maneira positiva, negativa ou neutra às condições da borda (Murcia, 1995).

A conversão de áreas florestais primárias em outros tipos de sistemas de uso da terra, subdivide extensas áreas em pequenos fragmentos não contínuos, acarretando na redução da mesma e no aumento do efeito de borda (Laurance, 2000). Os efeitos de borda são conhecidos por afetar a abundância e diversidade de insetos e podem influenciar direta e indiretamente as interações de ordem superior e o funcionamento do ecossistema (Didham *et al.* 1996).

Próximo às bordas ocorrem alterações microclimáticas devido ao aumento da penetração da luz solar e do vento (Didham; Lawton, 1999), alterando a composição da fauna e da flora (Galetti *et al.*, 2006) e do solo (Wink *et al.*, 2005). A fragmentação da vegetação promove uma maior permeabilidade na floresta, os animais silvestres ficam mais susceptíveis

à caça (Reyna-Hurtado; Tanner, 2005) e a floresta fica mais vulnerável à entrada de espécies exóticas (Suarez; Bolger; Case, 1998) e às queimadas (Laurance, 2004).

O solo está entre os mais complexos sistemas biológicos do globo terrestre. Além de garantir lugar para a vida de muitos organismos, possui uma estreita relação com as cadeias alimentares das quais depende a maioria, senão todos os organismos terrestres, pois é o substrato de sustentação dos vegetais (Stork; Eggleton, 1992; Fernandes *et al.*, 2011). A composição da fauna do solo reflete o funcionamento do ecossistema, devido à sua íntima associação aos processos do sistema serrapilheira-solo e sua grande sensibilidade às modificações ambientais (Correia; Pinheiro, 1999).

A composição e formação do solo são influenciadas por uma interação complexa de fatores bióticos e abióticos, incluindo material de origem, topografia, clima e presença da fauna do solo, tornando-o um recurso natural de extrema importância para a funcionalidade dos ambientes terrestres (Fageria *et al.*, 1999; Pinto; Negreiros, 2021). A qualidade do solo é fundamental, pois determina sua capacidade de sustentar a produtividade biológica, preservar o ambiente e contribuir para a vitalidade das plantas e animais que dele dependem (Doran; Parkin, 1994; Pinto; Negreiros, 2021). Para avaliar essa qualidade, são empregados indicadores ambientais que englobam aspectos físicos, químicos e biológicos (Araújo; Monteiro, 2007; Pinto; Negreiros, 2021).

Compreender o impacto das mudanças de uso da terra na biodiversidade dos ecossistemas é de extrema importância (Franco *et al.*, 2023). Pois, os efeitos dos conflitos nas comunidades da fauna do solo podem variar em diferentes tipos de vegetação. Em geral, a intensificação do uso da terra leva à redução da diversidade, abundância e biomassa de espécies, um padrão frequentemente observado quando as florestas tropicais são substituídas por usos mais simplificados, como agricultura e pastagens (Shahabuddin *et al.*, 2010; Braga *et al.*, 2012; Korasaki *et al.*, 2013). Apesar disso, ainda há pouco conhecimento sobre como o uso da terra em monoculturas afeta as comunidades da Mata Atlântica. Nesse contexto, é importante destacar o uso de espécies bioindicadoras (Reguera *et al.*, 2018), que desempenham um papel fundamental na avaliação do nível de degradação ambiental, especialmente em locais sob estresse antropogênico (D'Costa *et al.*, 2018).

2.4 Insetos Bioindicadores

Um bioindicador é um organismo ou grupo de organismos que reflete os diferentes níveis de contaminação ambiental tanto em ecossistemas naturais, como em condições laboratoriais (Souza *et al.*, 2016). Para serem considerados bioindicadores, é necessário que sejam bem conhecidos em termos de taxonomia, ciclo de vida e biologia, além de apresentarem ocorrência em diferentes condições ambientais ou serem restritos a áreas específicas (Thomazini; Thomazini, 2000; Büchs, 2003; Machado, 2012). Essas espécies devem ter a capacidade de refletir o impacto de alterações ambientais em um habitat, comunidade ou ecossistema, fornecendo respostas cruciais sobre a qualidade do ambiente (Paoletti, 1999; Carignan; Villard, 2002; Silva; Silva, 2011). Além de serem facilmente amostrados, devem ter uma resposta conhecida às alterações ambientais e responder de forma clara aos distúrbios (Dale; Beyeler, 2001; Silva; Silva, 2011). Ao atuarem como bioindicadores, elas se tornam indicadores confiáveis das condições ambientais, pois sua presença, ausência ou comportamento revelam informações relevantes sobre o estado e a saúde do ambiente (Parmar *et al.*, 2016).

Os organismos bioindicadores são espécies ou grupos de espécies que possuem tolerância restrita em relação a um ou mais fatores ecológicos, e sua presença pode indicar uma condição ambiental específica e estabelecida (Allaby, 1992). Diversos organismos apresentam sensibilidade a mudanças no ambiente devido às suas características biológicas. Portanto, perturbações em um habitat podem alterar a estrutura do ecossistema e favorecer ou desfavorecer certos grupos de espécies, o que será determinado pela preferência de habitat, bem como pelas características comportamentais e fisiológicas desses organismos (Monteiro-Júnior *et al.*, 2015). É importante ressaltar que as mudanças nas comunidades de organismos não devem ser apenas descritivas, mas também fornece uma compreensão dos mecanismos biológicos subjacentes às alterações do ecossistema (Tocco *et al.*, 2018).

Os artrópodes, são amplamente empregados como bioindicadores devido à sua grande diversidade, abundância e biomassa no ambiente terrestre, bem como ao seu papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas (Mcgeoch, 1998; Eggleton, 2020; Wilson; Fox, 2021). Os insetos, em particular, possuem grupos que são ótimos organismos bioindicadores, sendo frequentemente utilizados em estudos de perturbação ambiental e na ecologia de ecossistemas naturais (Rosenberg *et al.*, 1986; Wink *et al.*, 2005).

Os insetos presentes no solo, pertencentes às ordens Coleoptera (Gerlach *et al.*, 2013), Lepidoptera (Ramírez-Restrepo; Macgregor-Fors, 2017), Díptera (Arimoro *et al.*, 2017),

Hymenoptera (Ribas *et al.*, 2012; Bargańska *et al.*, 2016) e Odonata (Valente-Neto *et al.*, 2016) são frequentemente utilizados como organismos indicadores da qualidade ambiental. Em particular os besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae), têm sido amplamente empregados como ferramenta de pesquisa para avaliar os impactos ambientais resultantes das mudanças no uso da terra (Medina *et al.*, 2002; e.g. Korasaki *et al.*, 2013; Mendivil *et al.*, 2020; Arias-Alvarez *et al.*, 2022) Sua presença, diversidade e abundância oferecem *insights* valiosos sobre as condições ambientais, a qualidade do habitat e os efeitos das perturbações, contribuindo para a compreensão e monitoramento dos ecossistemas.

2.5 Besouros Escarabeíneos

Os besouros escarabeíneos são insetos pertencentes à ordem Coleoptera, família Scarabaeidae, subfamília Scarabaeinae. Embora esses besouros tenham uma distribuição global, com exceção do continente antártico, as regiões tropicais apresentam a maior diversidade de espécies em comparação com as zonas temperadas do planeta (Halffter, 1991). Na América do Sul, há mais de 1.250 espécies de besouros coprófagos, das quais aproximadamente 618 espécies são encontradas no Brasil. Essas espécies pertencem a seis tribos distintas, nomeadamente Ateuchini, Deltochilini, Coprini, Dichotomiini, Oniticellini, Onthophagini e Phanaeini. (Vaz-de-Mello, 2000, 2011; Cortez 2021). Muitas famílias de besouros são altamente especializadas no nicho ecológico que ocupam (Kim, 1993; Wink *et al.*, 2005).

Os besouros da subfamília Scarabaeinae são, em sua maioria, organismos detritívoros que desempenham um papel importante no ecossistema, por meio da ciclagem de nutrientes, pois removem e incorporam a matéria orgânica ao solo, o que resulta no aumento da aeração do solo, consequentemente aumentando a infiltração de água e promovendo a fertilidade do solo, levando a sua capacidade produtiva prolongada (Vaz-de-mello, 1999, 2000; Milhomem *et al.*, 2003; Silva; Silva 2011). Esses organismos utilizam uma variedade de estratégias para aproveitar os recursos nutricionais disponíveis no solo, sendo a maioria deles voltada para a utilização de matéria rica em microrganismos (Halffter; Matthews, 1966).

Os membros da subfamília Scarabaeinae são predominantemente coprófagos, alimentando-se de fezes de mamíferos (Holter, 2016). No entanto, na região Neotropical as espécies apresentam grande diversificação de hábito alimentar (Halffter; Matthews, 1966; Korasaki, 2013). A diversificação das estratégias alimentares dos besouros dessa subfamília

pode ser explicada ecologicamente pela extinção de uma parte significativa da fauna de grandes mamíferos na região Neotropical durante o Pleistoceno (Halffter, 1991). Essa pressão seletiva provavelmente permitiu que grupos que já possuíam a capacidade de explorar diferentes fontes de recursos tivessem a oportunidade de se estabelecer e obter sucesso evolutivo (Halffter; Matthews, 1966; Korasaki, 2013).

Esses insetos, predominantemente coprófagos, têm uma dieta que abrange ampla variedade de recursos, desde fezes de outros animais, animais em decomposição, fungos e frutas podres e até mesmo apresentando comportamento predatório em relação a outros invertebrados artrópodes e não artrópodes (Halffter e Mathews, 1966; Cano, 1998; Halffter; Halffter, 2009; Martín *et al.*, 2021; Sobhana; Sabu, 2023). Sua notável diversidade de hábitos alimentares resulta na classificação desses besouros em guildas alimentares, onde suas preferências alimentares determinam a categorização, destacando três guildas funcionais - rola-dores, escavadores e residentes - com base nas estratégias de alimentação e nidificação dos besouros rola-bosta (Cambefor; Hanski, 1991; Sobhana; Sabu, 2023).

Os telecoprídeos (roladores) são aqueles que formam bolas com o recurso alimentar e as transportam horizontalmente, rolando-as normalmente com as tíbias do último par de pernas, afastando-as da fonte de alimento e posteriormente enterrando as porções no solo (Hanski; Cambefort, 1991). Os paracoprídeos (escavadores), por sua vez, são besouros que cavam túneis logo abaixo ou adjacente ao recurso alimentar, por meio dos quais o material é conduzido para o fundo, sendo posteriormente utilizado para reprodução e/ou alimentação das larvas e adultos (Halffter; Edmonds, 1982). Os endocoprídeos (residentes) são aqueles que vivem sobre e/ou dentro do depósito alimentar, sem transportá-lo (Halffter; Matthews, 1966; Zunino, 1991). No entanto, pode ocorrer a construção de bolas ou simplesmente a junção de massas fecais que estão associadas com a nidificação das espécies incluídas nesse grupo (Halffter; Halffter; Huerta, 1980; Huerta *et al.*, 2003).

Os besouros rola-bosta são animais que adquirem fontes de nutrientes para sua prole antes mesmo da postura dos ovos (Zunino, 1991; Rocha, 2016). Essa estratégia de criação de túneis e ninhos tem como objetivo gerar um ambiente adequado que funcione como local de desenvolvimento pós embrionário, com intuito de aumentar a sobrevivência da prole, uma vez que as larvas eclodem em meio ao alimento, devido a acumulação de suplemento alimentar dentro do ninho (Halffter; Edmonds, 1982), com isso não precisam se arriscar procurando por comida. Em alguns casos, esses túneis funcionam também como residência para indivíduos

adultos (Halffter; Edmonds, 1982; Korasaki, 2013). As diferentes guildas para obtenção de alimento facilitam a coexistência entre espécies diferentes (Hanski; Cambefort, 1991) e a diversificação ecológica, alimentar, sazonal e de habitats tem sido considerada como mecanismo de partição dos recursos entre os Scarabaeinae (Cambefort; Walter, 1991; Doube, 1991; Alves, 2015).

A comunidade de besouros rola-bosta apresenta alta sazonalidade, sendo mais ativa durante o período chuvoso. As altas taxas de umidade nesse período estimulam os besouros a saírem do solo, forragearem e procurarem parceiros sexuais, promovendo sua disseminação (Vasconcellos *et al.*, 2010). É durante esse período que ocorre a maior abundância e diversidade de espécies registradas (Price, 2009). Essa sazonalidade está relacionada à maior disponibilidade de recursos, devido ao aumento da presença de mamíferos nesse período (Hernández, 2005).

Os besouros rola-bosta podem ser classificados de acordo com o período de atividade, que pode ser noturno, diurno ou intermitente, havendo também espécies com preferência pelo período crepuscular. Essas diferenças no padrão de atividade são resultado da intensa competição interespecífica por recursos. Adaptações fisiológicas permitem comportamentos distintos, como a regulação da temperatura corporal e a capacidade de visualizar obstáculos durante o voo noturno (Caveney; Scholtz; McIntyre, 1995; Howden; Howden; Storey, 1991; Franco *et al.*, 2023).

Os besouros coprófagos possuem adaptações distintas em sua estrutura corporal para se alimentarem de recursos fecais, como sua mandíbula adaptada e cerdas filtrantes, que permitem a trituração dos alimentos (Hanski; Cambefort, 2016). Suas tíbias posteriores alongadas e curvas facilitam o rolar de recursos nutritivos (Halffter; Edmonds, 1982). A cooperação entre machos e fêmeas é comum durante a rolagem da bola nutricional, embora diferentes padrões de nidificação também sejam observados (Hanski; Cambefort, 1991; Halffter; Matthews, 1966). Além disso, a estrutura do aparelho reprodutor feminino e o comportamento de cuidado parental contribuem para a sobrevivência das larvas (Bornemissza, 1969; Halffter; Matthews, 1966; Zunino, 1991; Yamada *et al.*, 2007; Halffter *et al.*, 2013; Hanski; Cambefort, 2016; Rocha, 2016). Os chifres, geralmente presentes em machos, mas podendo estar presente em fêmeas, desempenham papéis na seleção sexual, defesa e competição por recursos (Emlen; Philips, 2006). Os olhos segmentados e o olfato aguçado são adaptações importantes para a navegação e localização de recursos (Scholtz *et al.*, 2009; Kingston; Coe, 1977).

Os besouros rola-bosta adotam diferentes estratégias de forrageamento na busca por material nutritivo e uma dessas estratégias envolve realizar pequenos voos, de forma aleatória, na tentativa de localizar recursos alimentares. Esse padrão de voo é característico nas espécies de maior tamanho corporal, com mais de 10 mm (Hanski; Cambefort, 1991; Peixoto, 2021). Outra forma de forrageamento utilizada pelos besouros é empoleirar-se nas folhas da vegetação rasteira, estendendo suas antenas para identificar o odor do alimento. Esse comportamento é observado principalmente em espécies de menor tamanho corporal (Louzada, 1998; Salomão, Lira; Costa, 2016; Noriega *et al.*, 2020). Além disso, os besouros rola-bosta podem localizar recursos por meio da foresia, ou seja, sendo transportados por outras espécies. Esse tipo de interação permite que os besouros aproveitem a movimentação de animais maiores para se deslocarem e encontrar novas fontes de alimento (Vaz-de-Mello; Louzada, 1997; Jacobs *et al.*, 2008).

Devido à sua estreita relação com os dejetos e o solo, os besouros rola-bosta desempenham diversas funções ecológicas (Nichols *et al.*, 2008), tornando-se um grupo de grande importância econômica em vários agroecossistemas. Ao remover fragmentos de esterco e enterrá-los no solo, esses besouros promovem a fertilização do ambiente (Aidar *et al.*, 2000; Anduaga, 2004; Young 2007; Ferrer-París, 2014; Basto-Estrella *et al.* 2016, Rodríguez-Vivas *et al.*, 2020). Esse processo resulta no enriquecimento do solo com nutrientes essenciais, como nitrogênio, enxofre, fósforo, entre outros, favorecendo o crescimento das plantas (Sowig, 1996; Horgan, 2001; Nichols *et al.*, 2008). Como resultado, as áreas onde os besouros rola-bosta atuam, têm melhor aproveitamento agrícola e podem gerar benefícios em termos de produtividade.

A escavação realizada pelos besouros revolve considerável quantidade de solo para a superfície por meio da construção em diferentes profundidades e diâmetros de túneis e galerias no solo. Esses túneis e galerias permitem a passagem da água da chuva e de ar para o interior do solo, potencializando sua função ecológica (Louzada, 2008; Alves, 2015). Além disto, a movimentação vertical destes besouros e outros organismos da serapilheira também associam as mudanças do solo, que por sua vez, é influenciada pela presença de diferentes tipos de vegetais (Villani; Wright, 1990; Silva; Silva, 2011).

Esses organismos são importantes em estudos de fragmentos paisagísticos e podem ser utilizados na avaliação dos efeitos de distúrbios ambientais, pois são animais que por terem natureza sedentária, são mais vulneráveis a mudanças ambientais ao longo dos ecossistemas

(Kimberling *et al.*, 2001; Wink *et al.*, 2005). Podendo afetar a estrutura das comunidades, diversidade e abundância de indivíduos e espécies (Halfpiter; Favila, 1993; Silva *et al.*, 2010). Os besouros escarabeíneos constituem um grupo de grande interesse ecológico, pois possuem a capacidade de explorar recursos decorrentes de atividades humanas (Thomazini; Thomazini, 2000; Wink *et al.*, 2005). Além disso, desempenham importantes papéis na ciclagem de nutrientes e na dispersão de sementes e podem ser utilizados para avaliações ambientais devido suas respostas a referente efeitos de distúrbio florestal (Davis *et al.*, 2001; Silva; Silva, 2011). Suas comunidades exibem padrões distintos de estrutura em diferentes escalas (Hanski; Camberfort, 2016), tornando-os essenciais para a manutenção do equilíbrio do ecossistema (Halfpiter; Matthews, 1966; Resende, 2012). Em suma, os besouros escarabeíneos desempenham funções cruciais na ecologia, contribuindo para a sustentabilidade e o funcionamento saudável dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. A. S.; S. D. V. F.; ROSA, S. M. C.; SOUZA, V. N.; SILVA, F. L.; VILELA, E. I. A. FERREIRA. Qualidade Sanitária De Sementes De Café Produzidas Sob Manejo Orgânico. *In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil*, 7., 2011, Anais. Brasília, DF: Embrapa Café, 2011. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/3252>.
- ALMEIDA, R. O.; CRUZ, T. V.; CREPALDI, M. O.; SILVA, L. T.; SOUSA, A. C.; CERQUEIRA, E. M. S.; SENA, A. Cana-de-Açúcar e Café na Região Extremo Sul da Bahia, Brasil: Uma Análise Espaço-Temporal e dos Fatores Socioeconômicos. **Sociedade & Natureza**, v. 35, e66851, 2023. DOI: 10.14393/SN-v35-2023-66851.
- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Ilhéus: Editus, 2016. 200 p. (Universidade Estadual de Santa Cruz). ISBN 978-85-7455-440-2.
- ALVES, F. R. **Interações e funções ecológicas desempenhadas por scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) e térmitas (isoptera) em áreas de pastagem e fragmentos de Mata Atlântica no sul de Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, p. 1-66, 2015.
- ALLABY, M. **The concise Oxford Dictionary of Zoology**. Oxford: Oxford University Press, 1992.
- ANDUAGA, S. Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeoidea) asociados a hongos en la Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico: con una compilacion de las especies micetofagas. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 80, p. 119-130, 2000. DOI: 10.21829/azm.2000.80801894.
- ANDUAGA, S. Impact of the activity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) inhabiting pasturelands in Durango, México. **Environmental Entomology**, v. 33, p. 1306–1312, 2004. DOI: 10.1603/0046-225X-33.5.1306.
- AIDAR, T.; KOLLER, W. W.; RODRIGUES, S. R.; CORREA, A. M.; SILVA, J. C. C.; BALTA, O. S.; OLIVEIRA, J. M.; OLIVEIRA, V. L. Besouros Coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) Coletados em Aquidauana, MS, Brasil. **Anais da Sociedade de Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 4, p. 817-820, 2000. DOI: 10.1590/S0301-80592000000400023.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p.66-75, 2007. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/issue/view/401>.
- ARIAS-ALVAREZ, G. A.; VENEGAS-ALARCÓN, D. A.; GARCÍA-HERNANDEZ-, A. L.; SANTOS-HERÉDIA, C.; ANDRESEN, E. Efecto de la cobertura vegetal en escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y sus funciones ecológicas en un bosque andino de Colombia. **Revista biología tropical** [online], v.70, n.1, p.53-66. 2022. DOI: 10.15517/rev.biol.trop..v70i1.47849.

ARIMORO, F. O.; AUTA, Y. I.; ODUME, O. N.; KEKE, U. N.; MOHAMMED, A. Z. Mouthpart deformities in Chironomidae (Diptera) as bioindicators of heavy metals pollution in Shiroro Lake, Niger State, Nigeria. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 149, p. 96-100, 2017. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.10.074.

BARGAŃSKA, Ż.; ŚLEBIODA, M.; NAMIEŚNIK, J. Honey bees and their products: bioindicators of environmental contamination. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 3, p. 235-248, 2016. 10.1080/10643389.2015.1078220.

BASTO-ESTRELLA, G. S.; RODRÍGUEZ-VIVAS, R. I.; DELFÍN-GONZÁLEZ, H.; NAVARRO-ALBERTO, J. A.; REYES-NOVELO, E. Dung removal by dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) and macrocyclic lactone use on cattle ranches of Yucatán, Mexico. **International Journal of Tropical Biology and Conservation**, v. 64, p. 953–959, 2016. DOI: 10.15517/rbt.v64i3.21044.

BAYMA, A. P. *et al.* In: **IBAMA. Relatório de qualidade do meio ambiente: RQMA: Brasil, 2020**. Brasília, DF, cap. 4, p. 232-301, 2022.

BELTRÃO, M. G. **Mamíferos terrestres em remanescentes de Mata Atlântica da Paraíba: ilhados num mar de cana-de-açúcar?**. Dissertação (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p. 1-174, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20384>.

BOGONI, J. A.; PIRES, J. S. R.; GRAIPEL, M. E.; PERONI, N.; PERES, C. A. Wish you were here: How defaunated is the Atlantic Forest biome of its medium-to large-bodied mammal fauna?. **PloS One**, v. 13, n. 9, e0204515, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0204515.

BORNEMISSZA, G. F. A new type of brood care observed in the dung beetle *Oniticellus cinctus* (Scarabaeidae). **Pedobiologia**, v. 9, p. 223–225, 1969. DOI: 10.1016/S0031-4056(23)00519-X.

BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; AUDINO, L. D.; LOUZADA, J. Are Dung Beetles Driving Dung-Fly Abundance in Traditional Agricultural Areas in the Amazon?. **Ecosystems**, v. 15, p. 1173-1181, 2012. DOI: 10.1007/s10021-012-9576-5.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988**. São Paulo, Atlas, 11 ed., 1988.

BRASIL, L.; QUINTEIRO, M.; PENNA-FIRME, R. Transição da paisagem no Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ/SP): História Ambiental do café à pecuária. In: **GEOGRAFIA HISTÓRICA DO CAFÉ NO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL**. Cap. 8, p. 169-188, 2018.

BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 35-78, 2003. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00070-7.

- CAMBEFORT, Y.; WALTER, P. 1991. Dung beetles in tropical forests in Africa. *In*: HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. eds. **Dung beetle ecology**. Princeton: Princeton University Press, p. 198-210, 1991.
- CANALE, G. R.; PERES, C. A.; GUIDORIZZI, C. E.; GATTO, C. A. F.; KIERULFF, M. C.M. Pervasive defaunation of forest remnants in a tropical biodiversity hotspot. **PLoS ONE**, v. 7, n. 8, e41671, 2012. 10.1371/journal.pone.0041671.
- CANO, E. B. *Deltophilum valgum acropyge* Bates (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): habitats and distribution. **The Coleopterists Bulletin**, v. 52, n. 2, p. 174-178, 1998.
- CAMPOS-SILVA, L. A.; PIRATELLI, A. J. Vegetation structure drives taxonomic diversity and functional traits of birds in urban private native forest fragments. **Urban Ecosystems**, v. 24, p. 375-390, 2020. DOI: 10.1007/s11252-020-01045-8.
- CARIGNAN, V.; VILLARD, M. A. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 78, n. 1, p. 45-61, 2002. DOI: 10.1023/A:1016136723584.
- CAVENEY, S.; SCHOLTZ, C. H.; MCINTYRE, P. Patterns of daily flight activity in onitine dung beetles (Scarabaeinae: Onitini). **Oecologia**, v. 103, n. 4, p. 444-452, 1995. DOI: 10.1007/BF00328682.
- CORREIA, M. E. F.; PINHEIRO, L. B. A. **Monitoramento da fauna de solo sob diferentes coberturas vegetais em um sistema integrado de produção Agrícola, Seropédica (R.J.)**. ISSN: 1516-0653. EMBRAPA Agrobiologia, Circular Técnica, n. 3, p 1-18, 1999.
- CORTEZ, L. O. **Perda e fragmentação de habitat da Mata Atlântica: efeitos locais e da paisagem sobre a comunidade de rola-bostas (Coleoptera: Scarabaeinae)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada), Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 1-59, 2021.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta botânica Brasílica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006. DOI: 10.1590/S0102-33062006000100002.
- CUMMINGS, M.; EVANS, H. K.; CHAVES-CAMPOS, J. Male horn dimorphism and its function in the neotropical dung beetle *Sulcophanaeus velutinus*. **Journal of Insect Behaviour**, v. 31, p. 471-489, 2018. DOI: 10.1007/s10905-018-9693-x.
- DACKE, M.; BAIRD, E.; BYRNE, M.; SCHOLTZ, C. H.; WARRANT, E. J. Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation. **Current Biology**, v. 23, p. 1-3, 2013. DOI: 10.1016/j.cub.2012.12.034.
- DA-SILVA, É.; SILVA, W.; SOUSA, E. D.; GATO, A. Sistemas agroflorestais como alternativa agroecológica: Revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 1-6, 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n01a265.1-6.
- DALE, V. H.; BEYLER, S. C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2001.

DAUBENMIRE, R. F. **Plant communities: a textbook of Plant Synecology**. New York: Harper and Row, p. 300, 1968.

DAVIS, A. J.; HOLLOWAY, J. D.; HUIJBREGTS, H.; KRIKKEN, J.; KIRK-SPRIGGS, A. H.; SUTTON, S. Dung beetles as indicators of change in the forests of norther Borneo. **Journal of Applied Ecology**, v. 38, n. 3, p. 593-616, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x.

D'COSTA, A. H.; SHYAMA, S. K.; MK, P. K.; FURTADO, S. The Backwater Clam (*Meretrix casta*) as a bioindicator species for monitoring the pollution of an estuarine environment by genotoxic agents. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 825, p. 8-14, 2018. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2017.11.001.

DIDHAM, R. K; GHAZOUL, J.; STORK, N. E.; DAVIS, A. J. Insects in fragmented forest: A functional approach. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 11, n. 6, p. 255-260, 1996.

DIDHAM, R. K.; LAWTON, J. H. Edge structure determines the magnitude of change in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragment. **Biotrópica**, v. 31, n. 1, p. 17-30, 1999. 10.2307/2663956.

DIRZO, R.; YOUNG, H.S.; GALETTI, M.; CEBALLOS, G.; ISAAC, N.J.B.; COLLEN, B. Defaunation in the Anthropocene. **Science**, v. 345, p. 401-406, 2014. DOI: 10.1126/science.1251817.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. **Soil Science Society American**, p. 3-21, 1994. DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c1.

DOUBE, B. M.; WARDHALGH, K. G. Habitat associations and niche parttioning in an island dung beetle community. **Acta Oecologica**, n. 12, p. 451-459, 1991.

EGGLETON, P. The State of the World's Insects. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 45, p. 61-82, 2020. DOI: 10.1146/annurev-environ-012420-050035.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo Sustentável do Solo na Agricultura**: Guia Técnico. Brasília: EMBRAPA, 2002.

EMLLEN, D. J.; PHILIPS, K. T. Phylogenetic Evidence for an Association Between Tunneling Behavior and the Evolution of Horns in Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **The Coleopterists Bulletin**, v. 60, n. 5, p. 47–56. 2006. DOI: 10.1649/0010-065X(2006)60[47:PEFAAB]2.0.CO;2.

ESTUPIÑAN-MOJICA, A.; PORTELA-SALOMÃO, R.; LIBERAL, C. N.; SANTOS, B. A.; MACHADO, C. C. C.; ARAUJO, H. F. P.; THADEN, J. V.; ALVARADO, F. Landscape attributes shape dung beetle diversity at multiple spatial scales in agricultural drylands, **Basic and Applied Ecology**, v. 63, p. 139-151, 2022. DOI: 10.1016/j.baae.2022.06.002.

FAGERIA, NAND KUMAR; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. DOS. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Santo Antônio de Goiás. Embrapa Arroz e Feijão, p.294, 1999.

FERNANDES, J. **Flora associada a ruínas de antigos engenhos de Martim de Sá e Praia do Engenho, Paraty, RJ**. Monografia (Graduação em Biologia), Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, 2011.

FERRER-PARÍS, J. El escarabajo estercolero africano, *Digitonthophagus gazella*, (Coleoptera: Scarabaeidae) en la región Neotropical, beneficioso o perjudicial?. **Boletín de la Red Latinoamericana para el Estudio de las Especies Invasoras**, [S.l.], v. 4, n. 1, 2014.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FRANCO, A. L.; CARVALHO, R. L.; ANDRESEN, E.; MORA, F.; VASCONCELOS, H. L.; KORASAKI, V. Dung beetle morphological traits show intraspecific differences among four land uses in the Cerrado biome. **Journal of Insect Conservation**, v. 27, p. 97-106, 2023. DOI: 10.1007/s10841-022-00452-w.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. Companhia Editora Nacional. São Paulo. Editora Fundo de Cultura, 32 ed, 2005. Disponível em: <http://www.afoiceeomartelo.com.br/posfsa/autores/Furtado,%20Celso/Celso%20Furtado%20-%20Forma%C3%A7%C3%A3o%20Econ%C3%B4mica%20do%20Brasil.pdf>.

GALETTI, M.; DIRZO, R. Ecological and evolutionary consequences of living in a defaunated world. **Biological Conservation**, v. 163, p. 1-6, 2013. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.04.020.

GALETTI, M.; DONATI, C. I.; PIRES, A. S.; GUIMARÃES, P. R.; JORDANO, P. Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 141-149, 2006. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2006.00529.x.

GALINDO-LEAL, C; CÂMARA, I. G. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo, SP — Conservação Internacional, Belo Horizonte, MG, 2005.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143-150, 2002. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2.

GERLACH, J.; SAMWAYS, M.; PRYKE, J. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. **Journal of Insect Conservation**, v. 17, n. 4, p. 831-850, 2013. DOI: 10.1007/s10841-013-9565-9.

GONÇALVES, J. M. **Microbiota associada a grãos de café provenientes de cultivo convencional e orgânico**. Dissertação (Graduação em Tecnologia Superior em Cafeicultura). Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, Muzambinho, p.1-32, 2008.

GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; TORRES, E.; PIAZZA, G.A. Características Químicas e Físicas de um Cambissolo Háplico do Bioma Mata Atlântica sob diferentes usos de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, p. 1039-1066, 2020. 10.17765/2176-9168.2020v13n3p1039-1066.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. (Orgs.). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Conservação da Biodiversidade. Brasília, DF: MMA, 2011. p. 280. Série Biodiversidade, 42. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/980>.

GUZMÁN-WOLFHARD, L. V.; RAEDIG, C. Connectivity Conservation Management: Linking Private Protected Areas. In: NEHREN, U.; SCHLÜTER, S.; RAEDIG, C.; SATTLER, D.; HISSA, H. (Eds.). **Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro**. Springer Series on Environmental Management. Cham: Springer, 2019. p. [página inicial]-[página final]. DOI: 10.1007/978-3-319-89644-1_11.

HALFFTER, G. Historical and ecological factors determining the geographical distribution of beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Biogeographia—The Journal of Integrative Biogeography**, v. 15, n. 1, p.1-31, 1991. 10.21426/B615110376.

HALFFTER, G.; CORTEZ, V.; GÓMEZ, E. J.; RUEDA, C. M.; CIARES, W.; VERDÚ, J. R. A Review of Subsocial Behavior in Scarabaeinae Rollers (Insecta: Coleoptera): An Evolutionary Approach. **Monografías Tercer Milenio**, v. 9, p 1-74, 2013.

HALFFTER, G.; EDMONDS, W. D. **The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae). An ecological and evolutive approach**. Instituto de Ecología, México, D.F, p.1-155, 1982.

HALFFTER, G.; FAVILA, M. E. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. **Biology International**, Paris, v. 27, n. 1, p.15-21, 1993.

HALFFTER, G.; HALFFTER, V. **Why and where coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) eat seeds, fruits or vegetable detritus**. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, v. 45, p. 1-22, 2009.

HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, v. 12-14, p. 312, 1966.

HALFFTER, G.; HALFFTER, V.; HUERTA, C. Mating and nesting behaviour of *Eurysternus* (Coleoptera: Scarabaeinae). **Quaestiones Entomologicae**, Edmonton, v. 16, n. 3, p. 599-620, 1980.

HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y (eds). **Dung Beetle Ecology**. New Jersey – EUA, Princeton University Press, NJ, USA, p. 514, 2016.

HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung Beetle Ecology**. Princeton University Press. 1991. DOI:10.1515/9781400862092.

HERNÁNDEZ, M. I. M. Artrópodes: Besouros Scarabaeidae (Coleoptera) do Curimataú, Paraíba, Brasil, p. 369–380. In: F. S. Araújo, M. J. N. Rodal & M. R. V. Barbosa (eds.). **Análise das Variações da Biodiversidade do Bioma Caatinga para Suporte a Estratégias Regionais de Conservação**. Brasília, PROBIO, Ministério do Meio Ambiente, p. 434, 2005.

HIDALGO, F.; QUINONES-RUIZ, X.F.; BIRKENBERG, A.; DAUM, T., BOSCH, C.; HIRSCH, P.; BIRNER, R. Digitalization, sustainability, and coffee. Opportunities and challenges for agricultural development. **Agricultural Systems**, v. 208, 2023. DOI: 10.1016/j.agsy.2023.103660.

HOLLAND, M.M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries: report of a SCOPE/ MAB workshop on ecotones. **Biology International**, v. 17, p. 47-106, 1988.

HOLTER, P. Herbivore dung as food for dung beetles: elementary coprology for entomologists. **Ecological entomology**, v. 41, n. 4, p. 367-377, 2016. DOI: 10.1111/een.12316.

HORGAN, F.G. Burial of bovine dung by coprophagous beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) from horse and cow grazing sites in El Salvador. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, n. 37, p. 103-111, 2001. DOI: 10.1016/S1164-5563(01)01073-1.

HOWDEN, H. F.; HOWDEN, A. T.; STOREY, R. I. Nocturnal perching of Scarabaeine dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) in an Australian tropical rain forest. **Biotropica**, v. 23, n. 1, p. 51-57, 1991.

HUERTA, C.; HALFFTER, G.; HALFFTER, V.; LÓPEZ, R. Comparative analysis of reproductive and nesting behaviour in several species of *Eurysternus* Dalman (Coleoptera: Scarabaeinae: Eurysternini). **Acta Zoológica Mexicana**, v. 88, p. 1-41, 2003. DOI: 10.21829/azm.2003.88881788.

IBGE. **A geografia do café: dinâmica territorial da produção agropecuária**. Rio de Janeiro, 2016. 36 p. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/analises-doterritorio/15784-a-geografia-do-cafe.html?=&t=acesso-ao-produto>.

JACOBS, J.; NOLE, I.; PALMINTERI, S.; RATCLIFFE, B. First come, first serve: “sit and wait” behaviour in dung beetles at the source of primate dung. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 6, p. 641-645, 2008.

KIM, K.C. Biodiversity, conservation and inventory: Why insects matter. **Biodiversity and Conservation**, v.2, p.191-214, 1993. DOI: 10.1007/BF00056668.

KIMBERLING, D. N.; KARR, J. R.; FORE, L. S. Measuring human disturbance using terrestrial invertebrates in the shrub-steppe of eastern Washington (USA). **Ecological Indicators**, v. 1, n. 2, p. 63-81, 2001. DOI: 10.1016/S1470-160X(01)00009-7.

KINGSTON, T. J.; COE, M. The biology of a giant dung-beetle (*Helicoprion dilloni*) (Coleoptera: Scarabaeidae). **Journal of Zoology**, [s. l.], v. 181, n. 2, p. 243-263, 1977. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1977.tb03239.x.

KORASAKI, V. **Respostas espaciais e temporais da comunidade de escarabeíneos e formigas ao gradiente de uso da terra, no Noroeste da Amazônia**. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia-Entomologia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 214, 2010.

KORASAKI, V.; BRAGA, R. F.; ZANETTI, R. Conservation value of alternative land use systems for dung beetles in Amazon: Valuing traditional farming practices. *Biodiversity and Conservation*, v. 22, p. 1485–1499, 2013. DOI: 10.1007/s10531-013-0487-3.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A.; MOURA, L. Evolução da produção de café (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*, Rubiaceae). In: **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 18, p. 559-622. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346630093_Evolucao_da_Producao_de_Cafe_Coffea_arabica_e_Coffea_canephora_Rubiaceae.

LAURANCE, W. F. Do edge effects occurs over large spatial scales?. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 15, n. 4, p. 134-135, 2000. DOI: 10.1016/s0169-5347(00)01838-3.

LAURANCE, W. F. Forest-climate interactions in fragmented tropical landscapes. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 359, n. 1443, p. 345-352, 2004. DOI: 10.1098/rstb.2003.1430.

LEI - 11.428, de 22 de dezembro de 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 26 dez. 2006c. Seção 1, p. 1. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/572580/publicacao/34620975>.

LOUZADA, J. N. C. Considerations on the perching behaviour of tropical dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 41, n. 2-4, p. 125-128, 1998.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeidae (Coleoptera-Scarabaeidae) detritívoros em ecossistemas tropicais: diversidade e serviços ambientais. In: MOREIRA, F. M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. eds. **Biodiversidade dos solos em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras, UFLA, cap. 3, p. 299-322, 2008.

MACHADO, A. H. R.; PUIA, J. D.; MENEZES, K. C.; MACHADO, W. A Cultura do Café (Coffea arabica) em Sistema Agroflorestal / Coffee Culture (Coffea arabica) in the Agroforestry System. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1357–1369, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-053.

MACHADO, J. S. **SISBIOTA/SC: Biodiversidade de organismos edáficos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no estado de Santa Catarina**. Relatório de estágio (Graduação em Agronomia), Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

MAGIOLI, M.; RIBEIRO, M. C.; FERRAZ, K. M. P. M. B., RODRIGUES, M. G. Thresholds in the relationship between functional diversity and patch size for mammals in the Brazilian Atlantic Forest. **Animal Conservation**, v. 18, n. 6, p. 499–511, 2015. DOI: 10.1111/acv.12201.

MARTÍN, C. M.; GUANUCO, A. D. V.; CORTEZ, V.; VERDÚ, J. R. First observation on the predation of a non-arthropod species by a dung beetle species: The case of *Canthon chalybaeus* and the snail *Bulimulus apodemetes*. **Plos one**, v. 16, n. 10, e0258396, 2021. DOI: 10.1371/journal.pone.0258396.

MARTINS, A. L. **História do café**. São Paulo: Editora contexto, 2 ed, p.322, 2017.

MCGEACH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biology Review**, v.73, p.181-201, 1998. DOI: 10.1111/j.1469-185X.1997.tb00029.x.

MEDINA, C. A.; ESCOBAR, F.; KATTAN, G. Diversidade e uso de habitat de besouros rola-bosta em uma paisagem andina restaurada. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 181-187, 2002.

MENDIVIL NIETO, J. A.; GIRALDO ECHEVERRI, C.; QUEVEDO VEGA, C. J.; MEDINA, C. A.; CHARA, J. Escarabajos estercoleros asociados a sistemas de ganadería sostenible en diferentes regiones de Colombia. **Biota Colombiana**, v. 21, n. 2, p. 134–141, 2020. DOI: 10.21068/c2020.v21n02a09.

MILAN, E.; MORO, R.S. O conceito biogeográfico de ecótono. **Terra Plural**, v. 10, n. 1, p. 75-88, 2016. DOI: 10.5212/TerraPlural.v.10i1.0006.

MILHOMEM, M. S.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copro-necrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 11, v. 38, p.1249–1256, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003001100001.

MIRANDA, R. A. Breve história da agropecuária brasileira. In: KER, E. C. et al. **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 4, p. 29-58. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215012/1/Cap02-BreveHistoriaAgropecBR.pdf>.

MOCZEK, A. P.; EMLÉN, D. J. Male horn dimorphism in the scarab beetle, *Onthophagus taurus*: do alternative reproductive tactics favour alternative phenotypes?. **Animal Behaviour**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 459-466, 2000. DOI: 10.1006/anbe.1999.1342.

MONTEIRO JÚNIOR, C. S.; JUEN, L.; HAMADA, N. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. **Ecological Indicators**, v. 48, p. 303-311, 2015. DOI: 10.1590/1676-0611-BN-2020-1122.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, Hoboken, v. 10, p. 58-62, 1995. DOI: 10.1016/S0169-5347(00)88977-6.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. DOI: 10.1038/35002501.

NAGAY, J. H. C. **Café no Brasil: dois séculos de história**. UNICAMP, Instituto de Economia. Formação Econômica, Campinas, v. 3, p. 17-23, jun. 1999.

NAVARRO, R.; MARTELÓCIO, A. C.; SEVILHA, R.; BIDO, G.; MANNIGEL, A. Manejo do solo para o sistema de cultivo do café no Brasil. **Enciclopédia biosfera**, v. 18, n. 38, 2021. DOI: 10.18677/EnciBio_2021D31.

NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILA, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological conservation**, v. 141, n. 6, p. 1461-1474, 2008. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.

NORIEGA, J. A.; MARCH-SALAS, M.; PERTIERRA, L. R.; VULINEC, K. Spatial partitioning of perching on plants by tropical dung beetles depends on body size and leaf characteristics: a sit-and-wait strategy for food location. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 5, p. 1108-1120, 2020. DOI: 10.1111/een.12898.

ODUM, E.P. **Fundamentals of Ecology**. Philadelphia: W.B. Saunders, 3.ed. 1971.

OROZCO, M. O café na contemporaneidade: experiências no Cerrado Mineiro, realidades do Rio de Janeiro e possibilidades para São Paulo. In: **Geografia histórica do café** [recurso eletrônico]. OLIVEIRA, R. R.; RUIZ, A. E. L. (org.). Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, p. 275-293, 2018.

PAOLETTI, M. G. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture Ecosystem and Environment*, v. 74, p. 1-18, 1999. DOI: 10.1016/B978-0-444-50019-9.50004-2.

PARECIDO, R. J. Nutrição e produtividade da cultura do café arábica afetadas pela forma de aplicação de calcário e gesso na cultura já implantada. Tese (Doutorado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de

Mesquita Filho, Botucatu, 2020. Disponível em:
<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/123456>.

PARMAR, T. K.; RAWTANI, D.; AGRAWAL, Y. K. Bioindicators: The Natural Indicator of Environmental Pollution. **Frontiers in Life Science**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 110–18, 2016. DOI: 10.1080/21553769.2016.1162753.

PASSOS, F. O.; SOLER, L. S.; SILVA, J. Q. DA; AMARAL, S. **Efeito da resolução espacial sobre a série histórica de monitoramento de desmatamento da Mata Atlântica. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em:
<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/efeito-da-resolucao-espacial-sobre-a-serie-historica-de-monitoramento-de-desmata?lang=pt-br>.

PAULA, R. Z. A. **Notas sobre o processo de industrialização de Minas Gerais**. Leituras de Economia Política, Campinas, n. 8, p. 133-148, 2001. Disponível em:
<https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/LEP/L8/LEP809Zimbrao.pdf>.

PENTEADO, S. R. **Adubação orgânica: compostos orgânicos e biofertilizantes**. v. 1, Campinas, São Paulo. 2007.

PENTEADO, S. R. **Agricultura alternativa**. São Paulo, Brasil: Via Orgânica. 2016.

PINTO, W. J; NEGREIROS, A. B. Características Físicas e Químicas do Topo do Solo em Áreas de Plantações de Eucalyptus SPP. e Mata Atlântica no Campo das Vertentes – MG. **Espaço & Geografia**, ISSN: 1515-9375, v. 24, n. 2, p. 178-196, 2021.

POLETI, P. L., MARIANO, G. T., SSANTOS, M. T. DOS., CORRÊA, G. C., CARDOSO-LEITE, E. Composição florística de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual em Boituva, SP, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 1, e64127, 2023. DOI: 10.5902/1980509864127.

PRICE, D. L. Species diversity and seasonal abundance of scarabaeoid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae and Trogidae) attracted to cow dung in central New Jersey. **Entomologica Americana**, v. 112, n. 4, p. 334-347, 2009. DOI: 10.1664/0028-7199(2004)112[0334:SDASAO]2.0.CO;2

RAMÍREZ-RESTREPO, L.; MACGREGOR-FORS, I. Butterflies in the city: a review of urban diurnal Lepidoptera. **Urban Ecosystems**, v. 20, n. 1, p. 171-182, 2017.

REGUERA, P.; COUCEIRO, L.; FERNANDEZ, N. A review of the empirical literature on the use of limpets *Patella* spp. (Mollusca: Gastropoda) as bioindicators of environmental quality. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 593-600, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.004.

RESENDE, N.F. Mudanças do uso da terra no Cerrado sobre comunidade de besouros escarabeíneos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Revista Brasileira de Gestão e**

Engenharia, ISSN 2237-1664, v. 3, n. 1, 2012. Disponível em:
<https://periodicos.cesg.edu.br/index.php/gestaoeengenharia/article/view/73>.

REYNA-HURTADO, R.; TANNER, G. W. Habitat preference of ungulates in hunted and nonhunted areas in the Calakmul forest, Campeche, Mexico. **Biotropica**, Washington, v. 37, n. 4, p. 676-685, Dec. 2005. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2005.00086.x.

RIBAS, C. R.; CAMPOS, R. B.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche: a Journal of Entomology**, v. 2012, p. 1-23, 2012. 10.1155/2012/636749.

RIBEIRO, M. *et. al.* The Brazilian Atlantic Forest: How Much is Left, and How is the Remaining Forest Distributed? Implications for Conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.02.021.

ROCHA, M.V.C. **Diversidade de besouros rola-bosta (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) em duas unidades de conservação do Cerrado do Brasil central.** Dissertação (Mestrado em Zoologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26512/2016.07.D.21861>.

RODRIGUES, A. F.; LATAWIEC, A. E.; SALES, G. P. S.; SOLORIZANO, A.; LIMA, M. L. S. **Mudança nos serviços ecossistêmicos disponíveis após alterações no uso e cobertura da terra: o caso do Vale do Rio Paraíba do Sul.** In: BRASIL, L.; QUINTEIRO, M.; PENNA-FIRME, R. (orgs.). *Geografia Histórica do Café no Vale do Rio Paraíba do Sul*. 1. ed. São Paulo: Editora Contexto, Cap. 7, p. 151-167, 2018.

RODRÍGUEZ-VIVAS, R.I.; BASTO-ESTRELLA, G.; REYES-NOVELO, E.; ARCEO-MORAN, A.; ARCILA FUENTES, W.; OJEDA, M.; M., I. Evaluation of the attraction, lethal and sublethal effects of the faeces of ivermectin-treated cattle on the dung beetle *Digitonthophagus gazella* (Coleoptera: Scarabaeidae). **Austral Entomology**. v. 59, p. 368–374, 2020. DOI: 10.1111/aen.12450.

ROSENBERG, D.M.; DANKS, H.V.; LEHMKUHL, D.M.; Importance of insects in environmental impact assessment. **Environmental Management**, v. 10, n. 6, p.773-783, 1986.

RUIZ, A. E. L.; NETTO, A. L. C.; DANTAS, M. E.; OLIVEIRA, R. R. **Cenários do passado no Vale do Rio Paraíba do Sul e a entrada do Antropoceno no Sudeste brasileiro.** In: BRASIL, L.; QUINTEIRO, M.; PENNA-FIRME, R. (orgs.). *Geografia Histórica do Café no Vale do Rio Paraíba do Sul*. 1. ed. São Paulo: Editora Contexto, Cap. 3, p. 61-81, 2018.

SALA, O. E.; CHAPIN III, F. S.; ARMESTO, J. J.; BERLOW, E.; BLOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L. F.; JACKSON, R. B.; KINZIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D. M.; MOONEY, H. A.; OESTERHELD, M.; POFF, N. L.; SYKES, M. T.; WALKER, B. H.; WALKER, M.; WALL, D. H. Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000. DOI: 10.1126/science.287.5459.1770.

SALOMÃO, R. P.; LIRA, A. F. D. A.; COSTA, F. C. Records of perching by dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the Northeastern Atlantic Forest of Brazil. **The Coleopterists Bulletin**, v. 70, n. 4, p. 903-906, 2016. DOI: 10.1649/0010-065X-70.4.903.

SÁNCHEZ-DE-JESÚS, H. A.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; AMDRESEN, E.; ESCOBAR, F. Forest loss and matrix composition are the major drivers shaping dung beetle assemblages in a fragmented rainforest. **Landscape Ecology**, v. 31, p. 843-854, 2016. DOI: 10.1007/s10980-015-0293-2

SCHREEFEL, L.; SCHULTE, R. P. O.; BOER, I. J. M.; SCHRIJVER, A. P.; ZANTEN, H. H. E. Regenerative agriculture – the soil is the base. **Global Foos Security**, v. 26, 100404, 2020. DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100404.

SCHOLTZ, C. H.; DAVIS, A. L. V.; KRYGER, U.; **Evolutionary Biology and Conservation of Dung Beetles**. Sofia-Moscow, p.1-567, 2009.

SEMPER-PASCUAL, C. A. *et al.* How do habitat amount and habitat fragmentation drive time-delayed responses of biodiversity to land-use change?. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 288, p. 1-18, 2021. DOI: 10.1098/rspb.2020.2466.

SENAR. **Sistemas Agroflorestais (SAFs): conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Brasília, p. 1-140, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/informe-aocacaucultor/manejo/cartilhas-senar/199-sistemas-agroflorestais.pdf>.

SHAHABUDDIN, P. H.; MANUWOTO, S.; NOERDJITO, W. A.; TSCHARNTKE, T.; SCHULZE, C. H. Diversity and body size of dung beetles attracted to different dung types along a tropical land-use gradient in Sulawesi, Indonesia. **Journal of Tropical Ecology**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 53-65, 2010. DOI: 10.1017/S0266467409990423.

SILVA, D. C., PEREIRA, J. M., ORTIZ, D. C., OLIVEIRA FILHO, L. C. I., PINTO, L. V. A., BARETTA, D. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.3, p. 14795-14816, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-375.

SILVA, G. R.; PAULETTO, D.; SILVA, A. R. Dinâmica sazonal de nutrientes e atributos físicos do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 63, p. 1-9, 2020a.

SILVA, J.; JUCKSCH, I.; TAVARES, R. C. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, ISSN: 1980-9735, v.7, n. 2, p. 112-125, 2012.

SILVA, P. G.; GARCIA, M. A.; AUDINO, L. D.; NOGUEIRA, J. M.; MORAES, L. P.; RAMOS, A. H. B.; VIDAL, M. B.; BORBA, M. F.S. Besouros rola-bosta: insetos benéficos das pastagens. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 1428-1432, 2007.

SILVA, P.; SILVA, F. Besouros (Insecta: Coleoptera) utilizados como bioindicadores. **Revista Congrega Urcamp**. v. 5, p. 1-16, 2011.

SILVA, L. Estrutura da vegetação associada a ruínas de antigos engenhos de aguardente do município de Paraty, RJ. Monografia em biologia. Seropédica: UFRRJ, 2011. *In*: OLIVEIRA, R. R.; RUIZ, A. E. L. (Org.). Geografia histórica do café. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, 2018. p. 85-91.

SIMMONS, L. W.; RIDSDILL-SMITH, T. J. **Ecology and evolution of dung beetles**. John Wiley & Sons. SBN: 9781444333152, p.368, 2011. DOI: 10.1002/9781444342000.

SOBHANA, K.; SABU, T. K. Species list and pictorial key to the dung beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Scarabaeinae) in the Chinnar Wildlife Sanctuary in the south Western Ghats, India. **Entomon**, v. 48, n. 2, p. 195–208, 2023. DOI: 10.33307/entomon.v48i2.889

SOLÓRZANO, A.; SALES, G. P. S.; PIZZOLANTE, H. N. **Geografia, História e Ecologia: bases fundamentais para investigar a transformação da paisagem do Vale do Paraíba**. *In*: **Geografia Histórica do Café no Vale do Rio Paraíba do Sul**, Cap. 1, p. 19-36, 2018.

SOS - Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2014-2015**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; Instituto Nacional das Pesquisas Espaciais, Relatório técnico, p. 1-68, 2015. Disponível em: <https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>.

SOUZA, C. P.; GUEDES, T. A.; FONTANETTI, C. S. Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 12, p. 694, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5702-8.

SOUZA, M.R.DE. **Padrão de distribuição de besouros escarabeíneos (coleoptera:scarabaeidae:scarabaeinae) na Mata Atlântica e Caatinga**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas-Bacharelado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SOWIG, P. Duration and benefits of biparental brood care in the dung beetle *Onthophagus vacca* (Coleoptera: Scarabaeidae). **Ecological Entomology**, Sheffield, n. 21, p. 81-86, 1996. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1996.tb00269.x.

Stein, S. J. **Grandeza e Decadência do Café**. 1961. *In*: Geografia Histórica do Café no Vale do Rio Paraíba do Sul. Capítulo 5, p. 107-126, 2018.

STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, p. 38-47, 1992. DOI: 10.1017/S0889189300004446.

SUAREZ, A.; BOLGER, D. T.; CASE, T. J. Effects of fragmentation and invasion on native ant communities in coastal southern California. **Ecology**, v.79, n. 6, p. 2041-2056, 1998. DOI: 10.2307/176708.

TABARELLI, M.; AGUIAR, A. V.; RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; PERES, C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2328–2340, 2010. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.02.005.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, n. 1, p. 132-138, 2005.

TESSARI, C. A. Trabalhadores temporários para o café: mecanização e núcleos coloniais em São Paulo, 1895-1911. **Estudos Econômicos** (São Paulo), v. 44, n. 2, p. 409–434, 2014. DOI: 10.1590/S0101-41612014000200007

THOMAZINI, M. J.; THOMAZINI, A.P. B. W. **A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas**. EMBRAPA, Acre, Rio Branco, ISSN 0104-9046, n. 57, p. 1-21, 2000.

TOPIK, S., MARICHAL, C., FRANK, Z. (Eds.). **From Silver to Cocaine: Latin American Commodity Chains and the Building of the World Economy**. Duke University Press, p. 1500–2000, 2006. DOI: 10.2307/j.ctv125jnbx.

TOCCO, C.; BALMER, J. P.; VILLET, M. H. Trophic preference of southern African dung beetles (Scarabaeoidea: Scarabaeinae and Aphodiinae) and its influence on bioindicator surveys. **African Journal of Ecology**, v.56, n.4, p.938-948, 2018. DOI: 10.1111/aje.12523.

VALENTE-NETO, F.; ROQUE, F. O.; RODRIGUES, M. E.; JUEN, L.; SWAN, C. M. Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: testing congruence across taxonomic resolution and life stages. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 952-959, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.10.052.

VASCONCELLOS, A.; ANDREAZZE, R.; ALMEIDA, A. M.; ARAÚJO, H. F. P.; OLIVEIRA, E. S.; OLIVEIRA, U. Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 3, n. 54, p. 471-476, 2010. DOI: 10.1590/S0085-56262010000300019.

VAZ-DE-MELLO, F. Z. **Scarabaeidae s. str. (Coleoptera: Scarabaeoidea) de um Fragmento de Floresta Amazônica no Estado do Acre, Brasil**. Taxocenose. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, v. 28, n. 3, p. 447-453, 1999. DOI: 10.1590/S0301-80591999000300009.

VAZ-DE-MELLO, F. Z. Estado de Conhecimento dos Scarabaeidae s. str. (Coleoptera: Scarabaeoidea) do Brasil. 2000. In: MARTÍN-PIERA, F.; MORRONE, J. J.; MELIC, A. Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica. **Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa**, p. 181- 195, 2000.

VAZ-DE-MELLO, F. Z.; EDMONDS, W. D.; OCAMPO, F. C.; SCHOOLMEESTERS, P. A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae). **Zootaxa**, v. 2854, p. 1-73, 2011.

VAZ-DE-MELLO, F. Z.; LOUZADA, J. N. C. Considerações sobre forrageio arbóreo por Scarabaeidae (Coleoptera, Scarabaeoidea) e dados sobre sua ocorrência em floresta tropical do Brasil. **Acta Zoológica Mexicana**, n. 72, p. 55-61, 1997. DOI: 10.21829/azm.1997.72721737.

VILLANI, M. G.; WRIGHT, R. J. Environmental influences on soil macroarthropod behavior in agricultural systems. **Annual Review Entomology**, v. 35, p. 249-269, 1990. DOI: 10.1146/annurev.en.35.010190.001341.

WILSON, R. J.; FOX, R. Insect responses to global change offer signposts for biodiversity and conservation. **Ecological Entomology**, v. 46, n. 4, p. 699-717, 2021. DOI: 10.1111/EEN.12970.

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, ISSN 1676-9732, v.4, n.1, p. 60-71, 2005. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5405>.

YAMADA, D.; IMURA, O.; SHI, K.; SHIBUYA, T. Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. **Grassland Science**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 121-129, 2007. DOI: 10.1111/j.1744-697X.2007.00082.x.

YOUNG, O. P. Relationships between an introduced and two native dung beetle species (Coleoptera: Scarabaeidae) in Georgia. **Southeastern Naturalist**, v. 6, p. 491-504, 2007.

ZANINI, A. M.; SANTOS, A. R.; MALICK, C. M.; OLIVEIRA, J. A.; ROCHA, M. B. Estudos de percepção e educação ambiental: um enfoque fenomenológico. **Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências** (Belo Horizonte) [Internet], v. 23, e32604, 2021. DOI: 10.1590/1983-21172021230127er.

ZUNINO, M. Food Relocation Behaviour: a multivalente strategy for Coleoptera. **Advances in Coleopterology**, [s. l.], p. 297-314, 1991.

CAPÍTULO 3 – O PAPEL DOS BESOUROS ROLA-BOSTA COMO INDICADORES AMBIENTAIS NA PAISAGEM CAFEIEIRA DA MATA ATLÂNTICA, MINAS GERAIS, BRASIL

RESUMO

Besouros rola-bosta desempenham papel ecológico vital, influenciando o solo, a sua fertilidade, e fornecendo serviços ambientais. A destruição do habitat por atividade humana impacta a comunidade, mas mesmo com perturbações, esses invertebrados podem continuar a fornecer serviços ecossistêmicos. A expansão agrícola ameaça áreas com diferentes biomas, fragmentando a vegetação contínua. No contexto brasileiro, a cultura do café, especialmente durante o Ciclo do Café, deixou uma marca duradoura. O objetivo do estudo foi verificar se a estrutura da comunidade de besouros rola-bosta e as funções ecológicas associadas a estes organismos podem ser utilizados como bioindicadores em sistemas cafeeiros, na Mata Atlântica, no estado de Minas Gerais. Foram selecionadas seis porções da paisagem com distância mínima de 2 km. Em cada porção da paisagem foi selecionada áreas de café de maior produtividade, de café de menor produtividade e mata adjacente, em cada área foram amostrados besouros rola-bosta e funções ecológicas. Arenas com fezes bovinas foram usadas para medir as taxas de remoção de fezes e revolvimento de solo, enquanto armadilhas iscadas com fezes humanas foram usadas para avaliar a estrutura da comunidade de besouros rola-bosta. Foram coletados o total de 1249 indivíduos, distribuídos 46 espécies, 13 gêneros. Houveram diferenças significativas na abundância e riqueza entre os sistemas estudados. Os sistemas examinados apresentaram variações notáveis em abundância e riqueza. Não houve disparidades na riqueza e abundância de besouros rola-bosta entre as áreas de produção de café com maior e menor produtividade. No entanto, ao avaliar a riqueza e abundância da comunidade de besouros, foram observadas diferenças significativas entre as áreas cafeeiras e a floresta circundante. A composição da comunidade exibiu distinções entre os sistemas. Ambos os sistemas cafeeiros não apresentaram diferenças na composição da comunidade. No entanto, ambas as áreas cafeeiras apresentaram diferenças em comparação com a área florestal. Estas descobertas enfatizam a importância da cobertura vegetal na formação das comunidades de besouros, sublinhando como os diferentes biomas e práticas de uso da terra podem ter um impacto significativo nestas comunidades.

Palavras-chaves: Insecta. Bioindicador. Produtividade. Hotspot. Conservação.

3.1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, classificada como o terceiro maior bioma e a segunda maior floresta tropical nas Américas, destaca-se como um dos ecossistemas mais biodiversos globalmente, abrangendo 17 estados brasileiros (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Sergipe, Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Goiás, Rio de Janeiro, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (Sanquetta *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2021). Infelizmente, sofreu degradações incessantes durante séculos, tornando-se um *hotspot* de extrema importância e vulnerabilidade (Myers *et al.*, 2000). A fragmentação desse bioma para diversos fins, como a implementação de sistemas cafeeiros, tem causado alterações significativas na biodiversidade (Myers *et al.*, 2000; Jayaprakash; Thomas, 2022).

O café desempenha um papel importante nas exportações agrícolas de vários países latino-americanos, sendo um pilar econômico em nações tropicais da América Latina (Perfecto *et al.*, 1996; Pineda *et al.*, 2005; Quintero; Rosales, 2014; Rahn *et al.*, 2018; Enríquez *et al.*, 2020). No Brasil, o modelo mais comum na produção de café é a monocultura que consiste no plantio das plantas a pleno sol. Esse método é responsável pela maior parte da produção nacional de café, devido à alta produtividade das plantas, adaptadas geneticamente à exposição direta ao sol (Machado *et al.*, 2020; Minasi *et al.*, 2023). O gênero *Coffea*, pertencente à família *Rubiaceae*, inclui mais de 6.000 espécies, sendo *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner as principais cultivadas comercialmente (Guyeux *et al.*, 2019; Enríquez *et al.*, 2020).

Apesar da predominância da abordagem convencional na produção de sistemas cafeeiros, existem outros sistemas adotados no país, embora representem uma parcela menor da produção total de grãos (Gonçalves, 2019; Minasi *et al.*, 2023). Diversos sistemas de produção coexistem, incluindo cultivo sombreado, orgânico, agroecológico, sintrópico e consorciado, que envolve práticas integradas de agricultura, pecuária, extrativismo e preservação da mata nativa (Bliska *et al.*, 2009; Olivas *et al.*, 2016; Gregio, 2018; Minasi *et al.*, 2023). A diversidade de métodos de produção na cafeicultura reflete a busca por práticas mais sustentáveis, visando à preservação ambiental e à criação de sistemas mais resilientes, demonstrando uma crescente preocupação com a diversificação e a sustentabilidade ambiental (Perfecto *et al.*, 1996; López-Bravo *et al.*, 2012; Mariño *et al.*, 2016; de Carvalho *et al.*, 2021; Campera *et al.*, 2022).

Alterações climáticas resultantes das modificações no uso da terra têm um impacto significativo na produtividade dos sistemas de cultivo de café (Ovalle-Rivera *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2020). Para analisar os impactos das alterações ambientais em diversos usos da terra e na biodiversidade, os besouros rola-bosta, que pertencem à subfamília Scarabaeinae, são considerados indicadores biológicos valiosos entre os invertebrados (Davis *et al.*, 2001a; Halfpeter; Favila, 1993; Nichols *et al.*, 2007; Carrión-Paladines *et al.*, 2021). Devido à sua notável sensibilidade às condições do ambiente, são utilizados como indicadores de biodiversidade tanto em áreas não perturbadas quanto em locais sujeitos a perturbações para identificar ecossistemas altamente impactados (Vieira; Silva; Louzada, 2017; Chamorro; Marín-Armijos, 2018; Carrión-Paladines *et al.*, 2021)

Esses animais desempenham um papel importante nos ecossistemas florestais e agrícolas ao reciclarem material fecal, fertilizarem o solo, promoverem a reciclagem de nitrogênio, carbono orgânico e outros nutrientes, auxiliarem na dispersão de sementes, na supressão de parasitas e servirem como fonte de alimento para pássaros e mamíferos (Hanski; Cambefort, 1991; Nichols *et al.*, 2008; Jayaprakash; Thomas, 2022). Em vista do funcionamento eficiente dos ecossistemas naturais ou manejados serem dependentes do papel ecológico dos besouros rola-bosta, o uso dos serviços ecológicos oferecidos por esses animais é imprescindível para o desenvolvimento ambiental (Ehrlich *et al.*, 1980; Boer, 1981)

O declínio da diversidade de besouros pode acarretar um efeito cascata no equilíbrio do ambiente (Vulinec, 2002; Korasaki, 2013) e podem interferir direta ou indiretamente na modificação de variáveis responsáveis para o desenvolvimento do ecossistema (Braga, 2013). Considerando os besouros rola-bosta como bioindicadores e as funções ecológicas desempenhadas por eles, que beneficiam a qualidade do solo, o objetivo do trabalho foi verificar se a estrutura da comunidade dos besouros rola-bosta e as funções ecológicas associadas podem ser utilizadas como indicadoras da produtividade de sistemas de cafezais, implantadas no Bioma Mata Atlântica, no Estado de Minas Gerais.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Seleção de áreas de estudo e delineamento experimental

Este estudo é parte do projeto “Biodiversidade do solo para o aumento da produção agrícola e florestal sustentável”, e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – INCT, denominado BiosBrasil: Biodiversidade do Solo. O projeto tem como objetivo promover a consciência e compreensão da biodiversidade de solo, visando a conservação e manejo sustentável, fundamental para a sustentabilidade da produção agrícola em áreas tropicais.

A pesquisa foi realizada em fazendas, localizadas no município de Santo Antônio do Amparo (20° 57' 12.01" S, 44° 54' 46.82" O), mesorregião do Oeste do estado de Minas Gerais - Brasil (IBGE, 2023). O clima da região é classificado como CWA - Clima Subtropical Úmido (Alvares *et al.*, 2013), com altitude de 1013 metros (IBGE, 2023). A temperatura média na região é de 20°C, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1493 mm, caracterizada por um verão chuvoso e um inverno frio e seco, segundo a classificação de Köppen. O município apresenta uma variedade de formações ambientais, que inclui florestas, campos, áreas de cultivo, pastagens, plantações temporárias e permanentes, além de zonas urbanizadas (Apêndice c).

As porções da paisagem foram escolhidas com base em um levantamento realizado com produtores de café locais, estabelecendo pré-requisitos específicos para a seleção de cada parcela. As porções das paisagens selecionadas obrigatoriamente contem, o mesmo: i) tipo de solo, ii) declividade, iii) manejo do solo e com áreas de produção de café com diferente i) produtividade. Foram selecionadas seis porções da paisagem com distância mínima de 2 km. Em cada porção da paisagem foram selecionadas duas áreas de café, denominadas áreas de café de maior e menor produtividade e uma área de mata adjacente, que foi utilizada como sistema referência, totalizando seis porções da paisagem, com três áreas cada (Figura 1).

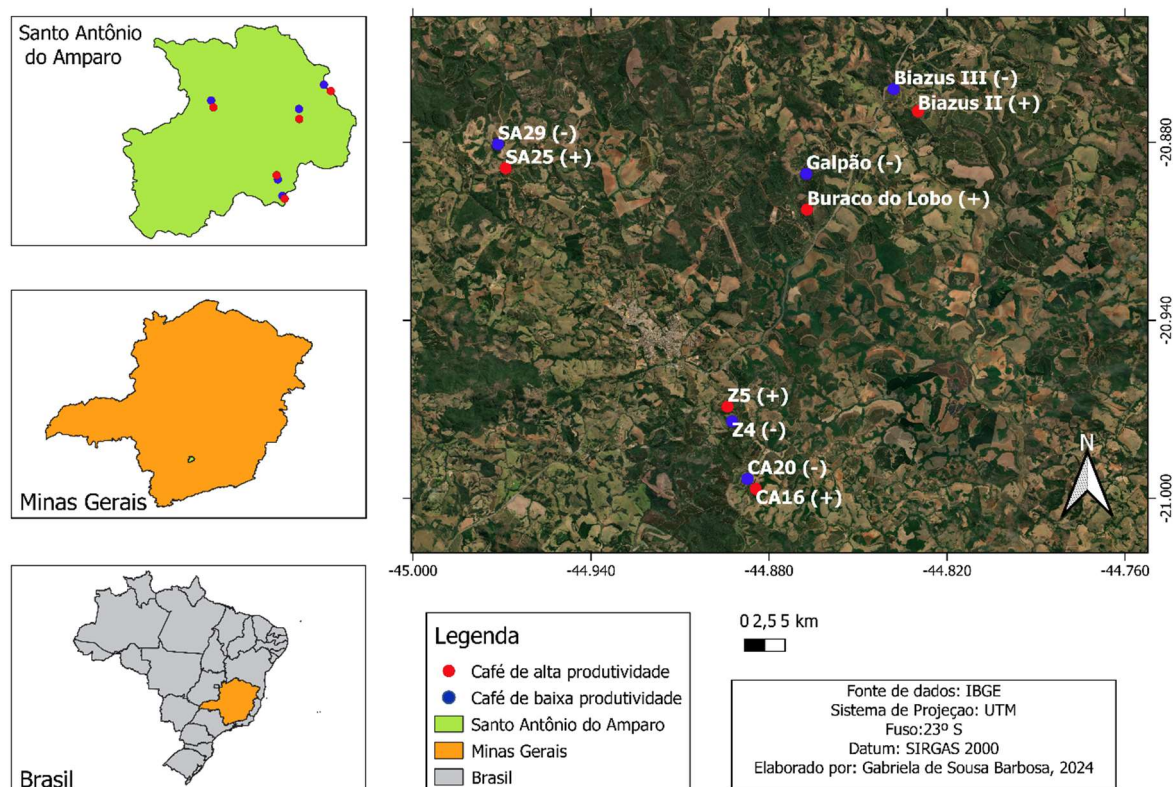


Figura 1 – Pontos amostrais de cafés de maior e menor produtividade no município de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

Legenda: Pontos vermelhos: café de alta produtividade; Pontos azuis: café de baixa produtividade; Retângulo verde: município de Santo Antonio do Amparo; Retângulo laranja: Estado de Minas Gerais; Retângulo cinza: País Brasi

Para capturar representativamente os talhões de café com maior e menor produtividade as pitfalls foram instaladas de forma sistemática. Porém, quando possível, as armadilhas foram dispostas em um transecto. Para assegurar a representatividade dos talhões, os pontos foram previamente demarcados em cada área (Apêndices a e b). As coletas foram realizadas no mês de janeiro de 2022, no período chuvoso da região.

Os talhões de café amostrados são dedicados ao cultivo de *Coffea arabica* (café arábica), abrangendo diversas variedades (Tabela 1). O histórico de produtividade desses talhões foi disponibilizado pelas Fazendas.

Tabela 1 – Produtividade das áreas de café, em Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil

Variedade	Fazenda	Lavoura	Área (ha)	Safra 21/22	Safra 20/21	Safra 19/20	Safra 18/19	Safra 17/18	Safra 16/17	Total Geral	Sac.a+
Catuai	NKG	Buraco lobo (+)	27,20	19,77	34,9	54,0	41,44	40,4	52,6	44,65	0,96
Catuai	NKG	Galpão (-)	1,58	23,28	19,4	58,3	28,1	38,9	83,4	45,61	
Acaia	NKG	Biazus II (+)	20,60	7,90	17,85	60,06	27,71	43,02	19,03	33,53	5,13
Acaia	NKG	Biazus III (-)	35,12	11,14	19,58	51,92	21,02	41,09	8,39	28,40	
Catuai62	Samambaia	CA16 (+)	9,61	18	89	0	89,8	8,6	73,7	65,27	9
Catuai62	Samambaia	CA 20 (-)	10,95	16	68	0	72,7	12,4	57,3	52,77	
Catuai2SL	Samambaia	SA 25 (+)	2,87	36	0	64,5	13,2	96,3	35,8	52,70	12,50
Catuai2SL	Samambaia	SA 29 (-)	20,04	20	0	76,1	3,6	63,6	13,5	39,2	
Acaia	Samambaia	Z5 (+)	16	-	-	94,5	30,48	49,8	11,46	44,45	0,2
Acaia	Samambaia	Z4 (-)	2,24	-	-	83,74	36,64	53,44	4	44,65	

Legenda: Sac.a+ = diferença total de sacas entre talhões.

3.2.2. Coleta de Funções Ecológicas

Para a avaliação das funções ecológicas executadas por besouros rola-bosta foram instaladas três arenas de funções em cada área, distantes em pelo menos 50 m uma da outra, além de uma estação para calibrar a perda e/ou ganho de umidades nas amostras. A arena de função ecológica foi composta por um território delimitado utilizando uma tela de nylon de 1,0 m de diâmetro e 0,20 m de altura (Braga *et al.*, 2013), fixadas no solo com auxílio de palitos de bambu. No centro da arena foi inserida uma porção de 500 g de esterco bovino (Figura 3A-B), e colocado uma cobertura, formada por uma tampa plástica afixada com palitos de bambu para evitar o impacto das chuvas na amostra. A estação para calibrar a perda e/ou ganho de umidade apresentou a mesma quantidade de esterco, no entanto foi envolta por uma tela de nylon para impedir o contato dos besouros (Figura 2A-B), e consequentemente a retirada de esterco. Essa amostra também recebeu uma cobertura, formada por tampa plástica afixada com palitos de bambu para evitar o impacto das chuvas na amostra (Figura 3A-B).



Figura 2 – Arenas de função para avaliação do grau de remoção de fezes e revolvimento de solo por besouros rola-bosta em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.



Figura 3 – Estação para calibrar a perda e/ou ganho de umidade em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

O experimento permaneceu ativo por um período de 24 h, após o esterco não revolvido das estações de avaliação de funções e do controle de umidade foram coletados e pesados. A quantidade removida de esterco foi realizada pela subtração do peso inicial, menos o final, considerando a perda e/ou ganho de umidade, com base na estação de avaliação da umidade.

Para contabilizar o peso do solo revolvido no interior da arena, todo o solo revolvido foi coletado e encaminhado para o Laboratório de Entomologia da Universidade do Estado de Minas Gerais. O solo foi seco em estufa de circulação forçada até obter peso constante e pesado em balança.

3.2.3. Coleta de Besouros

Após a coleta das funções ecológicas, procedeu-se à coleta dos besouros. Para a captura de besouros rola-bosta, foram dispostas cinco armadilhas do tipo pitfall em cada área, mantendo uma distância mínima de 50 metros entre elas. A armadilha consistiu em um recipiente plástico (19 cm de diâmetro; 11 cm de profundidade), com capacidade para 1 L, iscado com 25 g. de fezes humanas. A isca foi colocada em um copo de café suspenso por meio de uma alça de arame (Figura 4A-B). As armadilhas foram enterradas com a abertura nivelada ao solo, e os recipientes foram preenchidos com 250 ml de solução salina, contendo detergente, destinada à captura dos besouros. Tampas plásticas foram posicionadas acima das armadilhas e sustentadas por dois palitos de bambu para protegê-las contra chuvas.



Figura 4 – Armadilhas tipo pitfall para captura de besouros rola-bosta em áreas de (A) Cafeeiro e (B) Floresta, Santo Antônio do Amparo – MG, Brasil.

O experimento permaneceu ativo por um período de 48 horas, e após o conteúdo de cada armadilha foi acondicionado em sacos plásticos, devidamente etiquetados e datados com a procedência dos dados. O material coletado foi submerso em álcool 70% para preservação das características dos animais coletados e encaminhado para o Laboratório de Entomologia da Universidade do Estado de Minas Gerais. No laboratório, as amostras foram triadas e acondicionadas em mantas entomológicas. Os besouros foram morfotipados com o auxílio de microscópio estereoscópico. A identificação foi confirmada pelo taxonomista Fernando Vaz-de-Mello. Os espécimes *vouchers* estão depositados na coleção de Entomologia da Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal e na Coleção do Setor de Entomologia da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

3.2.4. *Variáveis físicas e químicas do solo*

Nos mesmos pontos de coleta da comunidade de besouros foi coletada uma amostra de solo nas camadas de 0 a 10 cm de profundidade. As amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram quantificadas

as frações de areia (2,0-0,02 mm), silte (0,02-0,002 mm) e argila (>0,002 mm) (Bouyoucos, 1962).

Para as análises químicas do solo foram coletadas cinco amostras compostas de solo em cada unidade amostral do pitfall em cada talhão amostrado no café com menor e maior produtividade (sacas/hectare). Cada amostra foi formada por cinco subamostras, sendo uma coletada dentro da projeção da copa do café e as outras quatro coletadas no pé do café, imediatamente ao lado da amostra central. Essas cinco sub amostras foram homogeneizadas, formando uma única amostra composta. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal de Lavras.

As amostras foram analisadas para verificar os teores de matéria orgânica, o pH, os macronutrientes: fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), enxofre (S), magnésio (Mg) e os micronutrientes: boro (B), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), acidez trocável (H + Al), e alumínio (Al). A capacidade de troca efetiva em pH 7,0 (T) e a matéria orgânica (MO) foi determinada por combustão úmida em dicromato de sódio e ácido sulfúrico (Walkley; Black, 1934). O pH do solo foi determinado por potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção 1:1 (Mclean *et al.*, 1958). O P, K, Cu, Zn e Mn foram determinados pelo método Mehlich-1 (Mehlich, 1953). O Ca, Mg e Al foram determinados por cloreto de potássio, o Al foi titulado com hidróxido de sódio com bromotimol e o Ca e o Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção. O enxofre (S) e a soma de bases trocáveis (SB) foram extraídos com solução de fosfato de cálcio, onde foram determinados o teor de sulfato por turbidimetria com cloreto de bário (Hoeft; Walsh; Keeney, 1973). A acidez potencial (H+Al) foi determinada pelo extrator SMP (Shoemaker; Mclean; Pratt, 1961).

3.2.5. *Análise de Dados*

3.2.5.1. Besouros rola-bosta como indicadores

As áreas foram consideradas como réplicas, para evitar o efeito de pseudo-repetição espacial. Para verificar a eficiência amostral, foram calculadas as curvas de rarefação com base no número de indivíduos capturados, por meio do programa EstimateS 7.5 (Colwell, 2005), utilizando 500 randomizações.

Para examinar se há efeito da produtividade dos cafezais de maior e menor produtividade, em comparação com o sistema de referência, na riqueza e abundância dos besouros, foram realizados teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparar as diferenças

entre as médias (pacote multcomp). Optou-se pela distribuição normal nos modelos, e em casos de overdispersão detectada, utilizou-se a distribuição de erro gamma. As diferenças entre as médias foram testadas por meio da análise de variância (Anova) do tipo II. Todas as análises foram conduzidas no programa R 4.3.1 (R Development Core Team, 2023).

Para avaliar graficamente a estrutura da comunidade entre as diferentes áreas de café, tanto de maior quanto de menor produtividade, e áreas de mata, utilizou-se a Análise de Coordenadas Principais (PCO). Essa análise baseou-se na matriz de similaridade, usando o índice de Bray-Curtis. Os dados foram padronizados e transformados em raiz quadrada. As discrepâncias na composição da comunidade entre os cafezais e a mata foram analisadas por meio da Análise Multivariada Permutacional de Variância (Permanova) (Anderson, 2001).

A relação entre a composição da comunidade e as variáveis físicas e químicas e a produtividade foi examinada por meio da Análise de Modelos Lineares Baseada na Distância (DistLM) (Legendre; Anderson, 1999). Realizou-se a análise de correlação entre as variáveis e a autocorrelação (70%). As variáveis que apresentaram autocorrelação acima de 0,70, foram excluídas do modelo. Utilizou-se o procedimento de seleção "*step-wise*" e o critério de seleção R^2 para esse método.

Para identificar espécies bioindicadoras nos diferentes sistemas de cafezais de maior e menor produtividade e na floresta, levando em consideração a identidade e a quantidade de indivíduos aplicou-se a análise de espécie indicadora (Indicator Species Analysis – IndVal), utilizando o programa PC-ORD 4.10 (McCune; Mefford, 1999). Espécies com resultados de IndVal significativos ($p < 0,05$) acima de 70% foram consideradas espécies indicadoras, enquanto aquelas com IndVal intermediário, variando de 45% a 70%, foram designadas como espécies detectoras. O valor $\leq 45\%$ foi utilizado como limite para demarcar o índice IndVal (Verdú; Numa; Hernández-Cuba, 2011).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Abundância e diversidade

Foram coletados o total de 1249 indivíduos, distribuídos 46 espécies e 13 gêneros. Coletamos nove espécies em áreas de café com alta produtividade, nove espécies em áreas de café com baixa produtividade e 39 espécies em áreas de floresta. Os gêneros mais abundantes foram *Scybalocanthos* (Martínez, 1948), com 596 indivíduos coletados, seguido de *Dichotomius* (Hope, 1838) com 303 indivíduos.

A espécie predominante na floresta foi *Scybalocanthos sp.1* (Martínez, 1948), contando com 400 indivíduos coletados. Nas áreas com café de alta produtividade, a espécie mais abundante foi *Dichotomius aff. Quadraticeps* (Felsche, 1901), registrando 35 indivíduos coletados. Em áreas de menor produtividade, a espécie mais abundante foi *Dichotomius opacus* (Blanchard, 1846), com a coleta de 96 indivíduos (Tabela 2).

Tabela 2 – Número de indivíduos de besouros escarabeíneos em áreas de café com maior produtividade, menor produtividade e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

Sistema/Espécie	Maior produtividade	Menor produtividade	Floresta
<i>Ateuchus pygidialis</i> Harold 1868	0	0	1
<i>Canthidium aterrimum</i> Harold, 1867	0	0	61
<i>Canthidium depressum</i> Boucomont, 1928	0	0	6
<i>Canthidium</i> sp.1	0	0	5
<i>Canthidium</i> sp.3	0	0	1
<i>Canthidium</i> sp.4	0	0	1
<i>Canthon conformis</i> Harold, 1868	7	7	0
<i>Canthon Glaphyrocanthos</i> sp.1	0	1	0
<i>Canthon Glaphyrocanthos</i> sp.2	0	0	8
<i>Canthon ibarragrassoi</i> Martínez, 1952	0	0	56
<i>Canthon oliverioi</i> Pereira & Martínez, 1956	0	0	1
<i>Canthon</i> sp.1	0	0	1
<i>Coprophanaeus bellicosus</i> Olivier, 1789	0	0	10
<i>Coprophanaeus cyanescens</i> d'Olsoufieff 1924	7	8	0
<i>Deltochilum brasiliense</i> Castelnau, 1840	0	0	14
<i>Deltochilum furcatum</i> Castelnau, 1840	0	0	70
<i>Deltochilum</i> gp. <i>morbillosum</i> sp.1	0	0	27
<i>Deltochilum</i> gp. <i>morbillosum</i> sp.2	0	0	1
<i>Deltochilum pseudoicarus</i> Balthasar 1939	1	0	0
<i>Deltochilum rubripenne</i> Gory, 1831	0	0	103
<i>Dichotomius</i> aff. <i>quadraticeps</i>	35	22	7
<i>Dichotomius affinis</i> Felsche, 1910	0	0	2
<i>Dichotomius ascanius</i> Harold 1869	0	0	6
<i>Dichotomius bicuspis</i> Germar 1824	4	7	1
<i>Dichotomius bos</i> Blanchard, in Blanchard & Brullé, 1845	1	0	0
<i>Dichotomius depressicollis</i> Harold 1867	0	0	4
<i>Dichotomius fissus</i> Harold 1867	0	0	5
<i>Dichotomius mormon</i> Ljungh 1799	0	0	30
<i>Dichotomius muticus</i> Luederwaldt, 1922	0	0	44
<i>Dichotomius opacus</i> Blanchard, 1846	18	96	4

<i>Dichotomius quadrinodosus</i> Felsche, 1901	0	0	14
<i>Dichotomius socius</i> Luederwaldti 1929	0	1	1
<i>Dichotomius</i> sp.1	0	0	1
<i>Eurysternus caribaeus</i> Herbst 1789	0	2	23
<i>Eurysternus cyanescens</i> Balthasar, 1939	0	0	20
<i>Eurysternus hirtellus</i> Dalman 1824	0	0	1
<i>Eurysternus parallelus</i> Castelnau 1840	2	2	20
<i>Ontherus azteca</i> Harold 1869	0	0	5
<i>Onthophagus hircus</i> Billberg 1815	1	0	0
<i>Paracanthos</i> sp.1	0	0	1
<i>Phanaeus splendidulus</i> Fabricius, 1781	0	0	43
<i>Scybalocanthos korasakiae</i> Silva 2011	0	0	196
<i>Scybalocanthos</i> sp.1	0	0	400
<i>Sylvicanthos foveiventris</i> Schmidt, 1920	0	0	2
<i>Uroxys</i> sp.3	0	0	14
Total de espécies	9	9	39
Total de indivíduos	85	155	1249

A curva de acumulação de espécies de besouros rola-bosta demonstra que o esforço amostral foi suficiente para coletar a comunidade no café de maior e menor produtividade, com a curva chegando na assíntota, na floresta a curva tende a assíntota e apesar de mais coletas poder representar mais espécies (Figura 5.A), para o trabalho de besouros como bioindicadores, essa forte tendência a assíntota na floresta, indica que o esforço amostral foi suficiente para as conclusões da pesquisa. Quando utilizado o número de indivíduos representando o esforço amostral, a floresta se destaca pelo grande número de indivíduos coletados (Figura 5.B).

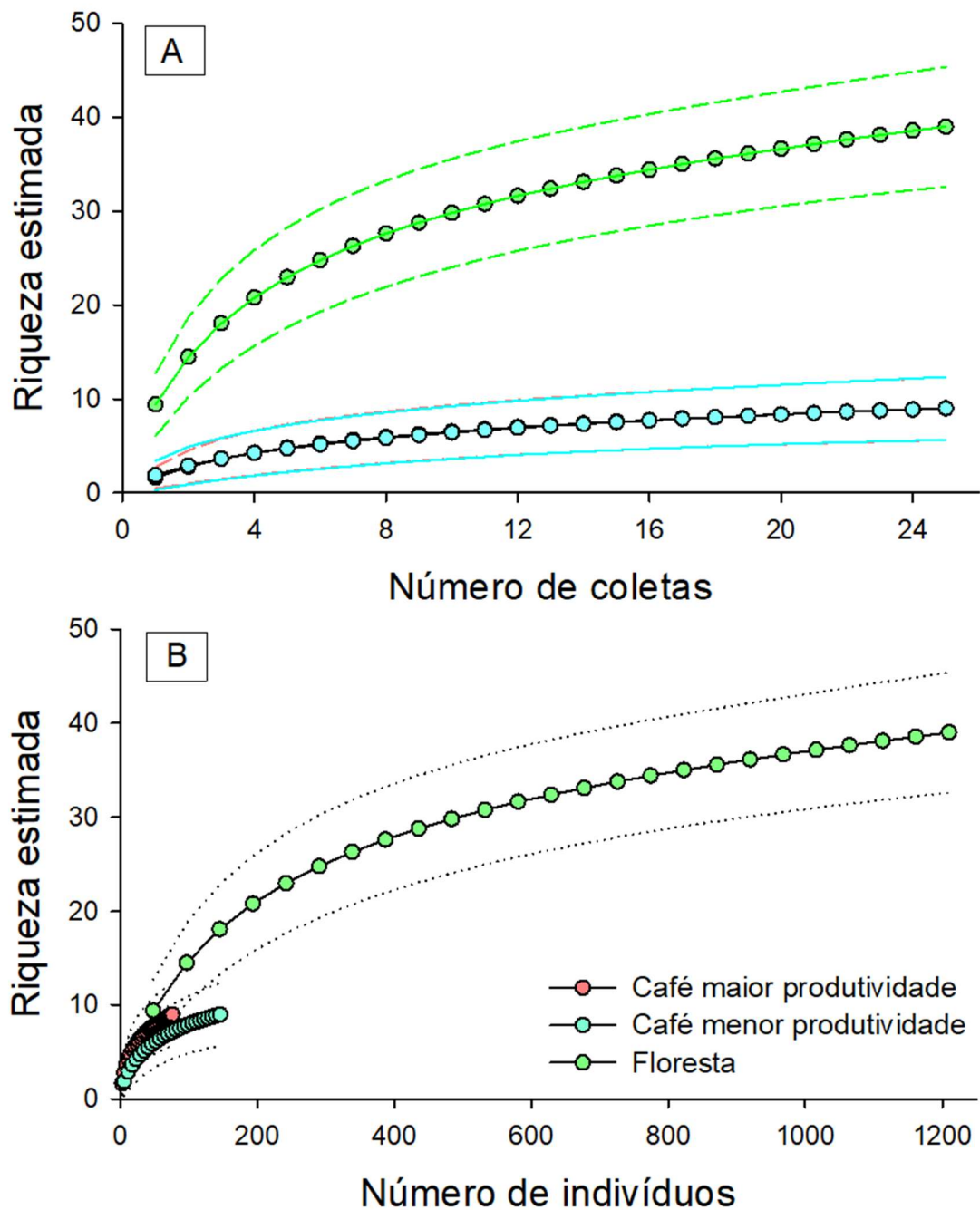


Figura 5 – **A** – Curva de rarefação baseada no número de coletas em relação a riqueza estimada;
B – número de indivíduos coletados em áreas de café com maior e menor produtividade e florestas, em Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil. Linha pontilhada representa intervalo de confiança de 95%.

Das espécies coletadas, quatro espécies (0,32%) foram comuns a todas as áreas (*Dichotomius* aff. *quadraticeps* (Felsche, 1901), *Dichotomius bicuspis* (Germar 1824), *Dichotomius opacus* (Blanchard, 1846) e *Eurysternus parallelus* (Castelnau 1840)), enquanto 34 espécies (2,72%) foram exclusivas da floresta. Cinco (0,24%) foram observadas apenas em áreas de café com maior produtividade (*Deltochilum pseudoicarus* (Balthasar 1939), *Dichotomius bos* (Blanchard, in Blanchard & Brullé, 1845), *Onthophagus hircus* (Billberg 1815), *Coprophanaeus cyanescens* (d'Olsoufieff 1924) e *Canthon conformis*)) e a área de café com menor produtividade também apresentou cinco espécies exclusivas (*Canthon* (*Glaphyrocantion*) sp.1, *Dichotomius socius* (Luederwaldt 1929), e *Eurysternus caribaeus* (Herbst 1789), *Coprophanaeus cyanescens* (d'Olsoufieff 1924) e *Canthon conformis* (Harold, 1868)). Sendo, (*C. cyanescens* e *C. conformis*) observadas entre os sistemas cafeeiros de menor e maior produtividade (Figura 6).

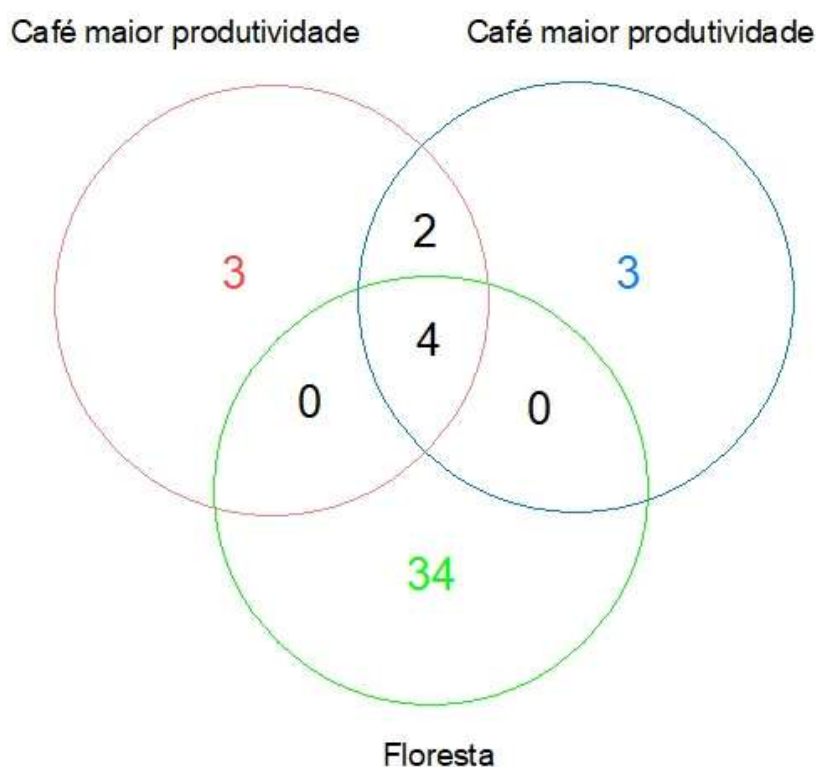


Figura 6 – Diagrama de Venn indicando o compartilhamento de espécies nos sistemas de uso da terra, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

A abundância ($\chi^2 = 47,15$; $p < 0,001$) e riqueza ($\chi^2 = 64,44$; $p < 0,001$) apresentaram diferenças estatísticas entre os sistemas coletados. No entanto, as áreas de produção de café de maior e menor produtividade não apresentaram diferença na riqueza e abundância de besouros escarabeíneos (Figura 7), se diferenciando apenas as áreas de floresta, que apresentaram a maior riqueza e abundância.

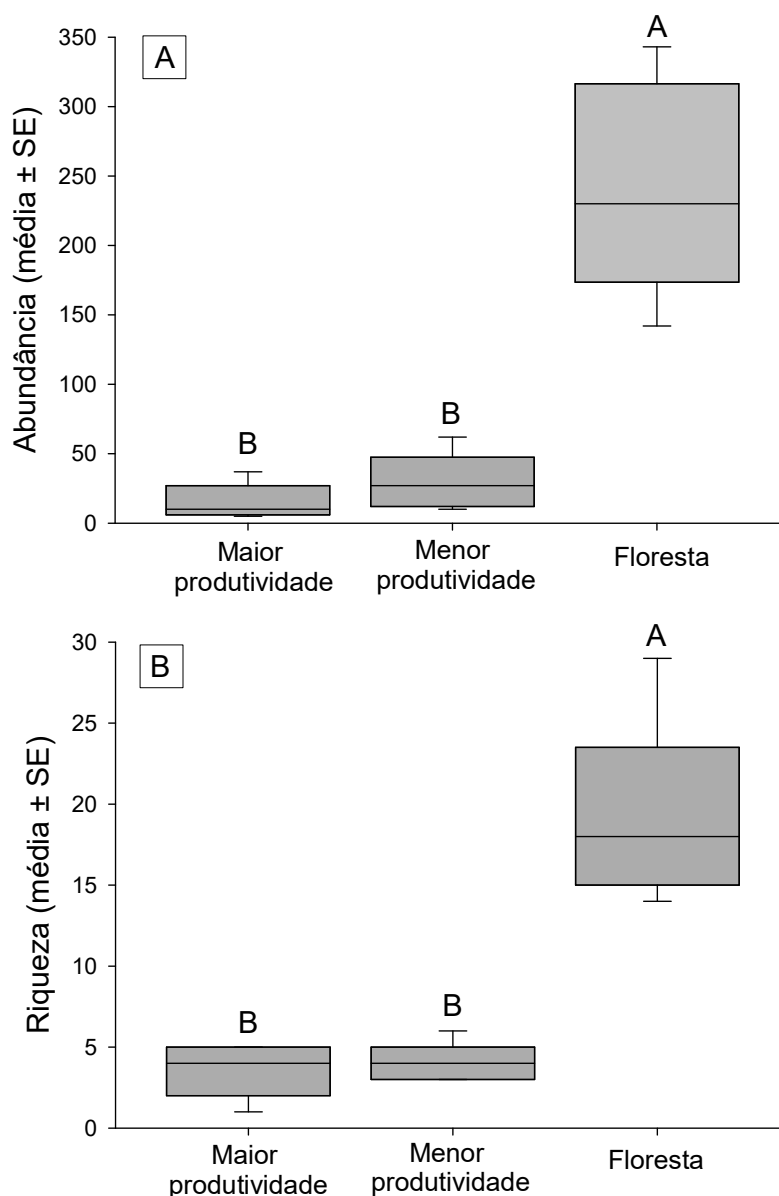


Figura 7 – Representação em box-plot de parâmetros da comunidade de besouros rola-bosta em sistemas cafeeiros de maior e menor produtividade e áreas de floresta adjacentes, na cidade de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil. A) Abundância; B) Riqueza. Letras diferentes em cima das barras representam diferença estatística ($p < 0,05$).

3.3.2. Composição da comunidade de besouros escarabeíneos

A composição da comunidade de besouros escarabeíneos entre as áreas de café de maior e menor produtividade e floresta apresentaram diferenças significativas (Permanova; Pseudo-F = 7,713; $p < 0,05$) (Figura 8). No entanto, no teste pareado da PERMANOVA os dois sistemas de café não apresentaram diferença na composição da comunidade, mas ambas áreas de café se diferenciaram da área de floresta (Tabela 3).

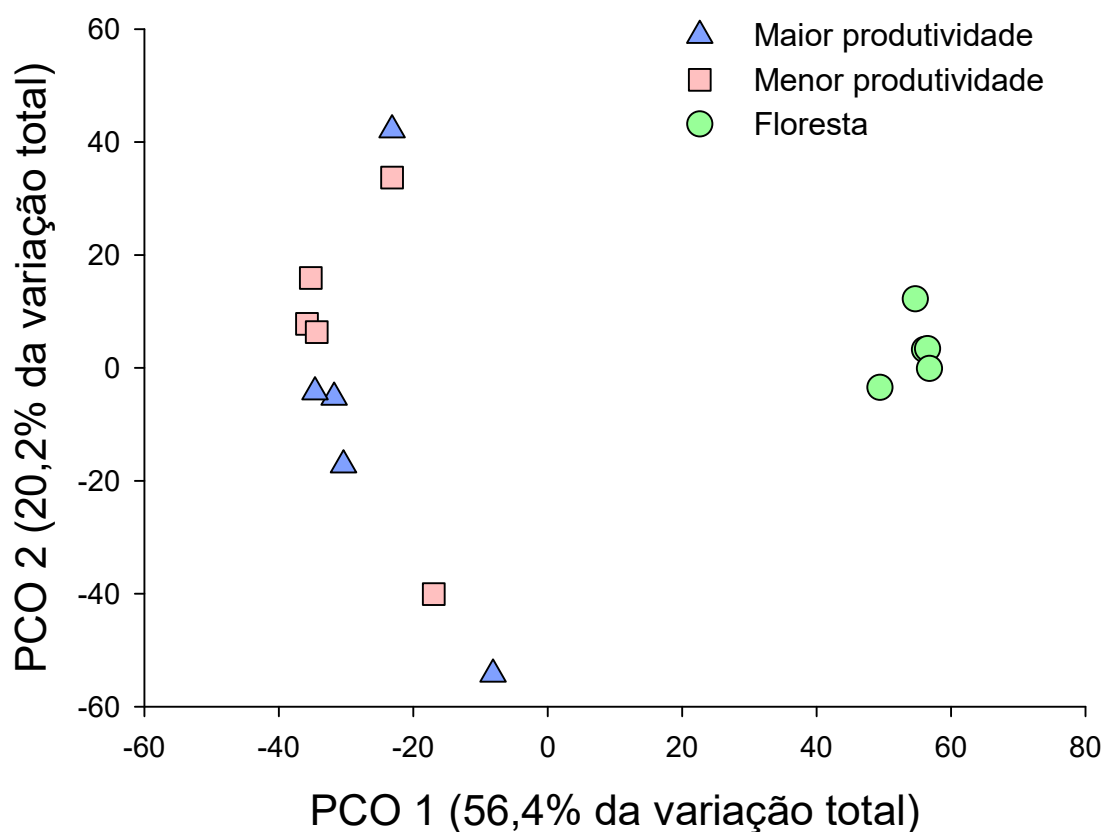


Figura 8 – Análise de Componentes Principais – PCO, da comunidade de besouros escarabeíneos, construída a partir da matriz de similaridade de Bray-Curtis em áreas de café e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

Tabela 3 – Teste pareado de Permanova entre as áreas de café de maior e menor produtividade e floresta, Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil

Grupos	t	P (perm)
Café maior produtividade X Café menor produtividade	0.64616	0.685
Café maior produtividade X Floresta	3.0988	0.006
Café menor produtividade X Floresta	3.7494	0.013

3.3.3. Espécies Indicadoras (IndVal)

O teste IndVal (resultado do índice para cada espécie) identificou três espécies indicadoras e cinco espécies detectoras das condições ambientais nas áreas estudadas (Tabela 4). A áreas de café de alta produtividade não apresentou nenhuma espécie. A área de café de menor produtividade apresentou apenas uma espécie detectora (*Dichotomius opacus* (65,1%)). As áreas de florestas apresentaram três espécies indicadoras (*Dichotomius rubripenne* (80%), *Scybalocanthion korasakiaev* (92%) e *Scybalocanthion* sp1 (96%)) e quatro espécies detectoras (*Canthon ibarragrassoi* (52%), *Deltochilum gp. morbillosum* sp1 (48%), *Dichotomius mormon* (48%), *Phanaeus splendidulus* (48%)) (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores obtidos para espécies indicadoras dos ambientes estudados. CMAP: café maior produtividade; CMEP: café menor produtividade; FRT: floresta; Obser (IV) = resultado do índice para cada espécie; S.Dev = desvio padrão. Valores significativos em negrito

Espécies	Sistema	Obser (IV)	Mean	S.Dev	p(*)	Classificação
<i>Canthidium aterrimum</i>	FRT	28	8,3	3,6	0,0008	-
<i>Canthon</i> <i>Glaphyrocanton sp2</i>	FRT	24	7,4	3,3	0,0024	-
<i>Canthon ibarragrossoi</i>	FRT	52	12,7	4,69	0,0002	Detector
<i>Deltochilum brasiliense</i>	FRT	24	7,5	3,42	0,0018	-
<i>Deltochilum furcatum</i>	FRT	40	9,9	3,7	0,0002	-
<i>Deltochilum gp.</i> <i>morbillosum sp1</i>	FRT	48	11,1	3,92	0,0002	Detector
<i>Deltochilum rubripenne</i>	FRT	80	15,6	4,54	0,0002	Indicador
<i>Dichotomius ascanius</i>	FRT	24	7,2	3,36	0,0034	-
<i>Dichotomius fissus</i>	FRT	16	5,9	2,89	0,0312	-
<i>Dichotomius mormon</i>	FRT	48	11,3	4,02	0,0002	Detector
<i>Dichotomius muticus</i>	FRT	44	10,5	3,92	0,0002	-
<i>Dichotomius opacus</i>	CMEP	65,1	23,8	5,24	0,0002	Detector
<i>Dichotomius</i> <i>quadrinodosus</i>	FRT	24	7,6	3,51	0,0018	-
<i>Eurysternus caribaeus</i>	FRT	18,4	8,8	3,91	0,0356	-
<i>Eurysternus cyanescens</i>	FRT	44	10,5	3,91	0,0002	-
<i>Ontherus azteca</i>	FRT	16	5,9	2,89	0,0312	-
<i>Phanaeus splendidulus</i>	FRT	48	11,1	3,92	0,0002	Detector
<i>Scybalocanthon</i> <i>korasakiae</i>	FRT	92	17,6	4,8	0,0002	Indicador
<i>Scybalocanthon sp1</i>	FRT	96	18,1	4,89	0,0002	Indicador

3.3.4. Efeito das variáveis ambientais na composição da comunidade de besouros rola-bosta

As variáveis magnésio (Mg), hidrogênio (H), alumínio (Al), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), t, m, acidez trocável (H+Al), T, boro (B), V, argila e areia, apresentaram correlação acima de 70% com outra variável, portanto foram excluídas do modelo. As variáveis que foram utilizadas foram pH, fósforo (P), alumínio (Al), soma de bases (SB), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), enxofre (S) e a textura do solo, representada pelo silte. O modelo que melhor explica a composição da comunidade de besouros rola-bosta envolve seis variáveis físicas e químicas do solo, que juntas explicam em torno de 89% da variação da comunidade nas áreas de café (Tabela 5). Essa relação é visualizada graficamente por meio da dbRDA (Figura 9).

Das variáveis ambientais que estão influenciando a composição da comunidade de besouros rola-bosta no solo, o fósforo remanescente (P-rem) influenciou significativamente a composição da comunidade, explicando 38% da variação total dos dados (Figura 9). No teste marginal, apenas o P-Rem mostrou relação significativa, sendo 38% da variação total com a nuvem multivariada dos dados derivados das espécies, ($p > 0,05$; $p = 0.011$). No teste sequencial, o P-rem também foi a única variável que mais aumentou o critério R², variável que explica cerca de 38% da variação na nuvem de dados (Tabela 5).

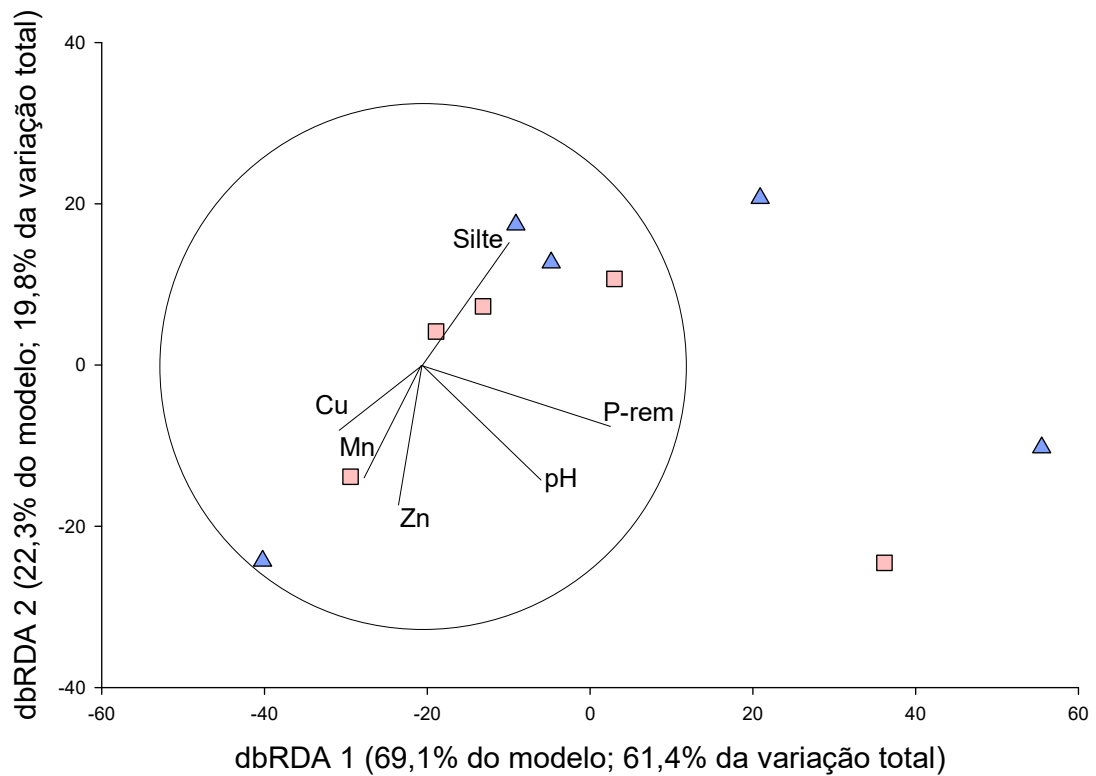


Figura 9 – Análise de redundância baseada em distância (dbRDA). Relação entre a ordenação das áreas amostradas em café de baixa e alta produtividade baseada na composição da comunidade de besouros escarabeíneos e variáveis ambientais, sendo: Silte, Cu (cobre), Mn (manganês), Zn (zinco), pH (potencial hidrogeniônico) e P-rem (fósforo remanescente). Triângulos azuis: café com maior produtividade; Quadrados rosa: café com menor produtividade.

Tabela 5 – Resultados da Modelagem linear baseada em distância (DistLM) entre a relação das variáveis ambientais e a composição da comunidade de besouros escarabeíneos em teste marginal (variação explicada por variável única) e em teste sequencial (variação explicada pela adição de novas variáveis por vez para obter o critério de ajuste ideal) usando o procedimento de seleção R² ajustado. * P<0.05.

Resultados do teste marginal DistLM							
Variável	SS (trace)	Pseudo-F	P	Proporção			
Produtividade	1802.1	1.2932	0.263	0.13916			
pH	3399.6	2.8477	0.058	0.26252			
P	2818.1	2.2251	0.118	0.21761			
Al	1154.9	0.7833	0.529	9.9181E-2			
SB	3002.4	2.4146	0.109	0.23185			
M.O	234.59	0.14759	0.957	1.8115E-5			
P-Rem	4976.5	4.993	0.011*	0.38428			
Zn	844	0.55774	0.647	6.5174E-2			
Fe	1029.9	0.6912	0.57	7.9529E-2			
Mn	1040.1	0.69865	0.518	8.0317E-2			
Cu	1386.3	0.9591	0.406	0.10705			
S	765.91	0.5029	0.703	5.9144E-2			
Silte	1490.2	1.0403	0.352	0.11508			
Resultado do teste sequencial DistLM							
Variável	Adj R²	SS (trace)	Pseudo-F	P	Proporçã o	Cumul. P	Res.df
+P-Rem	0.30732	4976.5	4.993	0.011*	0.38428	0.38428	8
+Silte	0.37269	1655.1	1.8337	0.174	0.12781	0.51209	7
+pH	0.49891	1992.3	2.7632	0.053	0.15385	0.66594	6
+Mn	0.55483	1123.3	1.7537	0.171	8.6744E- 2	0.75268	5
+Zn	0.60414	924.36	1.6228	0.213	7.138E-2	0.82406	4
+Cu	0.66505	832.57	1.7275	0.242	6.4291E- 2	0.88835	3

3.3.5. Efeito do sistema de uso da terra sobre funções ecológicas

Não houve diferença significativa na quantidade de solo revolvido ($\chi^2 = 2,74$; $p > 0,05$) entre os sistemas. Entretanto, em relação à remoção de fezes, observou-se diferença significativa na quantidade removida entre os sistemas ($\chi^2 = 36,48$; $p < 0,05$) (Figura 10), sendo superior na área de floresta. Apesar disto, a variação dos dados foi muito alta, a coleta foi realizada em um ano atípico, com evento extremo de chuva (Figura 11), fenômeno causado por La Niña, o que pode ter influenciado os resultados referentes as funções ecológicas.

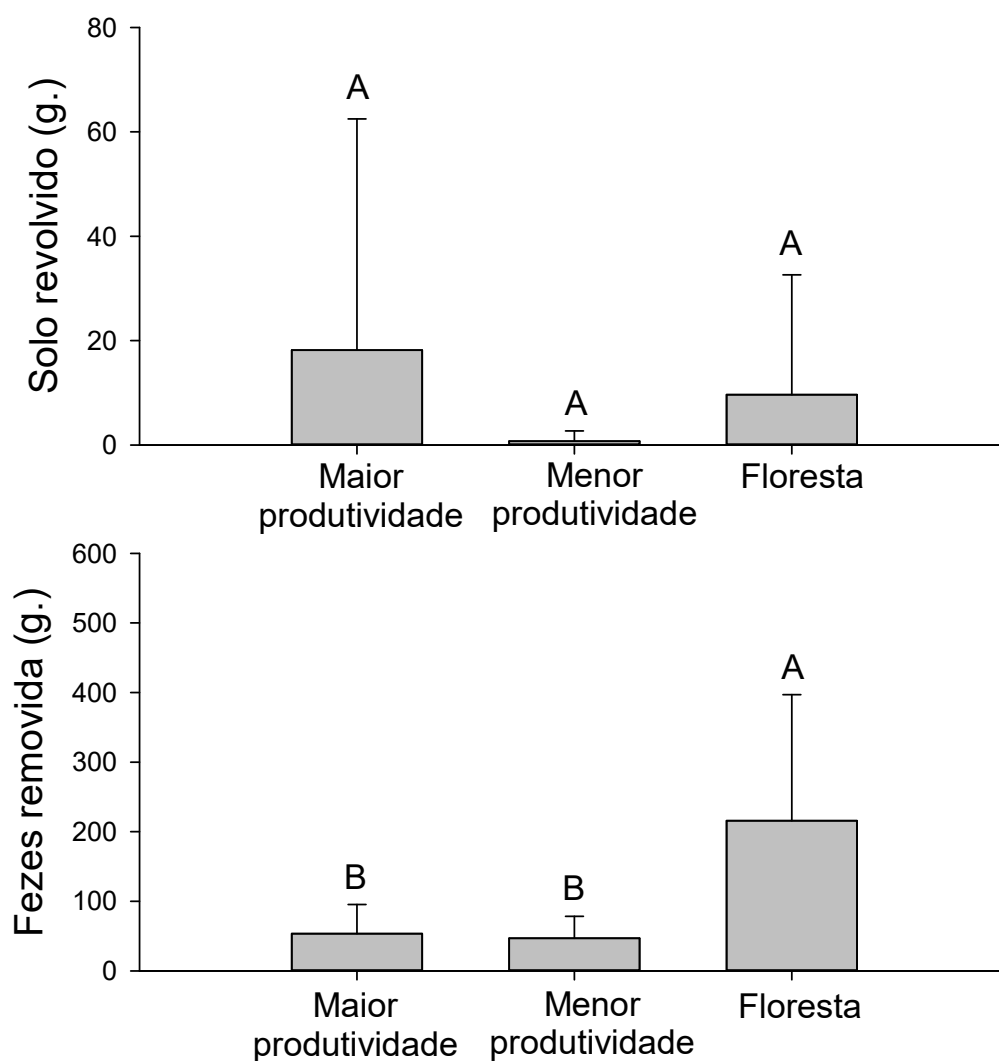


Figura 10 – Revolvimento de solo e remoção de fezes realizadas por besouros rola-bosta em cafeeiros de maior produtividade, menor produtividade e floresta, em Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil.

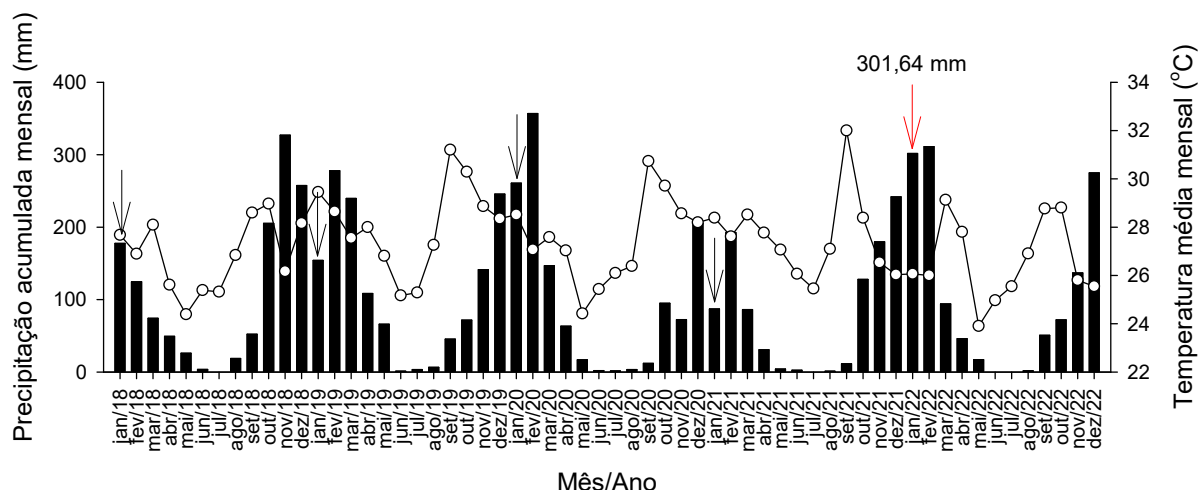


Figura 11 – Precipitação e temperatura mensal entre janeiro de 2018 a dezembro de 2022. Flechas pretas indicam o mês de janeiro dos anos de 2018-2021 e flecha vermelha o mês de fevereiro de 2022.

3.4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa não sustentaram nossa hipótese, uma vez que a comunidade dos besouros rola-bosta e suas funções ecológicas associadas não apresentaram diferenças significativas entre as áreas de maior e menor produtividade de café. A pesquisa destacou que as alterações nas paisagens estudadas tiveram um impacto significativo na riqueza e abundância dos besouros rola-bosta e no serviço ecológico de remoção de esterco nas áreas produtivas de café, independente da produtividade

3.4.1. Riqueza, abundância e diversidade

A curva de rarefação permite a comparação da riqueza de espécies entre amostras de diferentes tamanhos, atenuando a riqueza ao mesmo número de indivíduo (Hill 1973; Melo, 2008). É uma das ferramentas mais utilizadas para verificar se a amostragem foi adequada para caracterizar a biodiversidade local (Gotelli; Colwell, 2001; Góes *et al.*, 2019). A curva de acumulação de espécies de besouros rola-bosta ilustra a eficiência do esforço amostral na coleta da comunidade, mostrando ser uma ferramenta importante nos estudos sobre biodiversidade (Moreno; Halffter, 2001; Jiménez-Valverde; Hortal, 2003).

A presença de apenas nove espécies nas áreas produtivas de café, em comparação com 39 em áreas de floresta reflete a influência direta do impacto da mudança de uso da terra na estrutura da comunidade desses besouros. Nossos dados corroboram com outros trabalhos que

indicam que a diversidade de besouros é influenciada pelo uso e manejo da terra (Hanski; Cambefort, 1991; Milhomem *et al.*, 2003; Bernardes *et al.*, 2020) e sua presença está ligada à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais nos sistemas de produção agrícola (Araújo *et al.*, 2004; Price; Young, 2006; Bartelt, 2010; Hernández-Torres, 2018; Bernardes *et al.*, 2020). Esses fatores, por sua vez, podem estar associados à capacidade das áreas de proporcionar condições microclimáticas favoráveis, recursos adequados e facilitar a conectividade na paisagem, explicando a observação da maior diversidade em áreas florestais em comparação com sistemas cafeeiros (Sánchez-de-Jesús *et al.*, 2016; Semper-Pascual *et al.*, 2021; Estupiñan-Mojica *et al.*, 2022).

Pesquisas referente a especialização de besouros rola-bostas em ambientes específicos revelam que algumas espécies são restritas a determinados habitats, enquanto outras conseguem habitar uma ampla variedade de ambientes (Korasaki *et al.*, 2013; Büchi; Vuilleumier, 2014; Mykrä; Heino, 2017). Nas paisagens agrícolas, a heterogeneidade do ambiente é vista como um fator significativo que impulsiona a biodiversidade (Duflot *et al.*, 2014; Fahrig *et al.*, 2015; Gallé *et al.*, 2019). Ambientes estruturalmente mais complexos proporcionam uma ampla oferta de nichos ecológicos, refúgios contra predadores, locais para nidificação e recursos alimentares (Vieira; Mendel, 2002, Ferraz, 2011). Esses padrões indicam a capacidade das espécies de permanecerem em ambientes específicos e reforçam a influência da complexidade estrutural na diversidade das comunidades.

Ao examinar a exclusividade de espécies em diferentes áreas, destaca-se a presença de maior número de espécies encontradas na floresta, ressaltando a importância desse ambiente na preservação da biodiversidade dos besouros rola-bosta. A identificação de espécies exclusivas nos sistemas cafeeiros, especialmente *Canthon conformis* e *Coprophanaeus cyaneus*, com 14 e 15 indivíduos capturados, respectivamente, ressalta a capacidade desses organismos de habitarem ambientes modificados.

A conversão de habitats naturais em sistemas agrícolas resulta na diminuição na diversidade de escarabeíneos (Shahabuddin *et al.*, 2005). As diferenças significativas na abundância e riqueza entre os sistemas reforçam a sensibilidade desses besouros rola-bosta às variações ambientais (Louzada *et al.*, 2010). Esses resultados estão alinhados com estudos que destacam a influência do uso da terra na comunidade de invertebrados (Neumann *et al.*, 2016; Gallé *et al.*, 2019; Pisani *et al.*, 2020). No entanto, a ausência de diferenças na diversidade entre

as áreas de café de maior e menor produtividade aponta que a produtividade não é um fator que influencia a comunidade dos besouros rola-bosta.

3.4.2. Composição da comunidade e espécies indicadoras e detectoras

Diversos biomas e perturbações ambientais exercem impactos significativos nas comunidades de besouros rola-bosta (Slade *et al.*, 2007a; Barragán *et al.*, 2011). Esses organismos demonstram respostas rápidas à estrutura do habitat (Durães *et al.*, 2005; Almeida; Louzada, 2009; Costa *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2020). A influência sobre suas comunidades pode ser atribuída a fatores como variações nas condições da paisagem, abrangendo textura do solo, aumento da temperatura e redução da umidade (Halffter *et al.*, 1992; Almeida *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2020).

A não diferenciação da composição da comunidade entre os sistemas cafeeiros sugere que a produtividade foi muito sutil para evidenciar alterações na comunidade ou ainda que a produtividade não influencia a composição da comunidade. Conforme observado por Reis *et al.* (2023), até mesmo um aumento mínimo na complexidade da estrutura vegetal desencadeia uma mudança significativa nas comunidades de besouros rola-bosta. Além disso, é relevante salientar que a escassa cobertura vegetal em monoculturas pode ser um fator causador da falta desses organismos em diferentes usos da terra (Halffter; Matthews, 1966; Giménez Gómez *et al.*, 2018; Reis *et al.*, 2023), especialmente no bioma Mata Atlântica, em que a vegetação original é fechada. De acordo com Carvalho *et al.*, (2021), os besouros rola-bosta e suas funções reagem notavelmente a disparidades marcantes entre tipos de cobertura do solo, como floresta em comparação a diferentes usos da terra, e mostram uma menor sensibilidade a variações sutis dentro de um mesmo tipo de cobertura do solo (Carvalho *et al.*, 2021).

Pesquisas anteriores sugerem que habitats perturbados podem, de fato, interferir na abundância de besouros, muitas vezes ocasionando à predominância de algumas espécies (Culot *et al.*, 2013). Esses resultados estão em acordo com estudos similares que investigam a influência de práticas agrícolas na diversidade de besouros rola-bosta, destacando que, mesmo em paisagens modificadas, a vegetação remanescente desempenha um papel fundamental como refúgio para esses insetos (Slade *et al.*, 2007b; Nichols *et al.*, 2008).

A identificação de três espécies indicadoras e quatro espécies detectoras em ambientes florestais, em contraste com a presença de apenas uma espécie detectora em áreas de café de menor produtividade, e a ausência de espécies indicadoras em áreas de maior produtividade, possivelmente resultou de distintas respostas a mudanças bióticas e abióticas entre habitats

antropogênicos e naturais (Nichols *et al.*, 2013). Conforme Jayaprakash *et al.*, (2017) espécies detectoras, ao contrário das espécies altamente específicas restritas a um único estado ecológico, exibem uma variedade de estados ecológicos, indicando mudanças na direção do ambiente (MCGeoch *et al.*, 2002; Louzada *et al.*, 2013). Além disso, as espécies detectoras têm menor probabilidade de se tornarem vulneráveis, pois podem encontrar recursos adequados em vários habitats ou estados ecológicos, ao contrário das espécies indicadoras que dependem de condições específicas (MCGeoch *et al.*, 2002). Portanto, a utilização de espécies detectoras se mostra valiosa para o monitoramento de mudanças de longo prazo nos sistemas de plantações de café, bem como em outras áreas de cultivo (Jayaprakash *et al.*, 2017).

Conforme Webb *et al.* (2010), em paisagens consolidadas, os filtros ambientais exerceram uma influência significativa, destacando a habilidade aparente de determinadas espécies de besouros em reconhecer distintos ambientes como seus habitats. A sobrevivência de uma espécie em ambientes alterados pelo homem assume importância considerável, uma vez que, nos dias atuais, a maioria dos ecossistemas enfrenta algum grau de perturbação (Gardner *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2017).

As modificações no ambiente, sejam elas originadas por ações antrópicas ou naturais, exercem um impacto direto na presença e/ou ausência de organismos. Estudos abordam a conexão entre a comunidade dos besouros rola-bosta, a disponibilidade de recursos e o clima como fatores que estimulam a diversidade (Frank *et al.*, 2018; Muhirwa *et al.*, 2018, Gebert *et al.*, 2019). No entanto, em cenários modificados, a diversidade dessas áreas pode não fornecer condições ambientais ideais para diversas espécies de besouros rola-bosta, impactando diretamente a diversidade e as funções ecológicas desempenhadas por esses insetos (Braga *et al.*, 2013; Farias; Hernández, 2017), sublinhando a sensibilidade desses organismos às mudanças nas paisagens.

3.4.3. Variáveis ambientais e funções ecológicas

Fatores ecológicos e biológicos influenciam a distribuição e resposta de besouros rola bosta em diferentes ambientes (Ortega-Martínez, 2020). As variações climáticas influenciam a sua distribuição, desenvolvimento e comportamento, afetando os padrões alimentares (Silveira Neto *et al.*, 1976; Guedes *et al.*, 2020). Nas florestas tropicais, a diversidade e atividade de besouros rola-bosta são maiores nos meses mais úmidos, evidenciando que a precipitação tem grande influência na atividade das espécies de Scarabaeinae (Hill, 1993; Andresen, 2002; Cassenote *et al.*, 2019).

A influência do fenômeno La Niña nas condições climáticas, interferindo no aumento da pluviosidade, pode resultar em mudanças na disponibilidade de recursos e, por conseguinte, na atividade dos besouros escarabeíneos (Feer, 2000; Braga *et al.*, 2015). De acordo com Gianizella e Prado (1998), a sazonalidade dessas espécies está sujeita a interação de fatores físico-químicos e biológicos, onde esses elementos determinam as condições ideais para o aumento populacional durante períodos específicos do ano. A variação na composição química do solo pode modular a disponibilidade de recursos alimentares, condições microclimáticas e a estrutura da vegetação, fatores que, por sua vez, influenciam as comunidades de besouros rola-bosta (Halffter *et al.*, 1992; Davis *et al.*, 2001b).

As análises das propriedades físicas e químicas do solo neste estudo indicaram que somente o fósforo remanescente teve um impacto significativo na comunidade de besouros nas áreas de café. De acordo com Pinto *et al.* (2020), o fósforo é um nutriente crucial para o crescimento das plantas, desempenhando várias funções essenciais, como a fotossíntese e a divisão celular. A disponibilidade desse nutriente no solo é influenciada por processos biológicos e bioquímicos que regulam sua dinâmica e distribuição (Rossi, 2013; Pinto *et al.*, 2020).

Em geral, os solos tropicais altamente intemperizados, como os do Brasil, tendem a ser deficientes em fósforo disponível. Os baixos níveis de fósforo remanescente podem indicar que o solo está esgotando esse nutriente, especialmente em áreas de textura argilosa, que têm maior capacidade de tamponamento. Por outro lado, a presença de altos níveis de fósforo disponível podem ser resultado da ausência de atividades humanas na área (Prakash *et al.*, 2018; Pinto *et al.*, 2020). O fósforo remanescente desempenha um papel crucial na modelagem da comunidade de besouros, influenciando a ciclagem de nutrientes e a dinâmica biológica do solo (Wardle *et al.*, 2004).

Embora as propriedades químicas do solo, como pH, Zn, Mn, Cu e silte, não tenham sido estatisticamente significativas no teste sequencial, elas ainda podem influenciar as comunidades de besouros em diferentes usos da terra. O pH do solo, por exemplo, afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos, assim como a atividade de enzimas responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Penn *et al.*, 2019). A presença dos micronutrientes no solo está principalmente relacionada à superfície inorgânica, aos óxidos, aos minerais primários, à solução do solo, à matéria orgânica e ao pH do solo (Shuman, 1991).

O comportamento dos micronutrientes nas diferentes frações do solo é fortemente influenciado pelas características ambientais, o que contribui para tornar sua dinâmica mais complexa. Os micronutrientes Zn, Mn e Cu são essenciais para várias funções metabólicas das plantas, como a fotossíntese e a síntese de proteínas, enquanto o silte, que representa a textura do solo, desempenha um papel importante na retenção de água e na disponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos do solo (Freitas *et al.*, 2011; Bettiol *et al.*, 2023)

Estudos anteriores destacaram a importância da manipulação da disponibilidade de nutrientes no solo para aumentar a diversidade de besouros em ambientes perturbados por atividades humanas e agrícolas (c, 2023). Essas intervenções não apenas impactam a variedade de besouros em uma determinada área, mas também têm implicações significativas para a estabilidade de longo prazo dessas populações e para os serviços ambientais que elas prestam ao ecossistema, como a decomposição de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Schmitz, 2007; Straub *et al.*, 2008; Woodcock; Heard, 2011; Sun; Xu; Jia, 2023).

A grande variação registrada na remoção de fezes entre os diferentes usos da terra evidencia a sensibilidade desses besouros às condições ambientais, já que estas influenciam de maneira direta a diversidade dos besouros rola-bosta (Nichols *et al.*, 2007; Braga *et al.*, 2013). A remoção foi baixa quando comparado com outros trabalhos. A grande variação na remoção de fezes entre os pontos de mesmo sistema de uso da terra pode ser atribuída a elevada pluviosidade registrada em janeiro, em comparação com outros anos. O acumulado de chuvas do mês de coleta (fevereiro de 2022) foi de 301,64 mm, o que prejudicou a realização das funções ecológicas realizadas pelos besouros. Conforme Oliveira *et al.* (2014) besouros escarabeíneos são organismos sensíveis às condições climáticas e veem seus padrões de atividade diretamente impactados por variações na pluviosidade.

A ausência de diferença significativa do revolvimento de solo entre os sistemas pode estar ligada à grande pluviosidade durante a coleta. Mesmo com o revolvimento baixo, os escarabeíneos desempenham papel fundamental na ciclagem de matéria orgânica e na estabilidade dos ecossistemas. Suas atividades, como descompactação e aporte de nutrientes, alteram as condições do solo (Griffiths *et al.*, 2015, 2016; Almeida *et al.*, 2021). Esses resultados ressaltam a importância da influência do solo e da vegetação nas comunidades de besouros (Louzada *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2020). Nesse contexto, a preservação e a restauração de áreas emergem como fatores importantes para conservação da biodiversidade de

besouros rola-bosta, interferindo na manutenção de serviços ecossistêmicos (Barragán *et al.*, 2011; Gómez-Cifuentes *et al.*, 2017) nos diferentes usos da terra

3.5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa apresenta resultados significativos na abundância, riqueza e composição da comunidade de besouros rola-bosta entre áreas com diferentes usos da terra em comparação a áreas florestais. Os dados indicam que a produtividade pode ter tido um impacto muito sutil na comunidade, ou mesmo que a produtividade não exerça influência na composição dessa comunidade. Embora não tenham ocorrido diferenças significativas em riqueza e abundância e comunidade entre os sistemas cafeeiros, a composição da comunidade ressalta a sensibilidade desses insetos a variados contextos ambientais. A identificação de espécies indicadoras e detectoras em cada área ressalta o potencial desses besouros como bioindicadores de condições específicas. A correlação com variáveis do solo, como pH, P, Al, SB, MO, Zn, Fe, Mn, Cu, S e silte, destaca o P-rem como uma variável significativa na influência na composição da comunidade. O impacto substancial do uso da terra na diversidade e funções ecossistêmicas dos besouros rola-bosta, em comparação com áreas florestais, enfatiza a importância da preservação ambiental para a manutenção da biodiversidade dos besouros rola-bosta. A compreensão dessas relações é importante para orientar estratégias de conservação e manejo, especialmente em contextos agrícolas, onde práticas podem afetar significativamente a composição e as funções dessas comunidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nessa pesquisa não corroboraram com nossa hipótese, pois a estrutura da comunidade e as funções ecológicas associadas não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas cafeeiros indicados como de maior e menor produtividade. Porém, o estudo revelou o impacto substancial do uso da terra na diversidade e nas funções ecossistêmicas dos besouros rola-bosta quando comparados com áreas florestais. Ambientes de mata apresentaram maior riqueza e abundância na comunidade de besouros, e na função ecossistêmica de remoção de esterco.

Mesmo que os besouros não indiquem influência na produtividade de café, os organismos que habitam o solo desempenham papéis importantes nas características e na qualidade do solo, influenciando profundamente o funcionamento dos ecossistemas. Além de regular a atividade microbiana, contribuem para a degradação do material vegetal e influenciam a estrutura do local. A grande quantidade de espécies e indivíduos nas áreas florestais sugere uma maior ciclagem e reposição de nutrientes, resultando em transformações funcionais e estruturais significativas.

O uso de besouros rola-bosta como detectores de condições ambientais neste estudo é importante, pois pode ser utilizado em estudos de impacto ambiental e/ou monitoramento ambiental. A expansão de matrizes agrícolas geridas de forma intensiva e não sustentável representa uma ameaça à capacidade de prestação de serviços ecossistêmicos realizada por besouros escarabeíneos.

Portanto, ao elaborar estratégias de conservação da biodiversidade, é necessário considerar a importância dos fragmentos florestais, visto que nestes estão grande parte das espécies, também deve-se considerar os impactos que serão causados, pois pode levar a mudanças na colonização de espécies e na regulação dos processos ecossistêmicos dentro dos fragmentos ambientais. Estas alterações têm o potencial de perturbar vários componentes que regulam os serviços ecossistêmicos, resultando em processos irreversíveis nas restantes áreas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A.; BEIROZ, W.; ANTONINI, Y. Papel dos besouros rola-bosta (Scarabaeinae) na restauração através da dispersão secundária. **Revista Científica MG Biota**, v. 13, n. 1, p. 52–55, 2021. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/MB/article/view/154>.
- ALMEIDA, S.; LOUZADA, J.; SPERBER, C.; BARLOW, J. Mudanças sutis no uso da terra e biodiversidade tropical: comunidades de escaravelhos em pastagens de Cerrado e pastagens exóticas. **Biotropica**, v. 43, p. 704-710, 2011. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2011.00751.x.
- ALMEIDA, S. S. P.; LOUZADA, J. N. C. Estrutura da comunidade de Scarabaeinae (Scarabaeidae: Coleoptera) em fitofisionomias do cerrado e sua importância para a conservação. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 1, p. 32-43, 2009. DOI: 10.1590/s1519-566x2009000100003.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x.
- ANDRESEN, E. Besouros rola-esterco em uma floresta tropical da Amazônia Central e seu papel ecológico como dispersores secundários de sementes. **Entomologia Ecológica**, v. 27, n. 3, p. 257-270, 2002.
- ARAÚJO, R. A.; BADJI, C. A.; CORRÊA, A. S.; LADEIRA, J. A.; GUEDES, R. N. C. Impacto causado por deltametrina em coleópteros de superfície do solo associados à cultura do milho em sistemas de plantio direto e convencional. **Neotropical Entomology**, v. 33, p. 379-385, 2004. DOI: 10.1590/S1519-566X2004000300017.
- BARTELT, R.; HOSSAIN, M. Chemical ecology of Carpophilus sap beetles (Coleoptera: Nitidulidae) and development of an environmentally friendly method of crop protection. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, p. 29-61, 2010. DOI: 10.1163/187498310X489981.
- BARRAGÁN, F. *et al.* Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, e17976, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0017976.
- BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. de (ed.). **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153147>.
- BOER, P. J. On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment. **Oecologia**, v. 50, p. 39-53, 1981. DOI: 10.1007/BF00378792.
- BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. **Agronomy Journal**, v. 54, n. 5, p. 464–465, 1962. DOI: 10.2134/agronj1962.00021962005400050028x.
- BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; ANDRESEN, E.; LOUZADA, J. Dung Beetle Community and Functions along a Habitat-Disturbance Gradient in the Amazon: A rapid assessment of

ecological functions associated with biodiversity. **PLoS ONE**, v. 8, n. 2, e57786, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0057786.

BRAGA, R. F.; KORASAKI, V.; ANDRESEN, E.; LOUZADA, J.; LOUZADA, R. B. Efficiency of baited traps used to monitor dung beetles in the Brazilian Atlantic Rainforest. **Natureza e Conservação**, v. 13, n. 2, p. 172-175, 2015.

BÜCHI, L.; VUILLEUMIER, S. Coexistence of specialist and generalist species is shaped by dispersal and environmental factors. **The American Naturalist**, v. 183, n. 5, p. 612-624, 2014. DOI: 10.1086/675756.

BERNARDES, A. C. C. et al. Abundance and diversity of beetles (Insecta: Coleoptera) in land use and management systems. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 44, e0190183, 2020. DOI: 10.36783/18069657rbcs20190183.

BLISKA, F. D. M.; MOURÃO, E. A. B.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; VEGRO, C. L. R.; PEREIRA, S. P.; GIOMO, G. S. Dinâmica fitotécnica e socioeconômica da cafeicultura brasileira. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 1, p. 15-18, 2009.

CAMPERA, M., BUDIADI, B., BUŠINA, T., FATHONI, B., DERMODY, J., NIJMAN, V., IMRON, M., NEKARIS, K. A. Abundance and richness of invertebrates in shade-grown versus sun-exposed coffee home gardens in Indonesia. **Agroforest Syst**, v. 96, p. 829–841, 2022. DOI: 10.1007/s10457-022-00744-9.

CARRIÓN, V., FRIES, A., MUÑOZ, A., CASTILLO, E., GARCÍA-RUIZ, R., MARÍN-ARMIJOS, D. Effects of Land-Use Change on the Community Structure of the Dung Beetle (Scarabaeinae) in an Altered Ecosystem in Southern Ecuador. **Insects**, v. 12, p. 306, 2021. DOI: 10.3390/insects12040306.

CARVALHO, R., ANDRESEN, E., ANJOS, D., FRANÇA, F., VASCONCELOS, H. Dung beetle functions in tropical planted pastures were barely explained by management variables and not at all by community metrics. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107598, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107598.

CASSENOTE, S., SILVA, P. G. DA, MARE, R. A. D., PALADINI, A. Seasonality of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in Atlantic Forest sites with different levels of disturbance in southern Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, v. 109, e2019035, 2019. DOI: 10.1590/1678-4766e2019035.

CHAMORRO, W., MARÍN-ARMIJOS, D., GRANDE, V., VAZ-DE-MELLO, F. Z. Listado de especies e clave de géneros e subgéneros de escaravinhos estercoleros (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) presentes e presuntos para o Equador. **Revista Colombiana Entomologia**, v. 44, p. 72–100, 2018. DOI: 10.25100/socolen.v44i1.6545.

COLWELL, R. K. **Estimates**: statistical estimation of species richness and shared species from samples, v. 7.5. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, USA, 2005. Disponível em: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.

COSTA, C. M. Q.; SILVA, F. A. B.; FARIAS, A. I.; MOURA, R. C. Diversidade de Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae) coletados com armadilha de interceptação de voo no Refúgio Ecológico Charles Darwin, Igarassu-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 1, p. 88-94, 2009. DOI: 10.1590/S0085-56262009000100021.

COSTA, C.; OLIVEIRA, V. H. F.; MACIEL, R.; BEIROZ, W.; KORASAKI, V.; LOUZADA, J. Variegated tropical landscapes conserve diverse dung beetle communities. **PeerJ**, v. 5, e3125, 2017. DOI: 10.7717/peerj.3125.

CULOT, L.; BOVY, E.; ZAGURY VAZ-DE-MELLO, F.; GUEVARA, R.; GALETTI, M. Selective defaunation affects dung beetle communities in continuous Atlantic rainforest. **Biological Conservation**, v. 163, p. 79-89, 2013. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.04.004.

DAVIS, A. J.; HOLLOWAY, J. D.; HUIJBREGTS, H.; KRIKKEN, J.; KIRK-SPRIGGS, A. H.; SUTTON, S. L. Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. **Journal of Applied Ecology**, v. 38, n. 3, p. 593-616, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x.

DAVIS, A. L. V.; SCHOLTZ, C. H.; PHILIPS, T. K. Historical and ecological factors determining the diversity and abundance of rollers (Scarabaeidae) in the African savanna. **Biotropica**, v. 33, n. 1, p. 93-107, 2001.

DE CARVALHO, A. F.; FERNANDES-FILHO, E. I.; DAHER, M.; DE CARVALHO GOMES, L.; CARDOSO, I. M.; ALVES FERNANDES, R. B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Microclimate and soil and water loss in shaded and unshaded agroforestry coffee systems. **Agroforestry Systems**, v. 95, p. 119-134, 2021.

DURÃES, R.; MARTINS, W. P.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) assemblages across a natural forest-cerrado ecotone in Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 5, p. 721-731, 2005. DOI: 10.1590/S1519-566X2005000500003.

DUFLOT, R.; GEORGES, R.; ERNOULT, A.; AVIRON, S.; BUREL, F. Landscape heterogeneity as an ecological filter of species traits. **Acta Oecologica**, v. 56, p. 19–26, 2014. DOI: 10.1016/j.actao.2014.01.004.

EHRlich, P. R.; MURPHY, D. D.; SINGER, M. C.; SHERWOOD, C. B.; WHITE, R. R.; BROWN, I. L. Extinction, reduction, stability and increase: the responses of checkerspot butterfly (*Euphydryas*) populations to the California drought. **Oecologia**, v. 46, n. 1, p. 101-105, 1980.

ENRÍQUEZ, J. P.; RETES-CÁLIX, R. F.; VÁSQUEZ-REYES, E. F. Importância, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. **Innovare: Revista De Ciencia Y Tecnología**, v. 9, n. 3, p. 149–155, 2020. DOI: 10.5377/innovare.v9i3.10649.

FARIAS, P. M. DE; HERNÁNDEZ, M. I. M. Dung Beetles Associated with Agroecosystems of Southern Brazil: Relationship with Soil Properties. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 41, p. 1-13, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcS20160248.

FAHRIG, L.; GIRARDI, J.; DURO, D.; PASHER, J.; SMITH, A.; JAVOREK, S.; TISCHENDORF, L. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 200, p. 219–234, 2015. DOI: 10.1016/j.agee.2014.11.018.

FEER, F. Effects of dung beetles (Scarabaeidae) on seeds dispersed by howler monkeys (*Alouatta seniculus*) in the French Guianan rainforest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 3, p. 369-380, 2000.

- FERRAZ, A. Border Effects on Arthropods in Tropical Forests, With Emphasis on Diptera Cyclorhapha. **Oecologia Australis**; v. 15, p. 189-198, 2011. DOI: 10.4257/oeco.2011.1502.01.
- FRANK, K.; KRELL, F. T.; SLADE, E. M.; RAINE, E. H.; CHIEW, L. Y.; SCHMITT, T.; BLÜTHGEN, N. Global dung webs: High trophic generalism of dung beetles along the latitudinal diversity gradient. **Ecology Letters**, v. 21, n. 8, p. 1229–1236, 2018. DOI: 10.1111/ele.13095.
- FREITAS, D. A. F.; CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. A.; SILVA, M. L. N.; BAZZO, J. C. Micronutrientes no solo sob diferentes fitofisionomias no Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa, ISSN 1981-7215, p.1-16, 2011.
- GALLÉ, R.; FELIZ, A. K.; BAILLOD, A. B.; TSCHARNTKE, T.; BATÁRY, P. Landscape configuration, organic management, and within-field position drive functional diversity of spiders and carabids. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, p. 63-72, 2019. DOI: 10.1111/1365-2664.13257.
- GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; CHAZDON, R.; EWES, R. M.; HARVEY, C. A.; PERES, C. A.; SODHI, N. S. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**, v. 12, p. 561-582, 2009. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01294.x.
- GEBERT, F.; STEFFAN-DEWENTER, I.; MORETTO, P.; PETERS, M. K. Climate rather than dung resources predict dung beetle abundance and diversity along elevational and land-use gradients on Mt. Kilimanjaro. **Journal of Biogeography**, v. 47, p. 371-381, 2020. DOI: 10.1111/jbi.13710.
- GIANIZELLA, S. L.; PRADO, A. P. Levantamento e sazonalidade de coleópteros (Histeridae) em criação de aves poedeiras. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, p. 551-557, 1998. DOI: 10.1590/S0301-80591998000400007.
- GIMÉNEZ GÓMEZ, V. C.; VERDÚ, J. R.; GUERRA ALONSO, C. B.; ZURITA, G. A. Relationship between land uses and diversity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in the southern Atlantic forest of Argentina: which are the key factors?. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, p. 3201-3213, 2018. DOI: 10.1007/s10531-018-1597-8.
- GÓMEZ-CIFUENTES, A.; MUNEVA, A.; GIMÉNEZ, V. C.; GATTI, M. G.; ZURITA, G. A. Influence of land use on the taxonomic and functional diversity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in the southern Atlantic forest of Argentina. **Journal of Insect Conservation**, v. 21, n. 1, p. 147-156, 2017. DOI: 10.1007/s10841-017-9964-4.
- GUEDES, R. S.; ZANELLA, F. C. V.; GROSSI, P. C. Sazonalidade na comunidade de coleópteros em duas fitofisionomias de Caatinga. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 995–1007, 2020. DOI: 10.5902/1980509833879.
- GREGIO, J. V. **Agricultura Sintrópica**: Produzindo alimentos na floresta, das raízes do aipim ao dossel das castanheiras. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, p. 1-139, 2018.
- GRIFFITHS, H. M.; BARDGETT, R. D.; LOUZADA, J.; BARLOW, J. The value of trophic interactions for ecosystem function: dung beetle communities influence seed burial and seedling recruitment in tropical forests. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 283, n. 1844, 2016. DOI: 10.1098/rspb.2016.1634.

- GRIFFITHS, H. M.; LOUZADA, J.; BARDGETT, R. D.; BEIROZ, W.; FRANÇA, F.; TREGIDGO, D.; BARLOW, J. Biodiversity and environmental context predict dung beetle-mediated seed dispersal in a tropical forest field experiment. **Ecology**, v. 96, n. 6, p. 1607-1619, 2015. DOI: 10.1890/14-1211.1.
- GUYEUX, C.; CHARR, J.; TRAN, H.; FURTADO, A.; HENRY, R.; CROUZILLAT, D.; GUYOT, R.; HAMON, P. Evaluation of chloroplast genome annotation tools and application to analysis of the evolution of coffee species. **PloS One**, v. 14, n. 6, e0216347, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0216347
- GÓES, Q. R.; BARBOSA, B. W.; BOLIGON, A. A.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Suficiência amostral para avaliação da fauna epiedáfica com o método Provid. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 444-450, 2019. DOI: 10.5902/1980509831106.
- GONÇALVES, M. D. B. **Produção e consumo de café: uma análise do custo de oportunidade de produção de cafés especiais e convencionais**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getulio Vargas (FGV/EESP), São Paulo, 2019.
- GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters**, v. 4, p. 379-391, 2001. DOI: 10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x.
- HALFFTER, G.; FAVILA, M. E.; HALFFTER, V. A. A comparative study of the structure of the scarab guild in Mexican tropical rainforest and derived ecosystems. **Folia Entomológica Mexicana**, v. 84, p. 131-156, 1992.
- HALFFTER, G.; FAVILA, M. E. The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. **Biology International**, v. 27, n. 1, p. 15-21, 1993.
- HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). **Folia Entomológica Mexicana**, p. 12-14, 1966.
- HANSKI, I.; CAMBEFORT, Y. **Dung Beetle Ecology**. Princeton University Press, 1991.
- HOEFT, R. G.; WALSH, L. M.; KEENEY, D. R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, n. 3, p. 401-404, 1973. DOI: 10.2136/sssaj1973.03615995003700030027x.
- HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, n. 2, p. 427-432, 1973. DOI: 10.2307/1934352.
- HILL, C. J. The species composition and seasonality of an assemblage of tropical Australian dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). **Australian Entomologist**, v. 20, p. 121-126, 1993.
- HERNÁNDEZ-TORRES, H. *et al.* Escarabajos de la Savia de Coahuila, México y Atrayentes Efectivos Para su Recolecta. **Sudoeste Entomologia**, v. 43, p. 151-156, 2018. DOI: 10.3958/059.043.0107.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (s.d.). **Dados da cidade de Santo Antônio do Amparo-MG**. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santo-antonio-do-amparo/panorama>.

JAYAPRAKASH, S. B.; THOMAS, S. K. Species composition of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the coffee plantation of Nilgiri Biosphere Reserve of the Western Ghats, India. **Entomom**, v. 47, n. 1, p. 01-16, 2022. DOI: 10.33307/entomon.v47i1.680.

JAYAPRAKASH, S. B.; THOMAS, S. K. Bioindicator dung beetles of shaded coffee plantation in the Nilgiri Biosphere Reserve of the South Western Ghats. **Envis Centre on Faunal Diversity**, v. 23, n. 4, 2017. DOI: 10.33307/entomon.v47i1.680.

JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; HORTAL, J. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. **Revista Ibérica de Aracnología**, v. 8, p. 151-161, 2003.

KORASAKI, V.; BRAGA, R. F.; ZANETTI, R. Conservation value of alternative land use systems for dung beetles in the Amazon: Valuing traditional farming practices. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, p. 1485–1499, 2013. DOI: 10.1007/s10531-013-0487-3.

LEGENDRE, P.; ANDERSON, M. J. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. **Ecological monographs**, v. 69, n. 1, p. 1-24, 1999. DOI: 10.2307/2657192.

LOUZADA, J.; LIMA, A. P.; MATAVELLI, R.; ZAMBALDI, L.; BARLOW, J. Community structure of dung beetles in Amazonian savannas: role of fire disturbance, vegetation, and landscape structure. **Landscape Ecology**, v. 25, n. 4, p. 631-641, 2010. DOI: 10.1007/s10980-010-9448-3.

LÓPEZ-BRAVO, D. F.; VIRGINIO-FILHO, E. D. M.; AVELINO, J. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. **Crop Protection**, v. 38, p. 21-29, 2012. DOI: 10.1016/j.cropro.2012.03.011.

MCLEAN, E. O.; HEDDLESON, M. R.; BARTLETT, R. J.; HOLOWAYCHUK, N. Aluminum in Soils: I. Extraction Methods and Magnitudes in Clays and Ohio Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 22, n. 5, p. 382–387, 1958. DOI: 10.2136/sssaj1958.03615995002200050005x.

MACHADO, A. H. R.; PUIA, J. D.; MENEZES, K. C.; MACHADO, W. A. Cultura do Café (Coffea arabica) em Sistema Agroflorestal. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1357-1369, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-053.

MARIÑO, Y. A.; PÉREZ, M. E.; GALLARDO, F.; TRIFILIO, M.; CRUZ, M.; BAYMAN, P. Sun vs. shade affects infestation, total population, and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 222, p. 258–266, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2015.12.031.

MARTINS, F.; WEBER, C.; NEPPEL, G.; JUNQUEIRA, M.; OLIVEIRA, R.; CIDADE, F. Mata Atlântica: Da formação original à fragmentação e o atual estado de conservação em Santa Catarina. **Estrabão**, v. 2, n. 1, p. 188-191, 2021. DOI: 10.53455/re.v2i.45.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GARCÍA, A. C.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R.; GONZÁLEZ, A. P. Fósforo em cromossequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado goiano: análise de ácidos húmicos por RMN de ³¹P. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1126–1130, 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000800009.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA, 1999.

MCGEOCH, M. A.; VAN RENSBURG, B. J.; BOTES, A. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. **Journal of Applied Ecology**, v. 39, p. 661-672, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2002.00743.x.

MELO, A. S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade?. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21-27, 2008. DOI: 10.1590/S1676-06032008000300001.

MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na, NH₄. **Short Test Methods Used in Soil Testing Division**, v. 1, p. 1-53, 1953.

MILHOMEM, M. S. *et al.* Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1249-1256, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003001100001.

MINASI, S. M.; TAVARES, B. C.; OLIVEIRA, A. N.; PAGNUSSAT, E. Cafeicultura e turismo no sistema agroflorestal no Brasil. **Anais Brasileiros De Estudos Turísticos**, v. 13, n. 1, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10442494.

MORENO, C. E.; HALFFTER, G. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. **Journal of Applied Ecology**, v. 38, p. 487-490, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00590.x.

MUHIRWA, F.; MANIRAGABA, R. A.; MANIRAGABA, A.; KAPLIN, B. A. Dung beetle distribution, abundance, and diversity along an elevation gradient in Nyungwe National Park, Rwanda: A preliminary survey. **Journal of Entomology and Zoological Studies**, v. 6, p. 2367-2640, 2018.

MYKRÄ, H.; HEINO, J. Decreased habitat specialization in macroinvertebrate assemblages in anthropogenically disturbed streams. **Ecological Complexity**, v. 31, p. 181-188, 2017. DOI: 10.1016/j.ecocom.2017.07.002.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspot for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000. DOI: 10.1038/35002501.

NEUMANN, J. L.; GRIFFITHS, G. H.; HOODLESS, A.; HOLLOWAY, G. J. The compositional and configurational heterogeneity of matrix habitats shape woodland carabid communities in wooded-agricultural landscapes. **Ecologia da Paisagem**, v. 31, p. 301-315, 2016. DOI: 10.1007/s10980-015-0244-y.

NICHOLS, E.; LARSEN, T.; SPECTOR, S.; DAVIS, A. L.; ESCOBAR, F.; FAVILA, M.; VULETEC, K. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: A quantitative literature review and meta-analysis. **Biological Conservation**, v. 137, n. 1, p. 1-19, 2007. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.01.023.

NICHOLS, E.; SPECTOR, S.; LOUZADA, J.; LARSEN, T.; AMEZQUITA, S.; FAVILA, M. E. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. **Biological Conservation**, v. 141, p. 1461-1474, 2008. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.011.

NICHOLS, E.; URIARTE, M.; BUNKER, D. E.; FAVILA, M. E.; SLADE, E. M.; VULINEC, K.; SPECTOR, S. H. Trait-dependent response of dung beetle populations to

- tropical forest conversion at local and regional scales. **Ecology**, v. 94, n. 1, p. 180–189, 2013. DOI: 10.2307/23435680.
- OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; LUCIA, M. C. D. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, v. 61, p. 800-807, 2014. DOI: 10.1590/0034-737x201461000005.
- OLIVAS, D. B. L.; CHRISTO, B. F.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T.; RODRIGUES, W. N. Cultivo do cafeeiro em sistemas biodiversos. In: FERREIRA, A., Lopes, M. F. S. Ferreira, T. C. B. SOARES (Eds.). **Tópicos Especiais em Produção Vegetal VI**. Alegre: CAUFES, Cap. 14, p. 294-315, 2016.
- ORTEGA-MARTÍNEZ, I. J.; MORENO, C. E.; RIOS-DÍAZ, C. L.; ARELLANO, L.; ROSAS, F.; CASTELLANOS, I. **Assembly mechanisms of dung beetles in temperate forests and grazing pastures**. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 391, 2020. DOI: 10.1038/s41598-019-57278-x.
- OVALLE-RIVERA, O.; LÄDERACH, P.; BUNN, C.; OBERSTEINER, M.; SCHROH, G. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PloS One**, v. 10, n. 4, e0124155, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0124155.
- PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A Critical Review on Soil Chemical Processes that Control How Soil pH Affects Phosphorus Availability to Plants. **Agricultura**, v. 9, n. 120, 2019. DOI: 10.3390/agriculture9060120.
- PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R.; VANDERVOORT, M. E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **Bioscience**, v. 46, p. 598–608, 1996. DOI: 10.2307/1312989.
- PINEDA, E.; MORENO, C.; ESCOBAR, F.; HALFFTER, G. Frog, bat, and dung beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, Mexico. **Conservation Biology**, v. 19, p. 400-410, 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00531.x.
- PINTO, L. A. S. R.; BEUTLER, S. J.; ASSUNÇÃO, S. A.; ROSSI, C. Q.; GUARESCHI, R. F.; ZANDONÁ, S. R.; SANTOS, O. A. Q.; PEREIRA, M. G. Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo / Extraction and quantification of organic phosphorus fractions in soil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020. DOI: 10.34117/bjd6n6-102.
- PISANI GAREAU, T.; VOORTMAN, C.; BARBERCHECK, M. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) differentially respond to soil management practices in feed and forage systems in transition to organic management. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 35, n. 6, p. 608-625, 2020. DOI: 10.1017/S1742170519000255.
- PRAKASH, D.; BENBI, D. K.; SAROA, G. S. Land-use effects on phosphorus fractions in Indo-Gangetic alluvial soils. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 2, p. 437-448, 2018. DOI: 10.1007/s10457-016-0061-6.
- PRICE, M. B.; YOUNG, D. K. An annotated checklist of Wisconsin sap and short-winged flower beetles (Coleoptera: Nitidulidae, Kateretidae). **Insecta Mundi**, v. 20, p. 69-84, 2006.
- QUINTERO, L.; ROSALES, M. El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. **Visión Gerencial**, n. 2, p. 291-307, 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2015. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em 14 de outubro de 2020.

RAHN, E.; VAAST, P.; LÄDERACH, P.; VAN ASTEN, P.; JASSOGNE, L.; GHAZOUL, J. Exploring adaptation strategies of coffee production to climate change using a process-based model. **Ecological Modelling**, v. 371, p. 76-89, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2018.01.009.

REIS, C.; ZARUCKI, M.; DELABIE, J.; *et al.* Biodiversity impacts of land use simplification: a case study of dung beetles in a landscape of the Brazilian Atlantic forest. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 43, p. 2045-2056, 2023. DOI: 10.1007/s42690-023-01106-3.

SANQUETTA, C. R. **Experiências de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso pde parcelas permanentes**. p. 338p.: il. 2008. Disponível em: <https://www2.ib.unicamp.br/profs/cjoly/0%20-%20Produ%E7%E3o%20Tematico/4%20-%20Publica%E7%F5es/2008/Joly%20et%20al%202008%20pg%20109%20a%20148.pdf>.

SCHMITZ, O. J. Predator diversity and trophic interactions. **Ecology**, v. 88, n. 10, p. 2415-2426, 2007. DOI: 10.1890/06-0937.1.

SHAHABUDDIN; CHRISTIAN, H. S.; TSCHARNTKE, T. Changes of dung beetle communities from rainforest towards agroforestry systems and annual cultures in Sulawesi (Indonesia). **Biodiversity and Conservation**, v. 14, n. 4, p. 863-877, 2005. DOI: 10.1007/s10531-004-0654-7.

SHUMAN, L. M. **Chemical forms of micronutrients in soils**. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, v. 2, p. 113-144, 1991.

SHOEMAKER, H. E.; MCLEAN, E. O.; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, v. 25, n. 4, p. 274-277, 1961. DOI: 10.2136/SSSAJ1961.03615995002500040014X.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; NOVA, N. A. V. **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1976.

SILVA, J. L.; SILVA, R. J.; FERNANDES, I. M.; SOUSA, W. O.; VAZ-DE-MELLO, F. Z. Species composition and community structure of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) compared among savanna and forest formations in the southwestern Brazilian Cerrado. **Zoologia (Curitiba)**, v. 37, e58960, 2020. DOI: 10.3897/zoologia.37.e58960.

SLADE, E. M.; MANN, D. J.; VILLANUEVA, J. F.; LEWIS, O. T. Experimental evidence for the effects of dung beetle functional group richness and composition on ecosystem function in a tropical forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 76, n. 6, p. 1094-1104, 2007a. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2007.01296.x.

SLADE, E. M.; MANN, D. J.; VILLANUEVA, J. F.; LEWIS, O. T.; WATKINSON, A. R. Biotic and abiotic factors influencing invertebrate communities in microcosms filled with different quantities of deciduous leaf litter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 11, p. 2579-2588, 2007b.

SOARES, W. O.; FERREIRA, W. P. M.; RIBEIRO, S. M. N. F.; FONSECA, H. P. Influência das mudanças climáticas na produção cafeeira segundo a percepção das cafeicultoras. **Formação (Online)**, v. 27, n. 52, p. 77-100, 2020. DOI: 10.33081/formacao.v27i52.6728.

STRAUB, C. S.; FINKE, D. L.; SNYDER, W. E. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals?. **Biological Control**, v. 45, n. 2, p. 225-237, 2008. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2007.05.013.

VERDÚ, J. R.; NUMA, C.; HERNÁNDEZ-CUBA, O. The Influence of Landscape Structure on Ants and Dung Beetles Diversity in a Mediterranean Savanna—Forest Ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 831–839, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.10.011.

VIEIRA, L. M.; MENDEL, S. M. **Riqueza de artrópodes relacionada à complexidade estrutural da vegetação: uma comparação entre métodos**. Ecologia de campo: curso de campo. Campo Grande: UFMS, 2002. *In*: E. Venticque & M. Hopkins (eds.). Ecologia de Campo-Curso de Campo 2002. Campo Grande: <http://www.unb.br/ib/ecl/posecl/Relatorio%20de%20curso%20de%20campo/Relatorio%20Final%20do%20Curso%20de%20campo%20%202002.pdf>.

VIEIRA, L.; SILVA, F. A. B.; LOUZADA, J. Dung beetles in a Caatinga Natural Reserve: A threatened Brazilian dry-forest with high biological value. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 107, p. 107, 2017. DOI: 10.1590/1678-4766e2017045.

VULINEC, K. Dung beetle communities and seed dispersal in primary forest and disturbed land in Amazonia. **Biotropica**, v. 34, n. 2, p. 297-309, 2002. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2002.tb00541.x.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29–38, 1934. DOI: 10.1097/00010694-193401000-00003.

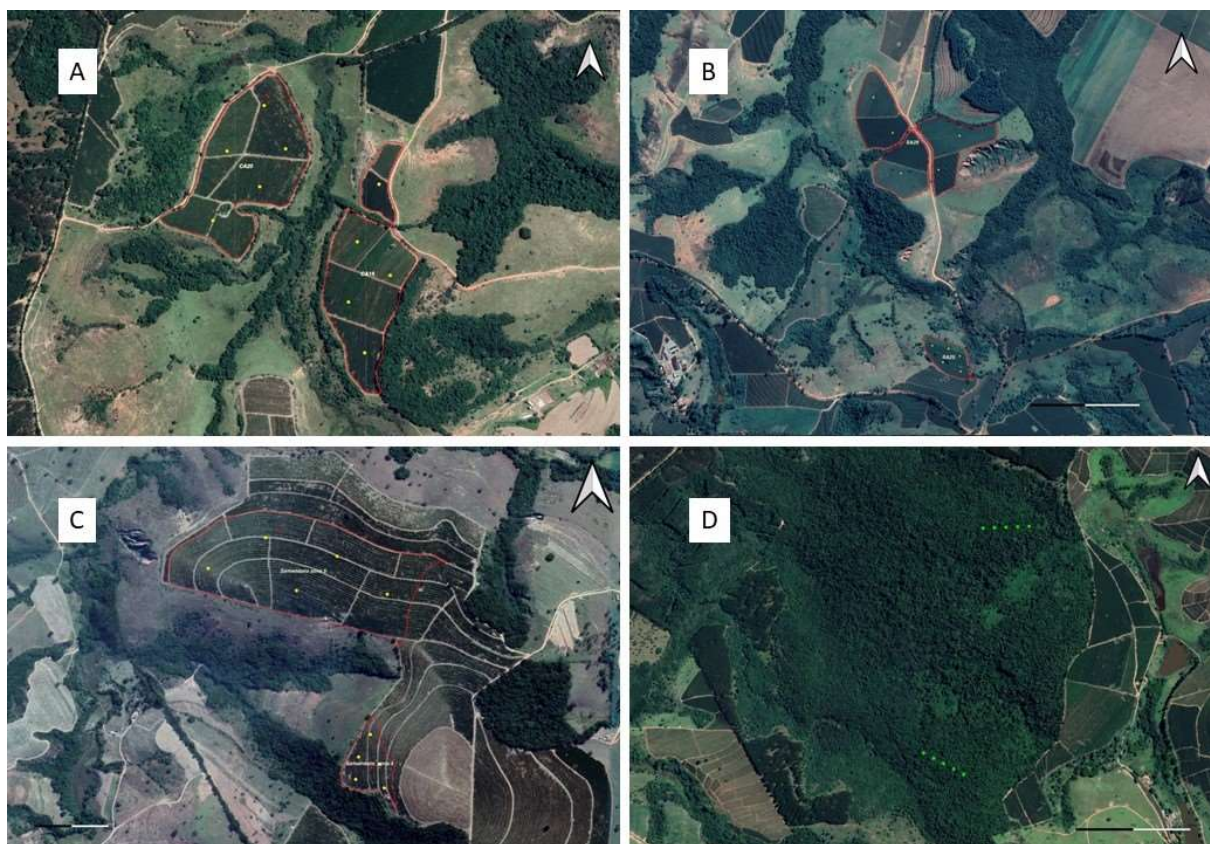
WARDLE, D. A.; WALKER, L. R.; BARDGETT, R. D. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. **Science**, v. 305, p. 509-513, 2004. DOI: 10.1126/science.1098778.

WEBB, C. T.; HOETING, J. A.; AMES, G. M.; PYNE, M. I.; POFF, N. L. A structured and dynamic framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. **Ecology Letters**, v. 13, p. 267-283, 2010. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2010.01444.x.

WOODCOCK, HEARD, B. A.; WOODCOCK, M. S.; HEARD. Disentangling the effects of predator hunting mode and habitat domain on the top-down control of insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 80, n. 2, pp. 495-503, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2010.01790.x.

SUN, X., XU, M.; JIA, L. Responses of diversity and morphometric traits of ground beetles to soil chemical properties in industrial city of China. **Ecological Indicators**, v. 154, p. 110575, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110575.

APÊNDICE



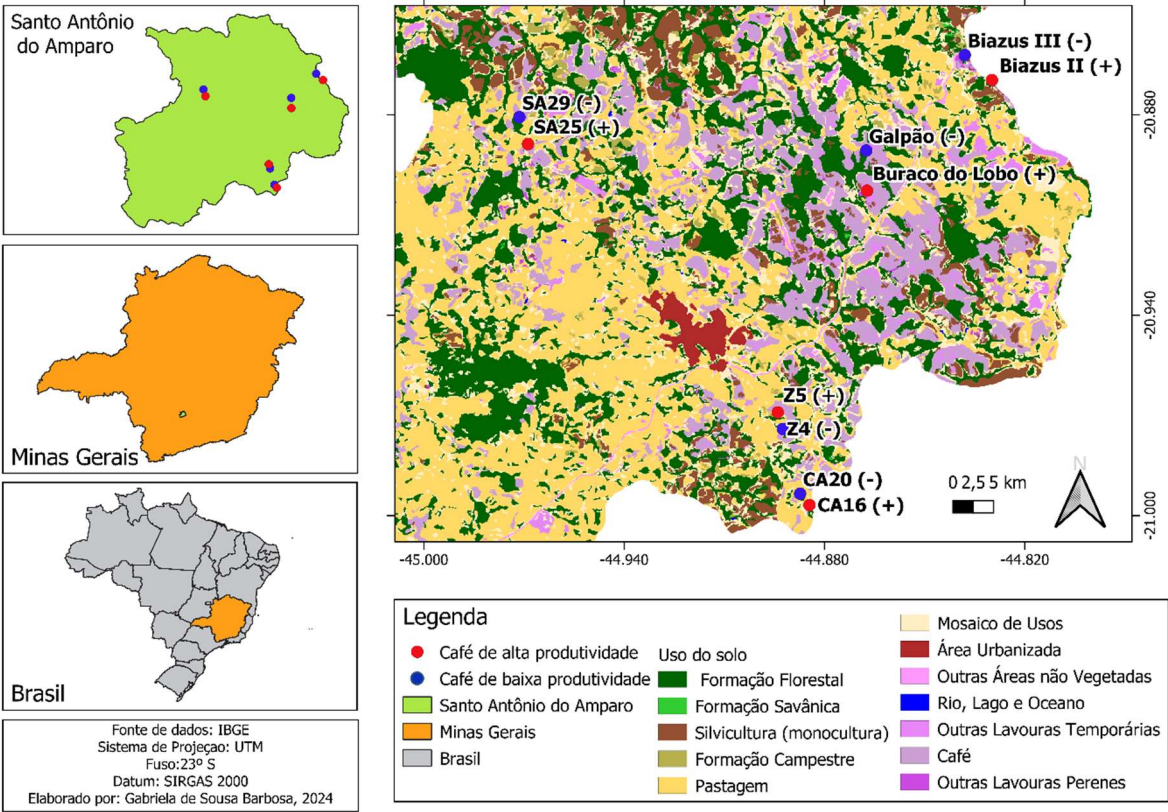
Apêndice a – Pontos de amostragem, municípios de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

Legenda: (A) Café CA16 (+) e CA20 (-), (B) Café SA25 (+) e SA29 (-), (C) Café Z5 (+) e Z4 (-) e (D) Mata Kalunga I e Mata Kalunga II.



Apêndice b – Pontos de amostragens, município de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil.

Legenda: (A) Café Biazus II (+) e Café Biazus III (-), (B) Café Buraco do Lobo (+), (C) Café Galpão (-) e (D) Mata Biazus (E) Mata NKG.



Apêndice c – Mapa do uso da terra com pontos amostrais de sistemas cafeeiros com maior e menor produtividade.