



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE
LABORATÓRIO DE ECOLOGIA DO ADOECIMENTO E FLORESTAS



MARIANA BRITO DOS ANJOS

**EXISTE DIFERENÇA ENTRE A EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE SEMENTES POR
FORMIGAS EM BORDA ANTRÓPICA E ECÓTONO NATURAL?**

OURO PRETO/MG

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE
LABORATÓRIO DE ECOLOGIA DO ADOECIMENTO E FLORESTAS

MARIANA BRITO DOS ANJOS

**EXISTE DIFERENÇA ENTRE A EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE SEMENTES POR
FORMIGAS EM BORDA ANTRÓPICA E ECÓTONO NATURAL?**

Monografia apresentada ao Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

**Ouro Preto/MG
2023**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Mariana Brito dos Anjos

Existe diferença entre a eficiência da remoção de sementes por formigas em borda antrópica e ecótono natural?

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovada em 28 de agosto de 2023

Membros da banca

Dra. Maria Fernanda Brito de Almeida – Presidente da banca - Universidade Federal de Ouro Preto
MSc. Bárbara Martins Dolabela - Universidade Federal de Minas Gerais
Bela. Isabella Lopes - Universidade Federal de Viçosa

Sérvio Pontes Ribeiro, coorientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/10/2023



Documento assinado eletronicamente por **Servio Pontes Ribeiro**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/11/2023, às 11:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0581428** e o código CRC **34C7D37E**.

Dedico esse trabalho à minha família, sem vocês eu nunca teria chegado até aqui.

Agradecimentos

Agradeço principalmente aos meus pais Lúcia e Wilson e aos meus irmãos Luciana e Lucas que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, sem vocês eu jamais teria chegado até aqui, vocês são minha maior riqueza!

A minha companheira Natalia, que sempre esteve ao meu lado me apoiando com todo amor e carinho, mesmo nos dias mais difíceis. Obrigada por tudo, te amo muito.

Agradeço aos meus amigos do laboratório e da vida, Filipe, Isabella, Breno, por toda ajuda e troca de aprendizados, vocês são parte fundamental dessa história.

Agradeço à minha orientadora e grande amiga Maria Fernanda, por todos os momentos vividos e aprendizados compartilhados, obrigada por todo apoio e companheirismo na academia e na vida.

Ao professor Sérgio, agradeço por todo suporte oferecido e pelo conhecimento compartilhado que foram fundamentais para minha formação. Ao laboratório LEAF-Ecohealth por todo suporte e vivências que contribuíram para que hoje eu seja bióloga!

Agradeço ao Parque Estadual do Rio Doce e toda a equipe, lugar maravilhoso onde tive o privilégio de desenvolver este trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto por oferecer ensino público de qualidade e me permitir a realização deste trabalho. E a todos os professores, obrigada!

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localização das áreas amostradas do estudo. Pontos coloridos no mapa mostram a localização de cada área. Bordas antrópicas: Estrada do Parque, Floresta de mogno, aeroporto estrada. Ecótonos: Carioca, Porto Capim, Aeroporto ecótono. Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. 2022.

Figura 2. (A) Gaiola usada para evitar o acesso às sementes por outros animais que não fossem formigas. (B) Formigas interagindo com as sementes artificiais.

Figura 3. Sementes artificiais expostas em cima de uma folha coletada no local de estudo.

Figura 4. O gráfico mostra a porcentagem das interações entre os habitats. Houve interação entre as variáveis tipo de interação (dominância/remoção) e habitats (borda/ecótonos).

Figura 5. O gráfico mostra os tipos de interação entre as estações (seca/chuvosa). Houve maior dominância na estação chuvosa.

Figura 6. O gráfico mostra a frequência de ocorrência das espécies na borda nas estações chuvosa (A) seca (B) no ecótono nas estações chuvosa (C) e seca (D). A espécie mais frequente foi *Wasmannia auropunctata*, seguido por *Pheidole aff reflexans* e *Pheidole oxyops*. Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil, 2022.

Sumário

Introdução	8
Materiais e Métodos	12
Resultados	15
Discussão	20
Conclusão	22
Referências	23

Resumo

Muitas formigas ao serem atraídas pela parte nutritiva das sementes, executam o papel de dispersoras primárias (mirmecoria) ou secundárias dessas sementes. As bordas naturais ou ecótonos e as bordas antrópicas, ambas caracterizam ambientes de mudanças rápidas nas condições ambientais impostas pela transição entre dois ecossistemas adjacentes. Os objetivos deste trabalho foram comparar as diferenças na remoção e dispersão de sementes por formigas entre ecótonos floresta-lago e bordas antrópicas e identificar as espécies de formigas envolvidas nessa relação assim como os comportamentos dessas espécies diante da descoberta da semente. O trabalho foi realizado no PERD - Parque Estadual do Rio Doce, no município de Marliéria, MG, Brasil. Selecionamos seis áreas: três ecótonos naturais e três bordas antrópicas. Não foram observadas diferenças significativas entre o número de sementes removidas e na média de dispersão entre os habitats. Os tipos de interações registradas que ocorreram diante do encontro das sementes (dominância ou remoção) não diferiram entre os habitats (ecótono e borda) e nem entre as estações (seca e chuvosa). A frequência de ocorrência das espécies foi similar nos dois ambientes sendo a espécie *Pheidole aff reflexans* a espécie mais frequente, seguida por *Wasmannia auropunctata*. Verificamos que nos ecótonos as formigas dominam significativamente mais do que removem as sementes, sendo essa interação mais forte na estação chuvosa. Ambientes simplificados como as bordas antrópicas modificam as relações interespecíficas, ambientes de maior complexidade como os ecótonos, facilita a coexistência de espécies dominantes e subordinadas como as Ectatomminae e Ponerinae observadas frequentemente carregando as sementes nos ecótonos. Nossos resultados sugerem que tanto no ecótono quanto na borda antrópica, as formigas desempenham papel chave na dispersão e remoção de um alto número de sementes, contribuindo assim com a sucessão natural.

Palavras-chave: Mirmecocoria; dispersão de sementes; remoção de sementes; serviços ecossistêmicos; ecótono; borda antrópica.

Introdução

Os serviços ecossistêmicos são os benefícios diretos e indiretos oferecidos pelos ecossistemas que favorecem a qualidade de vida e sobrevivência dos seres humanos e da biodiversidade global (Constanza et al 1997). Um serviço ecossistêmico crucial é a dispersão de sementes por formigas, conhecida como "mirmecocoria". Nesse processo, as formigas coletam sementes com elaiossomos (estruturas ricas em nutrientes) de plantas e as transportam para seus ninhos (Rico-Gray & Oliveira 2007; Lengyel 2010). As formigas consomem os elaiossomos e depositam as sementes nos ninhos, beneficiando-se com alimento. Esse serviço é essencial para a dispersão de sementes a distâncias maiores do que a queda natural das sementes, promovendo a regeneração natural, a colonização de novos territórios e a diversificação genética das populações. Além disso, protege as sementes de herbívoros e competição, aumentando suas chances de germinação e sobrevivência (Rico-Gray & Oliveira 2007; Lengyel 2010).

As formigas são excelentes organismos capazes de remover e dispersar sementes, sendo que mais de 11.000 espécies de plantas distribuídas em 55 famílias são conhecidas por terem as formigas como principais dispersoras de suas sementes de forma primária (mirmecoria) (Rico-Gray & Oliveira 2007; Lengyel 2010) ou secundária, conforme observado por Lima e colaboradores (2012). A evolução convergente entre formigas e plantas mirmecocóricas é uma relação vantajosa para ambas as espécies (Rico-Gray & Oliveira 2007; Lengyel 2010). As plantas atraem as formigas através do elaiossomo, parte lipídica e nutritiva das sementes (Rico-Gray & Oliveira 2007) estimulando a remoção e a dispersão de sementes por longas distâncias. Essa relação beneficia tanto as formigas, proporcionando-lhes uma fonte de alimento de alta qualidade, quanto as próprias sementes, garantindo-lhes proteção contra predadores, reduzindo a competição por nutrientes com a planta mãe e promovendo um maior fluxo genético (Lengyel 2010). Associado a remoção e dispersão de sementes, o papel desempenhado como engenheira de ecossistemas e a ciclagem de nutrientes contribuem com a sucessão ecológica e a regeneração de áreas degradadas (Rico-Gray & Oliveira 2007), atuando como facilitadoras do retorno e ocupação de ambientes impactados (Ribas *et al.*, 2012).

As formigas são um grupo abundante, encontrado em quase todos os ambientes com exceção dos pólos, e respondem rapidamente às alterações ambientais (Andersen 2002; Hoffman 2003; Ribas *et al.*, 2012). Desempenham diversas funções dentro do ecossistema, atuando como predadoras, decompositoras, participando da ciclagem de nutrientes do solo e na remoção e dispersão de sementes, e como são sensíveis às mudanças ambientais têm sido utilizadas nos últimos anos como uma espécie para

bioindicação de qualidade ambiental. Com o aumento das pressões antrópicas sobre os ecossistemas naturais causados por ações como poluição, desmatamento, fragmentação e simplificação do habitat, são exemplos de distúrbios que podem prejudicar serviços ecossistêmicos.

O conceito de distúrbio proposto por White & Pickett (1985) afirma que as perturbações ou interrupções dos processos ecológicos normais em um ecossistema alteram parâmetros físicos e biológicos, modificam a oferta de recursos, as interações ecológicas e a estrutura das comunidades. Distúrbios podem ter origem natural como incêndios, tempestades, inundações, quedas de árvores com abertura de clareiras sendo, muitas vezes, necessários para a manutenção do ecossistema e da sua biodiversidade White & Pickett (1985). Por outro lado, distúrbios provocados por atividades humanas como incêndios, desmatamento, criação de pastos, monoculturas e construção de estradas em áreas naturais têm provocado diversas modificações abruptas associadas à degradação ambiental (Carvalho Araújo *et al.*, 2016). Mudanças climáticas e o aumento de atividades humanas tendem a intensificar processos de perturbação, gerando impactos negativos muitas vezes irreversíveis que implicam em perda de diversidade, alteração na composição das espécies locais e nas interações ecológicas, comprometendo serviços ecossistêmicos (Jem *et al.*, 2018). Como essas alterações vão efetivamente modificar o ecossistema irá depender das características do distúrbio, do ambiente e das comunidades envolvidas, podendo ser maximizadas pela intensidade, frequência e magnitude com que eles ocorrem (White & Jentsch 2004; Turner 2010).

Ambientes transicionais naturais (doravante ecótono), são sistemas ecológicos com características únicas (Risser 1995) constituem um ambiente de transição entre dois ecossistemas adjacentes onde há uma mistura das características bióticas e abióticas de dois ecossistemas (Risser 1995) com mudanças nas características ambientais como temperatura, umidade, luz e nutrientes, onde se espera encontrar alta diversidade biológica devido coexistência de espécies adaptadas a ambos habitats (Ries 2004) Ecótonos entre florestas e lagos, são naturalmente propensos a sofrer perturbações decorrentes de distúrbios naturais que podem alterar sazonalmente a luminosidade, temperatura, umidade e a incidência de vento. As florestas ripárias presentes nos ecótonos floresta-lago constituem ecossistemas suscetíveis a perturbações resultantes das variações sazonais de inundação conforme mencionado por Naiman e colaboradores em 2005. Essa intensa dinâmica garante um ambiente singular, que sustenta alta diversidade e favorece o “*turnover*” de espécies que se deslocam entre a transição propriamente dita e os ambientes adjacentes (Wondzell, 2018). Embora os ecótonos floresta-lago também sejam

considerados um ambiente de mudança “rápida” de condições ambientais, a singular composição de atributos do habitat pode gerar uma ampla variedade de nichos, resultando em uma maior riqueza de espécies em comparação com os ecossistemas adjacentes (Horváth *et al.*, 2001).

Por outro lado, quando uma borda é criada por ação humana há alterações abruptas e imprevisíveis nos processos ecológicos e na estrutura do ecossistema, o que pode gerar perda de espécies (Murcia 1995). Áreas de borda são criadas pela interferência humana e são comuns em paisagens fragmentadas, onde habitats naturais são divididos por atividades antrópicas (Murcia 1995), que resultam na simplificação dos habitats devido a remoção da vegetação e da camada superficial do solo das florestas com consequente redução da disponibilidade de recursos (Heck & Wetstone 1977). A rápida alteração do ambiente devido à formação das bordas antrópicas aumenta a exposição à luz solar, vento e radiação, alterando o microclima ambiental causando estresse térmico para algumas espécies intolerantes a essas condições (Murcia 1995). Essas alterações, muitas vezes, acompanham as mudanças na matriz da paisagem adjacente e podem ter efeitos amplificados sobre toda uma comunidade exposta a simplificação e homogeneização do habitat (Dolabela *et al.*, 2020). Como consequência, as mudanças ambientais impostas pela formação de bordas antrópicas podem promover a facilitação para a entrada e o estabelecimento de espécies exóticas e/ou invasoras (Murcia 1995).

As características presentes nas formigas permitem que elas sejam utilizadas como um grupo importante para bioindicação de ambientes alterados (Andersen *et al.*, 2002; Ribas *et al.*, 2011; Akhila & Keshamma 2022). Nos últimos anos, diversos estudos têm explorado o potencial das formigas como bioindicadoras em diferentes contextos ecológicos, como em mudanças na temperatura (Hoffmann *et al.*, 2003), alterações na complexidade do habitat (Carvalho *et al.*, 2020) e aumento de pressões antrópicas (Akhila & Keshamma 2022) tendo se mostrado uma excelente ferramenta para modelar estudos sobre a qualidade e o grau de conservação ambiental (Ribas *et al.*, 2012). Além de organismos sensíveis às mudanças ambientais, sua ampla distribuição, abundância, facilidade de coleta e uma taxonomia relativamente bem conhecida, a mirmecofauna vem sendo cada vez mais utilizada em estudos ecológicos (Holldobler & Wilson 1990).

Neste trabalho, investigamos a remoção e dispersão de sementes por formigas em dois diferentes habitats: (i) ecótono floresta-água (um ambiente natural de transição entre floresta e ambiente aquático) e (ii) bordas antrópicas (áreas de borda criadas pela interferência humana em habitats naturais). Nossa pesquisa se baseia nos seguintes objetivos e premissas:

Quantificar a remoção e dispersão em dois diferentes habitats: Esperávamos observar diferenças na taxa de remoção e dispersão de sementes entre o ecótono floresta-água e as bordas antrópicas, devido às distintas características ambientais desses habitats.

Verificar a distância média de dispersão das sementes nos dois habitats: Esperávamos que a distância média de dispersão das sementes fosse diferente entre os dois habitats, refletindo as diferentes condições e relações ecológicas de cada habitat.

Identificar os principais tipos de interação que ocorrem diante da descoberta da semente: Esperávamos observar diferentes comportamentos das formigas em relação à descoberta das sementes, incluindo dominância numérica e dispersão, e investigamos como essas interações variam entre os habitats e entre as estações.

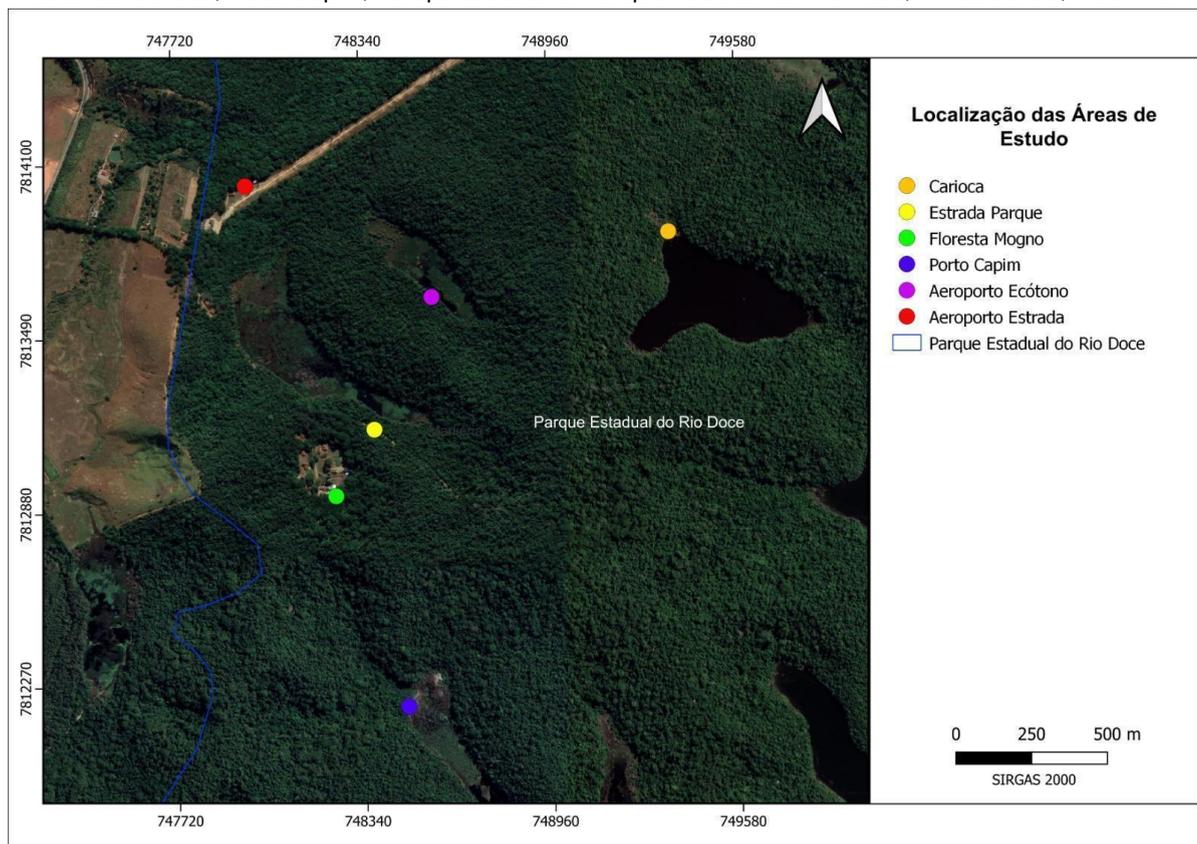
Identificar as principais espécies de formigas envolvidas nesse processo: Identificar as espécies de formigas que participam da remoção e dispersão de sementes em cada habitat, nossa expectativa era encontrar um maior número de espécies nas bordas dos ecótonos, uma vez que a matriz florestal adjacente é preservada e abriga um grande número de espécies capazes de ocupar esses ambientes alterados e renovados.

Verificar a frequência de ocorrência das espécies em cada habitat: Analisar a frequência com que as espécies de formigas estão presentes em cada habitat. A distribuição das espécies de formigas pode ser influenciada por fatores ambientais, como as características físicas e climáticas de cada habitat, sendo assim esperávamos que no ambiente de ecótono a frequência de ocorrência de espécies fosse diferente das bordas, pois a simplificação do habitat influencia as relações competitivas na comunidade de formigas.

Materiais e Métodos

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), situado entre os meridianos (19°48'-19°29'S e 42°38'-42°28'W), o parque abrange os municípios de Marliéria, Timóteo e Dionísio no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. A vegetação do PERD é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, dentro do domínio da floresta atlântica brasileira e apresenta clima sazonal com um período seco e um período chuvoso (SOCT 1981, IEF 1994). O PERD foi criado em 1944 é a primeira Unidade de Conservação do estado de Minas Gerais, além de ser o maior fragmento de mata atlântica contínuo do estado com 36.000 hectares e cerca de 40 lagoas naturais. O PERD abriga enorme biodiversidade e é hoje uma das mais importantes unidades de conservação da Mata Atlântica e sítio do RAMSAR no país.

Figura 1. Mapa de localização das áreas amostradas do estudo. Pontos coloridos no mapa mostram a localização de cada área. Bordas antrópicas: Estrada do Parque, Floresta de mogno, aeroporto estrada. Ectonons: Carioca, Porto Capim, Aeroporto ecótono. Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. 2022.



Fonte: Elaborado a partir do IDE-SISEMA, 2023.

Delineamento Amostral

Foram realizadas duas campanhas, uma na estação seca e outra no começo da estação chuvosa, nos meses de julho e dezembro de 2022. Escolhemos três áreas consideradas ecótonos, ambientes de transição entre uma matriz florestal e borda de lagoas naturais, denominadas: (i) Ecótono floresta-lago da pista de pouso (ii) Porto Capim (ii) Lagoa carioca. Foram escolhidas também três áreas consideradas borda antrópica, ambientes de transição entre uma matriz florestal e um ambiente simplificado como uma estrada, denominadas: (i) Floresta de mogno, (ii) Estrada de entrada do Parque e (iii) Estrada do aeroporto. Em cada uma das áreas escolhidas foram estabelecidos transectos 250 m nas bordas/ecótonos no limite entre esses ambientes. Para padronização dos transectos foi selecionada a primeira linha de árvores na transição entre a floresta e as áreas abertas. Foram selecionados dez pontos em cada transecto separados 25 m entre si. Em cada um dos pontos foram oferecidas 20 sementes artificiais, totalizando 200 por área. que consistiam em miçangas de madeira de 0,3 mm envolvidas por uma mistura homogênea composta de 75% de gordura vegetal hidrogenada, 7% de caseína, 5% de maltodextrina, 4,8% de frutose, 4,7% de glicose, 4,8% de frutose, 3% de carbonato de cálcio e 0,5% de sacarose (Raimundo *et al.*, 2004; Rabelo *et al.*, 2014), essa mistura tinha como função imitar o elaiossomo das sementes e ser atrativo para as formigas.



Figura 2: (A) Gaiola usada para evitar o acesso às sementes por outros animais que não fossem formigas. (B) Formigas interagindo com as sementes artificiais.

As sementes ficavam protegidas por uma gaiola com três aberturas de quatro cm nas bordas, para garantir que apenas formigas tivessem acesso às sementes. As armadilhas ficaram expostas no campo por 24 horas. Após esse período, as sementes restantes foram contadas para quantificar a remoção de sementes pelas formigas.

Para medir a distância de dispersão e avaliar as espécies presentes e frequentes no processo de dispersão, 20 sementes artificiais foram colocadas em cima de uma folha coletada no local, para que fosse algo natural e não causasse interferência no comportamento das formigas.



Figura 3: Sementes artificiais expostas em cima de uma folha coletada no local de estudo.

As sementes utilizadas foram colocadas ao lado da gaiola e ficaram expostas em campo por cerca de 50 minutos, tempo utilizado para observação focal. As formigas que eram vistas removendo as sementes durante o período de observação, foram acompanhadas até onde fosse possível observar e então a distância de dispersão medida com o auxílio de uma trena, para seguir um padrão a primeira formiga a remover a semente era a distância usada como medida.

Para avaliar os tipos de interação mediante o encontro com a semente, categorizamos dois comportamentos: Dominância numérica e remoção, onde consideramos a dominância numérica quando as formigas dominavam numericamente o recurso e impediam que outras formigas tivessem acesso ao recurso, e a remoção quando as sementes eram vistas sendo removidas para fora do ponto observado.

Após o período de 50 minutos, as armadilhas de observação focal eram recolhidas com os indivíduos presentes nas amostras. Os indivíduos coletados foram levados para o Laboratório de Ecologia do Adoecimento de Florestas da UFOP (LEAF- Ecohealth) onde

foram contados e identificadas até o menor nível taxonômico através da chave de gênero (Baccaro *et al.*, 2015) e através de comparação com a coleção biológica do laboratório.

Análises Estatísticas

Para responder se a riqueza de espécies varia entre os habitats (ecótono/borda), entre as estações (chuvosa/seca) e se ha uma interação entre essas variáveis que influencia na riqueza construímos um modelo linear, uma vez que os dados obedecem os pressupostos para modelos paramétricos.

No entanto, os demais modelos construídos para responder às demais questões do estudo, não atenderam aos pressupostos exigidos para modelos paramétricos, portanto recorremos aos modelos lineares generalizados (GLM), utilizando a distribuição adequada a cada modelo. Com exceção das análises para responder sobre a dispersão de semente, onde foi usada a distribuição de *gaussian*, nas demais análises usamos distribuição binomial negativa para ajustar a sobre dispersão do modelo.

Nas análises para distância de dispersão usamos a distância média de dispersão como variável resposta e o habitat (ecótono/borda) foi usado como variável explicativa. Nas análise para responder sobre a remoção de sementes fizemos um modelo onde número de diásporos removidos foi usado como variável resposta e o habitat e a estação foram usadas como variáveis explicativas. No modelo para quantificar se total de interações observadas variam em função dos tipos de interação habitat, estação a distribuição binomial negativa também. Para as análises de frequência usamos um modelo onde a frequência de ocorrência foi usada como variável resposta em função das variáveis explicativas: habitats (ecótono/borda), estação (chuvosa/seca) e espécies. Também incluímos nos modelos acima as interações entre as variáveis habitat: estação e habitat: espécie. As análises foram realizadas no programa R Studio (versão 2023.06.1). Para os dados não paramétricos usamos o pacote glm. Os modelos foram simplificados até o modelo mínimo adequado.

Resultados

Foram coletadas 10.366 indivíduos em um total de onze espécies de formigas distribuídas em quatro subfamílias (Myrmicinae, Ponerinae, Ectatomminae e Formicinae) e oito gêneros (Tabela 1). Myrmicinae foi a subfamília mais abundante, correspondendo a 99,91% do total de indivíduos coletados nas amostras, seguida por Ponerinae com 0,04%, Ectatomminae com 0,04% e Formicinae com 0,01%.

A remoção de sementes não diferiu significativamente entre os habitats ($X^2_{(119,118)} = 0,1752$). A remoção não diferiu significativamente entre as estações ($X^2_{(119,117)} = 0,2258$), bem

como não observamos a existência de interação significativa entre o habitat e as estações ($X^2_{(119,116)} = 0,9066$).

A distância média de dispersão de sementes no ecótono não diferiu significativamente do ambiente de borda ($F_{(10,9)} = 0.1568$; $p = 0.7014$).

Tabela 1: Espécies de formigas encontradas nas amostras de observação focal. Os números referem-se à abundância total de formigas amostradas em cada habitat (ecótono e borda) e em cada estação (seca e chuvosa).

ESPÉCIE	SUBFAMÍLIA	ECÓTONO		BORDA	
		Seca	Chuvosa	Seca	Chuvosa
<i>Camponotus sericeiventris</i>	Formicinae			1	
<i>Ectatomma permagnum</i>	Ectatomminae			4	
<i>CreMATogaster acuta</i>		33		62	
<i>Pheidole aff reflexans</i>		382	1312	505	2245
<i>Pheidole oxyops</i>		29	15	306	36
<i>Solenopsis</i> sp1		90	628	93	8
<i>Solenopsis</i> sp2			12		20
<i>Solenopsis</i> sp3	Myrmicinae			1	1
<i>Wasmannia auropuctata</i>		981	1052	58	2488
<i>Neoponera verenae</i>		2		1	
<i>Odontomachus</i> sp.	Ponerinae				1

Verificamos a ocorrência de interação significativa entre os tipos de interação e o habitat ($X^2_{17,13} < 0.0001$;) com a dominância numérica sendo significativamente maior do que a remoção no ecótono (figura 4).

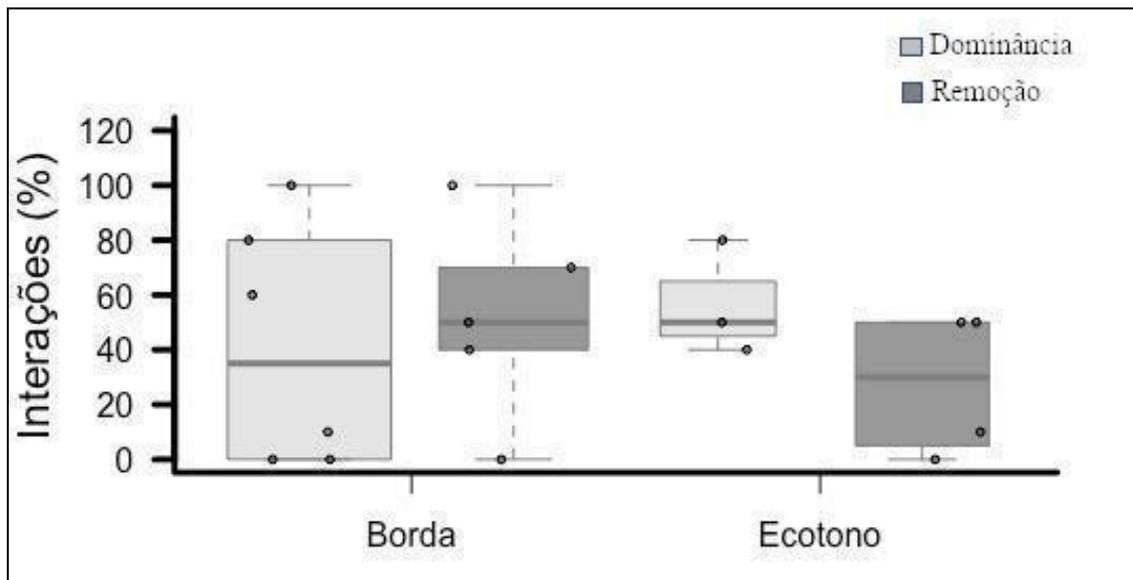


Figura 4: Porcentagem das interações entre os habitats. Houve interação entre as variáveis tipo de interação (dominância/remoção) e habitats (borda/ecótonos).

Verificamos diferença significativa entre o tipo de interação e estação ($X^2_{(17, 12)} < 0.0001$; Figura 2) sendo a dominância numérica significativamente maior que a remoção na estação chuvosa.

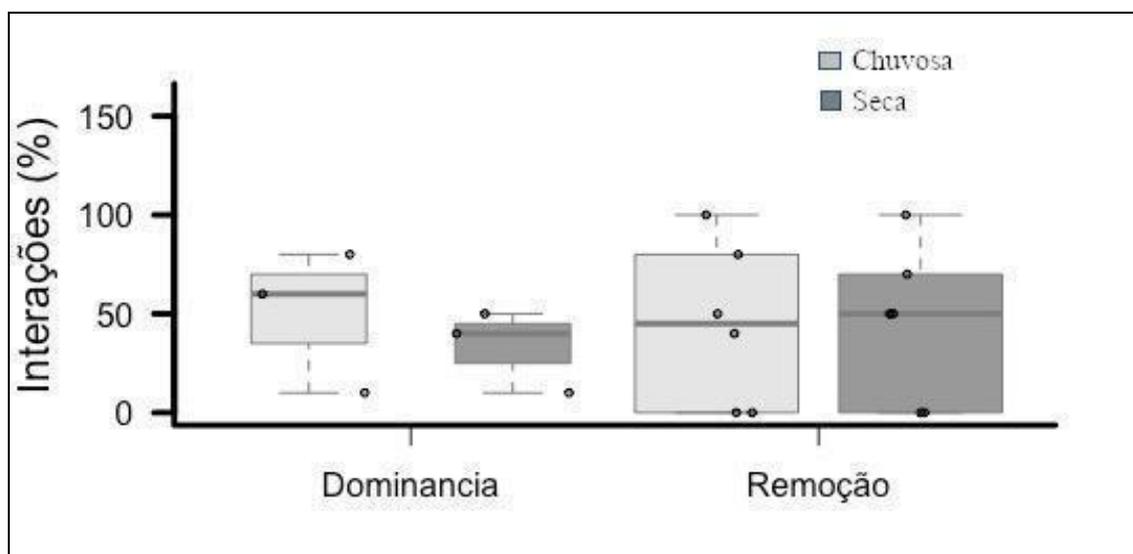
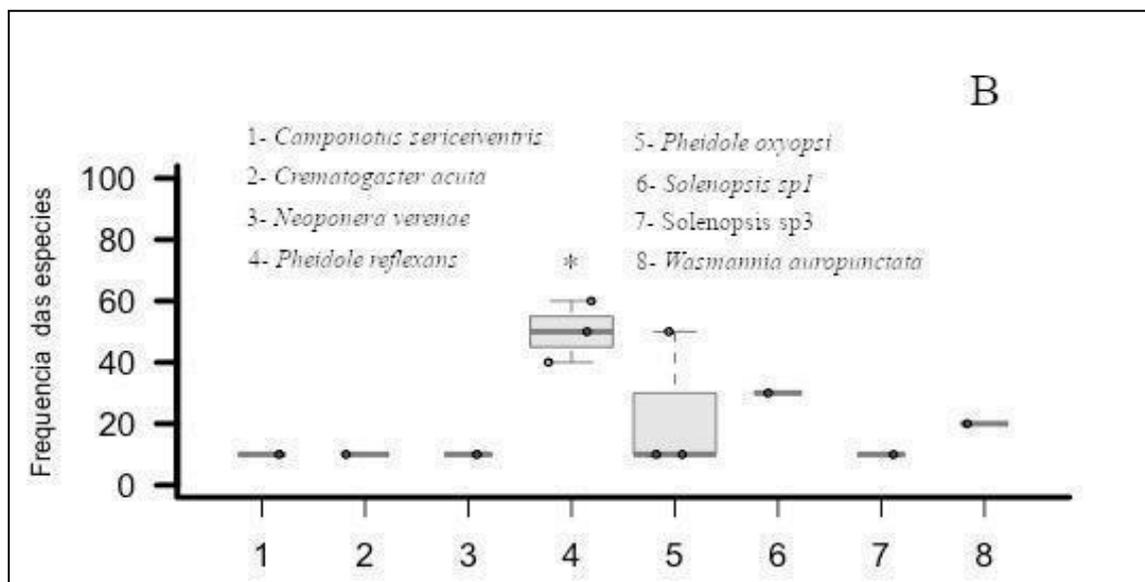
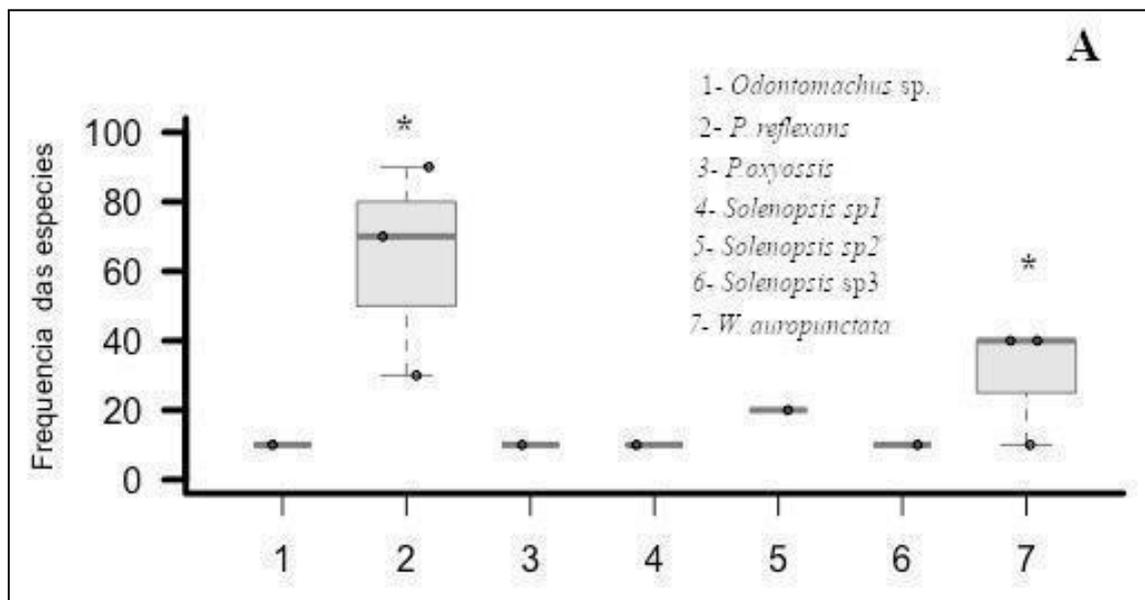


Figura 5: Tipos de interação entre as estações (seca/chuvosa). Houve maior dominância na estação chuvosa.

A riqueza de espécies não diferiu entre os habitats ($F_{(10, 1)}=1,4$ $p=0,2634$) e também não diferiu entre as estações ($F_{(9, 1)}=1,4167$; $p=0,2561$). Não houve interação entre o habitat e a estação sobre a riqueza de formigas ($F_{(8, 1)}=0,5,000$; $p=0,4996$).

Não observamos diferenças na frequência de ocorrência das espécies de formigas entre os habitats ($\chi^2_{(40,39)} = 0,4877$) e entre as estações ($\chi^2_{(40,38)} = 0,5293$). Também não observamos a existência de interação entre o habitat e a espécie ($\chi^2_{40,20} = 0,4082$), bem como não houve interação entre o habitat e as estações ($\chi^2_{40,26} = 0,3059$). Porém, verificamos diferença na frequência de ocorrência entre espécies ($\chi^2_{(40,29)} < 0,0001$), sendo essa diferença definida especialmente por *Pheidole aff. reflexans* seguida por *Wasmannia auropunctata*, e a *Pheidole oxyops* presente em todas as áreas (Figuras 3 A; B; C e D).



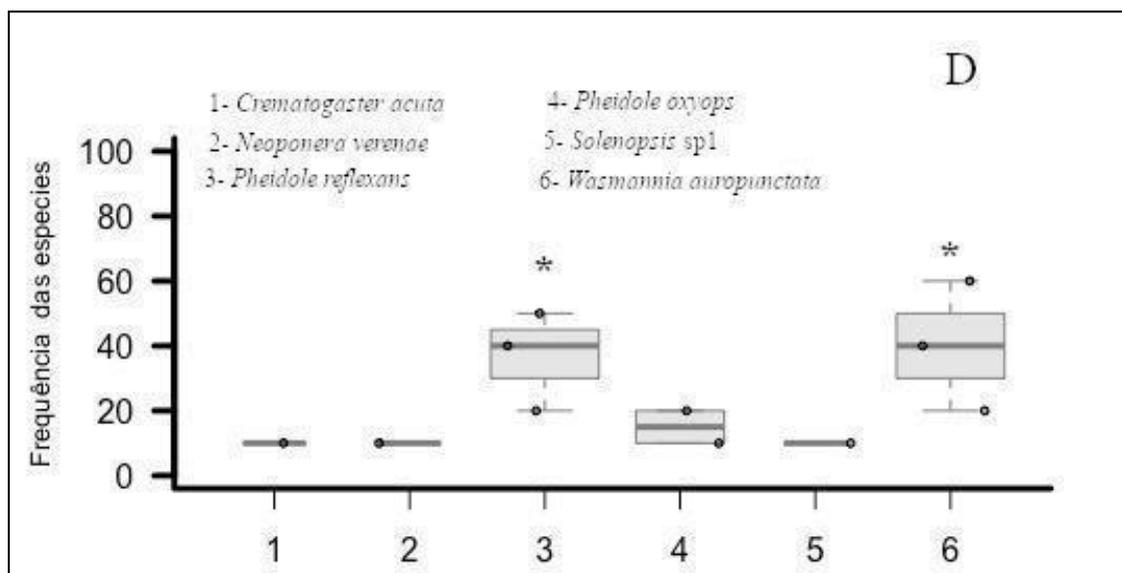
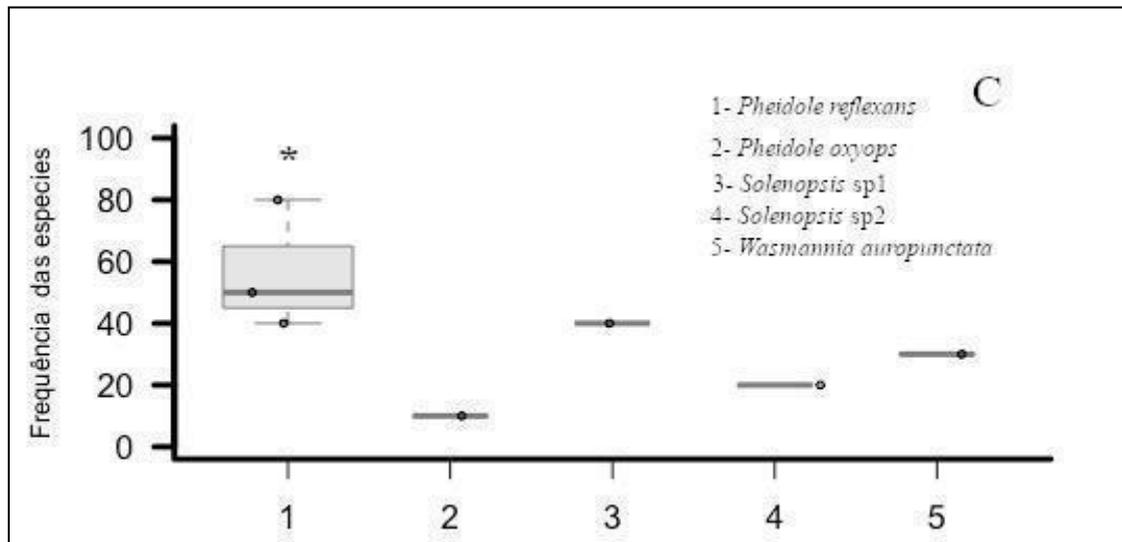


Figura 6: Frequência das espécies na borda nas estações chuvosa (A) seca (B) no ecótono nas estações chuvosa (C) e seca (D). A espécie mais frequente foi *Wasmannia auropunctata* seguido por *Pheidole aff reflexans* e *Pheidole oxyops*. Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil 2022.

Discussão

A família Myrmicinae predominou numericamente, representando quase 100% do total de indivíduos coletados, o que é consistente com a observação comum de sua abundância em estudos similares. Essas formigas são generalistas e bem adaptadas a ambientes perturbados. No entanto, nas áreas de ecótono, embora em menor número, foram observadas formigas das subfamílias Ectatomminae e Ponerinae. Isso se deve à ecologia desses grupos, que apresentam comportamento de forrageamento solitário. É importante destacar que essas formigas das subfamílias Ectatomminae e Ponerinae foram frequentemente observadas transportando sementes por longas distâncias, muitas vezes levando-as para dentro dos ninhos. Esse comportamento evidencia o importante serviço ecossistêmico da mirmecoria que desempenham. A presença de outras subfamílias, embora em quantidades menores, no ecótono sugere uma diversidade adicional, mesmo que com uma abundância relativamente menor. A frequente renovação de recursos e a dinâmica dos ecótonos floresta-água são fatores que moldam a diversidade e a coexistência de espécies nesses ambientes (Ramey & Richardson 2017). Ambientes naturais são mais complexos quando comparado às bordas do ponto de vista estrutural por possuírem mais locais de nidificação e alocação de recursos, microclima mais estável, podendo abrigar mais espécies coexistindo e envolvidas em um maior número de relações interespecíficas (Leal 2003; Corrêa *et al.*, 2006). Em bordas antrópicas, por outro lado, as modificações provocadas pelas atividades antrópicas, causam a simplificação do habitat, criam um ambiente empobrecido em termos de recursos e qualidade ambiental, favorecendo espécies generalistas e adaptadas a ambientes degradados (Heck & Wetstone 1977). Conforme os estudos de Dolabela e colaboradores (2022), ambientes simplificados apresentam menor diversidade quando comparados com ambientes preservados. Assim, nossa expectativa era encontrar um maior número de espécies nas bordas dos ecótonos, uma vez que a matriz florestal adjacente é preservada e abriga um grande número de espécies capazes de ocupar esses ambientes alterados e renovados.

Contudo, os ecótonos estudados sofrem frequentes perturbações pela ação sazonal dos pulsos de inundação, e pela mudança rápida ambiental que configura a transição entre os ambientes, criando locais que podem favorecer espécies oportunistas, encontradas em ambientes diversos como é o caso de *P. aff. reflexans* e *W. auropunctata* (Baccaro *et al.*, 2015). Desse modo, ambientes mais conservados tendem a ter uma fauna mais complexa

que consegue manter a dinâmica e funções naturais dos sistemas ecológicos mais estáveis, mesmo diante de distúrbios (Tilman *et al.*, 2006). Oliver e colaboradores (2015), sugerem que a biodiversidade interespecífica é uma garantia fundamental, a longo prazo, para a resiliência das funções e serviços ecossistêmicos. Desse modo, ainda que o mesmo conjunto de espécies de formigas envolvidas na dispersão tenham sido encontradas nos ecótonos e nas bordas a reestruturação de comunidades simplificadas tendem a ser mais lentas e comprometer o restabelecimento em curto prazo, devido as possíveis interrupções das relações entre as espécies (Campos *et al.*, 2007).

Formigas de corpo pequeno, como as encontradas nas amostras são típicas de ambientes perturbados e consideradas dispersoras “fracas”, pois transportam as sementes por curtas distâncias (Ness *et al.*, 2004; Andersen *et al.*, 2006). Nas amostras de observação focal, os pontos em que havia predominância de espécies de *Pheidole aff. reflexans* e *Wasmannia auropunctata*, por exemplo, grupos com maior frequência e abundância encontrados nas amostras, as formigas dominavam o recurso mas não faziam a dispersão, consumindo a parte nutritiva da semente artificial sem fazer a remoção. Essas espécies são dominantes numericamente, agressivas podem dominar o recurso e excluir competitivamente outras espécies da mirmecofauna (Baccaro *et al.*, 2015; Achury *et al.*, 2020). Por outro lado, as formigas maiores como as espécies da subfamília Ectatomminae e Ponerinae, observadas transportando as sementes artificiais, embora em menor número e muitas vezes em uma condição de subordinação, geralmente evitavam o confronto das numericamente dominantes (obs. pessoais). No entanto, quando as sementes estavam disponíveis a remoção e o transporte eram feitos por distâncias maiores e muitas vezes para dentro do ninho (obs. pessoais). Estudos mostram que as formigas de espécies maiores transportam a semente por distâncias maiores quando comparadas às espécies menores (Horvitz & Schemske, 1986; Gomez & Espadaler, 1998). Outro estudo desenvolvido no noroeste da Argentina mostrou que formigas com uma relação de subordinação interespecífica tendem a serem melhores dispersoras por removerem a semente e levando-as ao ninho (local favorável para a germinação) mais rapidamente (Aranda-Rickert & Fracchia, 2012), otimizando a recuperação pós-distúrbios, o aumento da heterogeneidade e a complexidade dos ambientes.

Não observamos diferenças significativas entre o número de sementes removidas e dispersão entre os habitats (ecótono e borda). Assim como os tipos de interações dominância/remoção não diferiram quanto ao tipo de habitat e entre as estações seca e chuvosa. Isso pode sugerir que as formigas são organismos que desempenham um papel consistente na remoção de sementes independentemente das condições sazonais ou do ambiente, sendo uma importante ferramenta para sucessão natural e recuperação de áreas

degradadas. Verificamos que nos ecótonos as formigas dominaram significativamente mais do que removeram as sementes, sendo essa interação mais forte na estação chuvosa. A estação chuvosa, época com temperaturas mais elevadas e maior umidade aumenta a atividade de forrageamento das formigas (Levings 1983). As espécies que foram relacionadas a dominância dos recursos formam ninhos populosos e são boas recrutadoras de companheiras do ninho, podendo expandir a população formando um grande território (Baccaro *et al.*, 2015), o que também explica a similaridade da frequência de ocorrência das espécies nos diferentes habitats, onde as espécies dominantes foram encontradas ao longo de todo o transecto sugerindo grande territorialidade. Especialmente em habitats simplificados, a remoção da serrapilheira e da camada superficial do solo e alteração da vegetação, comuns em bordas antrópicas, afetam as relações de dominância, atividades de forrageamento e as taxas de monopolização do recurso por parte das formigas (Gibb & Parr 2010; Carvalho *et al.*, 2020). Estudos demonstram que o tempo de descoberta do recurso pode ser afetado pela simplificação do habitat, onde a homogeneização ambiental faz com que formigas descubram mais rápido o recurso quando comparadas a ambientes preservados, favorecendo espécies dominantes e adaptadas a ambientes degradados como observado por Dolabela e colaboradores (2020). Desse modo, habitats com maior complexidade, que oferecem recursos em maior quantidade e qualidade podem favorecer espécies submissas que tendem a evitar espécies agressivas (Hampton 2004). Além disso, nos ecótonos, as interações e características que ocorrem entre ecossistemas adjacentes, criam um ambiente de maior diversidade de nichos e habitats, o que pode diluir a abundância das espécies mais dominantes (Hampton 2004; Sarty *et al.*, 2006).

Conclusão

Concluimos que apesar da dispersão e remoção de sementes por formigas nos ambientes estudados não apresentaram diferenças detectáveis, pelo menos através da metodologia utilizada, foi possível perceber que a complexidade do habitat favorece a coexistência das espécies que removem sementes, favorecendo as relações interespecíficas e de competição. É fundamental compreender as dinâmicas das comunidades presentes nos ambientes naturais, tendo em vista a importância ecológica das formigas e dos serviços prestados por elas, especialmente em um contexto de crescente degradação ambiental e conversão de ecossistemas naturais em ambientes homogêneos e simplificados. A compreensão dessas dinâmicas é crucial para a criação de políticas mais efetivas de conservação da biodiversidade e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, principalmente em ambientes ecotonais que podem ter a estabilidade e o funcionamento alterados refletindo em escalas e níveis tróficos mais amplos.

Referências:

ABBOTT, K. L. The Ecology and Evolution of Ant-Plant Interactions. Victor Rico-Gray and Paulo S. Oliveira. *Integrative and Comparative Biology*, v. 48, n. 3, p. 442–443, 2008.

ACHURY, Rafael et al. Habitat disturbance modifies dominance, coexistence, and competitive interactions in tropical ant communities. *Ecological entomology*, v. 45, n. 6, p. 1247-1262, 2020.

ANDERSEN, Alan N. et al. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *Journal of applied Ecology*, v. 39, n. 1, p. 8-17, 2002.

ARANDA-RICKERT, Adriana; FRACCHIA, Sebastián. Are subordinate ants the best seed dispersers? Linking dominance hierarchies and seed dispersal ability in myrmecochory interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, v. 6, n. 2, p. 297-306, 2012.

BACCARO, F. B. et al. Guia para os gêneros de formigas do Brasil. Editora INPA, Manaus, 2015.

BAYLEY, Peter B. Understanding large river: floodplain ecosystems. *BioScience*, v. 45, n. 3, p. 153-158, 1995.

CAMPOS, Renata BF; SCHOEREDER, José H.; SPERBER, Carlos F. Small-scale patch dynamics after disturbance in litter ant communities. *Basic and Applied Ecology*, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2007.

CARVALHO, Karine S.; VASCONCELOS, Heraldo L. Forest fragmentation in central Amazonia and its effects on litter-dwelling ants. *Biological Conservation*, v. 91, n. 2-3, p. 151-157, 1999.

CORRÊA, Michele M.; FERNANDES, Wedson D.; LEAL, Inara R. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera: Formicidae) em capões do Pantanal Sul Matogrossense: relações entre riqueza de espécies e complexidade estrutural da área. *Neotropical Entomology*, v. 35, p. 724-730, 2006.

COELHO, Igor R.; RIBEIRO, Sérgio P. Environment heterogeneity and seasonal effects in ground-dwelling ant (Hymenoptera: Formicidae) assemblages in the Parque Estadual do Rio Doce, MG, Brazil. *Neotropical Entomology*, v. 35, n. 1, p. 19–29, 2006.

COSTANZA, Robert et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

DE CARVALHO ARAÚJO, Felipe; DOS SANTOS, Rubens Manoel; COELHO, Polyanne Aparecida. O papel do distúrbio na regeneração natural dos ecossistemas florestais. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 14, n. 1, 2016.

DOLABELA, Bárbara Martins et al. The importance of Forest simplification and litter disturbance in Defining the Assembly of Ground-Foraging ants. *Neotropical Entomology*, v. 49, n. 6, p. 832-839, 2020.

DOLABELA, Bárbara Martins; COSTA, Fernanda Vieira da; PINTO, Victor Diniz; et al. Forest–lake ecotones in a tropical forest: Terrestrial invertebrate inputs to lakes decrease with forest distance. *Freshwater Biology*, v. 67, n. 6, p. 1079–1090, 2022.

FOLGARAIT, Patricia J. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity & Conservation*, v. 7, p. 1221-1244, 1998.

GIBB, Heloise; PARR, Catherine L. How does habitat complexity affect ant foraging success? A test using functional measures on three continents. *Oecologia*, v. 164, p. 1061-1073, 2010.

GREENSLADE, P. J. M. et al. Some effects of vegetation cover and disturbance on a tropical ant fauna. *Insectes Sociaux*, v. 24, n. 2, p. 163-182, 1977.

GÓMEZ, Crisanto; ESPADALER, Xavier. Seed dispersal curve of a Mediterranean myrmecochore: influence of ant size and the distance to nests. *Ecological Research*, v. 13, p. 347-354, 1998.

HÖLLDOBLER, Bert; WILSON, Edward O. *The ants*. Harvard University Press, 1990.

HOFFMANN, Benjamin D.; ANDERSEN, Alan N. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology*, v. 28, n. 4, p. 444-464, 2003.

HORVÁTH, Anna; MARCH, Ignacio J.; WOLF, Jan HD. Rodent diversity and land use in Montebello, Chiapas, Mexico. *Studies on Neotropical fauna and environment*, v. 36, n. 3, p. 169-176, 2001.

LEAL, Inara R. et al. Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation*, v. 21, p. 1687-1701, 2012.

LENGYEL, Szabolcs et al. Convergent evolution of seed dispersal by ants, and phylogeny and biogeography in flowering plants: a global survey. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 12, n. 1, p. 43-55, 2010.

LIMA, Mônica H. C.; OLIVEIRA, Evandro G.; SILVEIRA, Fernando A. O. Interactions between Ants and Non-myrmecochorous Fruits in *Miconia* (Melastomataceae) in a Neotropical Savanna. *Biotropica*, v. 45, n. 2, p. 217–223, 2012.

LUISA, Bozzano G. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic press, 2012.

MEURANT, Gerard. The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics. [s.l.]: Academic Press, 2012.

MURCIA, Carolina. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in ecology & evolution, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

NESS, J. H. et al. Ant body size predicts dispersal distance of ant-adapted seeds: implications of small-ant invasions. Ecology, v. 85, n. 5, p. 1244-1250, 2004.

NIELSEN, Mogens Gissel. The biology and physiological adaptation of mangrove ants to tidal flooding. ASIAN MYRMECOLOGY, v. 15, 2022.

OLIVER, Tom H. et al. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. Trends in ecology & evolution, v. 30, n. 11, p. 673-684, 2015.

RAMEY, Tonya L.; RICHARDSON, John S. Terrestrial invertebrates in the riparian zone: mechanisms underlying their unique diversity. BioScience, v. 67, n. 9, p. 808-819, 2017.

RIES, Leslie et al. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 35, p. 491-522, 2004.

RISSER, Paul G. O status da ciência que examina os ecótonos: Um aspecto dinâmico da paisagem é a área de gradientes acentuados entre associações de vegetação mais homogêneas. BioScience , v. 45, n. 5, pág. 318-325, 1995.

SARTY, Megan; ABBOTT, Kirsten Lee; LESTER, Phillip J. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community. Oecologia, v. 149, p. 465-473, 2006.

SILVA, ILH et al. Respostas espaço-temporais de comunidades de formigas através de um gradiente de perturbação: o papel das características comportamentais. Insectes Sociaux , v. 66, p. 623-635, 2019.

SOUSA-SOUTO, LEANDRO; SCHOEREDER, Jose H.; SCHAEFER, Carlos EGR. Leaf-cutting ants, seasonal burning and nutrient distribution in Cerrado vegetation. Austral Ecology, v. 32, n. 7, p. 758-765, 2007.

TIMÓTEO, Sérgio et al. High resilience of seed dispersal webs highlighted by the experimental removal of the dominant disperser. Current Biology, v. 26, n. 7, p. 910-915, 2016.

WATSON, James EM et al. The exceptional value of intact forest ecosystems. Nature ecology & evolution, v. 2, n. 4, p. 599-610, 2018.

WHITE, O.S.& Jentsch, A. (2004). Disturbance, Succession and Community assembly in terrestrial plant communities. In: Assembly Rules and Restoration Ecology: Bridging the Gap Between Theory and Practice. (eds. Vicky, M., Temperton, R.J., Hobbs, T.N. & Stefan, H.). Island Press 528 pp.

WHITE, Peter S.; JENTSCH, A. N. K. E. Disturbance, succession, and community assembly in terrestrial plant communities. *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*, v. 5, p. 342, 2004.