



**PAULA GRANDI LEÃO COELHO**

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO SOLO EM REDE DE  
INTERAÇÕES FORMIGA-DIÁSPORO EM UMA ÁREA DE  
CERRADO**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**PAULA GRANDI LEÃO COELHO**

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO SOLO EM REDE DE INTERAÇÕES  
FORMIGA-DIÁSPORO EM UMA ÁREA DE CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Yasmine Antonini  
Orientadora

Dra. Fernanda Vieira da Costa  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Coelho, Paula Grandi Leão.

Impactos da degradação do solo em rede de interações  
formiga-diásporo em uma área de Cerrado / Paula Grandi Leão  
Coelho. - 2020.

57 p. : il.

Orientador(a): Yasmine Antonini Atibaiana.

Coorientador(a): Fernanda Vieira da Costa.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Mirmecocoria. 2. Redes de Interações. 3. Restauração. I.  
Antonini Atibaiana, Yasmine Antonini. II. Vieira da Costa,  
Fernanda Vieira. III. Título.

**PAULA GRANDI LEÃO COELHO**

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO SOLO EM REDE DE INTERAÇÕES  
FORMIGA-DIÁSPORO EM UMA ÁREA DE CERRADO**

**IMPACTS OF SOIL DEGRADATION ON ANT-DIASPORES INTERACTIONS  
NETWORKS IN A CERRADO AREA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais em Ecossistemas Fragmentados e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 de agosto de 2020.

Dr. André Jardim Arruda (UFMG)

Profa. Dra. Carla Rodrigues Ribas (UFLA)

Profa. Dra. Yasmine Antonini  
Orientadora

Dra. Fernanda Vieira da Costa  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2020**

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da realização da minha graduação em Biologia, e por me propiciar a estudar em uma universidade tão renomada e ao mesmo tempo estar inserida na minha cidade natal de Lavras. Agradecer ao Programa de Ecologia Aplicada, onde sempre foi meu sonho fazer uma pós-graduação, obrigada por todos os ensinamentos. Agradeço também ao meu país, que até o momento me proporcionou uma graduação e pós-graduação pública e de qualidade, já que uma pequena porcentagem da população brasileira possui esse privilégio.

À Cemig pela concessão da bolsa de estudo durante o Mestrado, agradeço também pelas diárias recebidas durante todos os trabalhos de campo e cursos, pelas realizações de Workshops onde pude apresentar meu trabalho para membros externos ao projeto, e ao apoio logístico durante a realização deste trabalho.

Agradeço imensamente à minha Orientadora Prof<sup>a</sup> Yasmine Antonini, por me tranquilizar e me oferecer uma oportunidade de receber uma bolsa durante todo o meu mestrado, em um projeto interdisciplinar (Projeto Fênix), me aceitando e abrindo as portas do Laboratório de Biodiversidade. Agradeço por sempre estar me orientando, me ouvir, me guiar, me acompanhar nos trabalhos de campo e me incentivar. Obrigada por me mostrar como é lindo viver em Ouro Preto, onde desde então vivo com meu companheiro.

À minha querida e amiga Coorientadora, Dra. Fernanda Costa que me ensinou como é lindo e ao mesmo tempo, complexo o mundo das formigas. Obrigada por me ajudar em todos os momentos profissionais e pessoais, como me aceitar como colega de casa nos meus primeiros meses em Ouro Preto, e por me apresentar a UFOP. Obrigada por me guiar e me ensinar como fazer todos os passos de uma escrita científica, por todos os ensinamentos das análises estatísticas, e por fim por ter me ensinado um outro olhar sobre as formigas.

À minha primeira Orientadora e amiga Prof<sup>a</sup>. Dulcinéia de Carvalho, por me inserir no espaço acadêmico e por sempre ter me apoiado e me ajudado em minhas escolhas, obrigada por sempre acreditar em mim e me mostrar a belíssima biologia molecular.

À Joelma por me coorientar durante todo o período da minha iniciação científica, na graduação e por sempre ter tido paciência comigo. Agradeço por ter me mostrado a relevância da leitura de artigos e por me ensinar como é importante ter paciência e cuidado com todos os trabalhos realizados em laboratório.

À minha turma de mestrado 2018/1 por todo o companheirismo e pelas trocas de conhecimento, obrigada por me apoiarem a ir para Ouro Preto, onde senti muita falta de toda

minha turma, principalmente de minhas amigas Olívia e Ana Tereza, que para sempre levarei a amizade junto comigo. Obrigada pelos meses intensos de muitas risadas e aprendizados.

Obrigada a todos os meus amigos do programa de Ecologia Aplicada, vocês me inspiraram e fizeram dos meus dias mais felizes enquanto estive em Lavras no meu mestrado.

À querida Ellen, secretária do programa em Ecologia Aplicada, por mesmo de longe sempre me atender como se eu estivesse presente, me esclarecendo todas as dúvidas possíveis sem deixar que eu me esquecesse de nada.

Obrigada Profa. Carla Ribas, por sempre me ajudar e me receber em sua sala quando tinha todas as dúvidas possíveis, como também ao referente sobre minha ida para Ouro Preto. Agradeço por sempre ter me ouvido e me ajudado em todas as questões.

Ao laboratório de Biodiversidade pela recepção e ajuda sempre, por ter sido minha segunda casa durante todo o meu mestrado quando me mudei para Ouro Preto, obrigada por me fazerem sentir uma estudante de pós-graduação da UFOP, obrigada pelas reuniões, pelo excelente espaço disponibilizado para a realização do meu trabalho, e por toda amizade.

À UFOP por me disponibilizar um espaço com toda estrutura para meus estudos e trabalhos.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Ecologia aplicada da UFLA e da Pós-graduação em Ecologia de Biomas Tropicais da UFOP, que foram extremamente importantes para o meu crescimento profissional em Ecologia.

À minha república Sinta Liga, pela amizade e convivência durante um ano em um mundo extremamente divertido, agradeço por me fazerem amar essa querida e amada Ouro Preto.

Ao projeto Fênix Emborcação, por me fazer membro desse lindo Projeto, e por me ensinar a entender melhor como é colocar em prática tudo aquilo que aprendi durante todos os meus estudos, obrigada por todos me propiciarem conhecimento que não achei em livros. Agradeço pela amizade, pelas ajudas nos trabalhos de campo, pelas risadas, pelos sufocos superados, agradeço em especial à Beatriz que foi minha ajudante em todos os trabalhos de campo, e por se tornar uma amiga. Obrigada por fazer dos meus campos uma viagem entre amigas e sempre ter me ajudado durante todo o mestrado.

Aos meus queridos e maravilhosos pais, por sempre terem sido muito participativos durante todos os meus estudos. Obrigada por acreditarem em mim e estarem sempre de corações e braços abertos para o que eu precisasse. Obrigada também pelo meu único e querido irmão que me inspirou sempre a seguir o caminho e a importância da educação em nossas vidas.

Agradeço a meu companheiro Tácio, por todos esses anos por estar sempre comigo, me apoiando, me incentivando, e me mostrando como a vida fica mais leve se for seguida com amor. Obrigada pelos ensinamentos profissionais e pessoais, e por todo o apoio e amor sempre.

Agradeço por fim, a todos os meus amigos e familiares por fazerem parte da minha vida e se interessarem sempre pelo meu trabalho.

E a Deus por todas as bênçãos!

À todos o meu muito obrigada.

## RESUMO GERAL

A degradação de ecossistemas leva à alteração da estrutura de comunidades biológicas pela substituição e perda de espécies. Essas mudanças podem alterar as funções ecossistêmicas desempenhadas pelas espécies que interagem no ambiente desempenhando diversas funções ecológicas. Formigas desempenham uma importante função ecológica que é a dispersão de diásporos (fruto mais semente) e elas podem ser utilizadas como modelos para entender como os impactos antrópicos alteram as funções e serviços ecossistêmicos. As análises em rede das interações planta-animal contêm informações biológicas valiosas para avaliar os impactos nas interações biológicas, pois ajudam a entender melhor os padrões de especialização dentro e através dessas redes. Esse estudo teve como objetivos: i) avaliar o impacto da degradação do solo na riqueza de espécies que interagiram com os diásporos, e no tempo e distância de remoção; ii) avaliar o impacto da degradação no solo na taxa de remoção de diásporos por formigas em área degradada e comparar com área referência (áreas naturais); iii) avaliar e comparar a estrutura das redes de interações entre área degradada e área de referência (frequência de interação, especialização, modularidade e robustez) iv) avaliar eficácia da remoção de diásporos entre as áreas. O experimento foi desenvolvido em área de Cerrado degradada devido a retirada do solo e área de referência. Através de observações focais, amostramos as espécies de formigas que interagiram com os diásporos, a frequência de interações formiga-diásporo, e a distância e tempo de remoção dos diásporos. Para avaliar a taxa de remoção mensuramos a porcentagem de diásporos artificiais removidos após 24 horas de exposição. Com as interações formiga-diásporos, montamos redes de interações para as diferentes áreas e avaliamos os efeitos das alterações no habitat na estrutura de interação e na eficácia da remoção de diásporos. Observamos que a frequência de interação e tempo de remoção foram maiores na área de referência. Porém a riqueza de espécies que interagiram com os diásporos, distância de remoção, assim como a taxa de remoção não diferiu entre as áreas. Observamos também que na área degradada, a estrutura da rede de interações é alterada, possuindo menor frequência de interação e espécies potencialmente dispersoras que se mostraram mais eficazes na remoção de diásporo em nosso experimento. Concluímos que as interações entre as formigas e diásporos são modelos interessantes para avaliar impactos antrópicos sobre funções e serviços ecossistêmicos. Além disso, formigas atuam como dispersores secundários eficazes como ferramenta auxiliar para restauração ambiental.

**Palavras-chave: Cerrado. Dispersão de sementes. Hidrelétricas. Mirmecocoria. Solo.**



## ABSTRACT

Degradation of ecosystems leads to changes in the structure of biological communities through the replacement and loss of species. These changes can alter ecosystem functions performed by distinct species that perform different ecological functions. Ants play an important ecological role, such as diaspores dispersion and they can be used as models to understand how anthropic impacts alter ecosystem functions and services. Network analyzes of plant-animal interactions contain valuable biological information to assess anthropogenic impacts on biological interactions, as they help to understand patterns of species interactions and functioning across environments. This study aimed to: i) evaluate the impact of soil degradation on the richness of species that interacted with diaspores, time and distance of diaspores removal; ii) evaluate the impact of soil degradation on the rate of diaspores removal; iii) evaluate if the structure of ant-diaspores networks vary between degraded areas and reference areas (frequency of ant-diaspore interactions, specialization, modularity and robustness); iv) evaluate the effectiveness of removing diaspores between areas. The study area, inserted in the Cerrado biome, suffered severe degradation due to soil removal. The experiment was developed in three degraded savanna areas and three reference areas, in order to verify the impact effect on interactions. Through focal observations, we sampled the species of ants that interacted with the diaspore, frequency of ant-diaspore interactions, distance and time of removal. To assess the removal rate, we measured the percentage of artificial diaspores removed after 24 hours of exposure at four points located in the degraded area and in four points at reference areas. With ant-diaspore interactions, we set up interaction networks for different areas and evaluated the effects of habitat changes on the interaction structure and the effectiveness of diaspore removal. We observed that the removal time were significantly higher in the reference area. However, the richness of species that interacted with the diaspores, as well as the removal rate and distance of removal, did not differ between areas. We also observed that in the disturbed area the structure of the interaction network is altered, having a lower frequency of interaction and composition by potentially dispersing species that are more effective in removing diaspores. We conclude that the interactions between ants and diaspores are interesting models for assessing anthropogenic impacts on ecosystem functions and services. In addition, ants act as effective secondary dispersers as an auxiliary tool for environmental restoration.

**Keyword: Cerrado. Hydroelectric. Mirmecocoria. Seed dispersal. Soil.**

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Localização da área de estudo, Catalão, Goiás Brazil. Imagem produzida por Fujaco, M. A. G. ....28
- Figura 2 Imagem das áreas com os transectos e os pontos amostrais. As formigas dos blocos da área degradada estão sendo apresentadas em preto e azuis, enquanto as formigas das áreas de referências estão apresentadas em amarelas e laranjas. Para a taxa de remoção foram utilizados todos os pontos de cada bloco da área degradada e das áreas de referências. Para a Observação focal utilizamos apenas os pontos em azul de cada bloco da área degradada e os pontos em laranja de cada área de referência. ....29
- Figura 3 Tempo de remoção ( $p=0.012$ ) dos diásporos na área degradada e referência. .36
- Figura 4 Frequência de interação ( $p<0.001$ ) das formigas com os diásporos na área degradada e de referência. ....38
- Figura 5 Rede de interações entre espécies de formigas e diásporos nos pontos de observação focal na área referência (Preserved) e área degradada (Degraded). Nos losangos estão as espécies de formigas que interagiram com os diásporos, nos círculos os pontos de registro das interações. As linhas representam os diferentes comportamentos (Interaction - interação, depulping - despolpamento e removal - remoção). A espessura da linha é proporcional à frequência da interação. Veja os nomes de espécies de formigas em anexo. ....40
- Figura 6 Eficácia de remoção de diásporos ( $ERD = Quantidade \times Qualidade$ ) de todas as espécies de formigas que interagiram com os diásporos na área de referência (A) e na área degradada (B). Os símbolos representam distintos grupos funcionais em que as espécies se enquadram. A definição dos códigos das espécies e símbolos dos grupos funcionais pode ser encontrada no anexo. ....42

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Espécies de formigas que interagiram com os diásporos artificiais na área degradada e referência com a frequência de interação para cada comportamento.  | 35 |
| Tabela 2 Resultados dos modelos lineares generalizados de efeitos mistos utilizados para testar a influência da degradação do solo na riqueza de espécies de formigas, no tempo, na distância de remoção, na taxa de remoção.....   | 37 |
| Tabela 3 Resultado do modelo misto generalizado (GLMMs) para a métrica de rede (frequência de interação) e os resultados dos modelos lineares generalizados (GLMs) para as métricas (especialização, modularidade e robustez). Utilizadas para testar se as métricas de redes de interações diferem entre área degradada e referência. .... | 39 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL .....                  | 13 |
| REFERÊNCIAS .....                         | 18 |
| SEGUNDA PARTE .....                       | 21 |
| ARTIGO .....                              | 21 |
| INTRODUÇÃO.....                           | 25 |
| MÉTODOS.....                              | 27 |
| Área de estudo .....                      | 27 |
| Desenho experimental .....                | 29 |
| Experimento de remoção de diásporos ..... | 30 |
| Experimento de observação focal.....      | 30 |
| Análises estatísticas .....               | 31 |
| RESULTADOS .....                          | 35 |
| DISCUSSÃO.....                            | 43 |
| AGRADECIMENTOS .....                      | 47 |
| REFERÊNCIAS .....                         | 48 |
| ANEXO .....                               | 54 |

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Esse estudo fez parte da Proposta de Plano de Trabalho desenvolvimento de projeto de pesquisa referente ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Cemig Geração e Transmissão S/A 2017. Com a finalidade de encontrar Estratégias Para Acelerar a Sucessão Ecológica em Áreas Degradadas no Entorno da UHE-Emborcação: Serviços Ecológicos Executados Por Animais, em Favor da Restauração Ambiental”. Tendo como objetivo geral, propor e testar novas técnicas de recuperação de áreas degradadas, utilizando novas tecnologias e visando à instalação de ilhas de sucessão ecológica utilizando a fauna como fonte de espécies colonizadoras, no âmbito da UHE Emborcação.

Com o desenvolvimento da sociedade humana, estudos sobre as alterações ambientais decorrentes das atividades antrópicas e mediação desses impactos têm sido cada vez mais frequentes. Entender como os impactos antrópicos alteram a estrutura das comunidades é de fundamental importância para que se possa, posteriormente, propor medidas para reduzir seus efeitos ou mesmo revertê-los (SANTOS, 2004). Os impactos antrópicos causados por atividades do setor de mineração, agropecuário, hidrelétrico, silvicultural, dentre outros, provocam alterações em ecossistemas naturais, alterando a composição e a atividade de suas comunidades biológicas, tornando esse assunto de extrema importância, principalmente em relação ao efeito sobre as funções ecológicas desempenhadas pela biodiversidade (MONTROYA et al., 2012).

A busca por energia no Brasil teve um impacto direto sobre os ecossistemas naturais e para cada tipo de fonte de energia, tem-se um impacto diferente. A energia hidráulica, ou hidrelétrica, é uma das maiores fontes perpétuas ou renováveis de energia, correspondendo, em 2006, a 17% de todas as fontes renováveis de energia no mundo (CAILLÉ et al., 2007). Com a busca do desenvolvimento econômico houve uma pressão para a exploração dos recursos naturais, sendo que a geração de energia pelas hidrelétricas foi impulsionada em todo mundo a partir dos anos 1930 (SNEDDON, 2015) e na década de 1970, já havia mais de cinco mil grandes barragens construídas em todo o mundo (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2000).

No Brasil, o estímulo para a construção de barragens, alterou severamente as paisagens naturais, mudou estruturas produtivas, alterou habitats, deslocou milhares de pessoas e lançou um processo de uso intenso do solo nessas áreas, seguido pela

degradação ambiental (OLIVEIRA, 2018). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel (DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005), para a construção de uma hidrelétrica é imprescindível a contratação da chamada indústria da construção pesada, que ocasiona a degradação do solo. Segundo Barreto (2005), a construção de hidrelétricas envolve grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra, até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na estrutura do solo e na paisagem.

O desenvolvimento econômico a qualquer custo deixou um legado ruim, na forma de extensas áreas degradadas. Essas áreas não possuem mais a capacidade de repor a perda inerente da biodiversidade, matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa e estoque de propágulos (BROWN; LUGO, 1994). Ou seja, a degradação é verificada quando elementos naturais, como fauna, flora, solo e corpos d'água, sofrem alterações. Atualmente, o cenário não é mais o mesmo, devido a pressão para reduzir esses impactos, na qual, os impactos causados pelas empresas geradoras de energia vêm ganhando cada vez mais importância (DEGANI, 2003).

A construção de usinas hidrelétricas gerou um enorme passivo ambiental, pela degradação de ecossistemas naturais para a retirada de terra (chamadas de áreas de empréstimo) usada no alteamento das barragens. Isto ocasionou intensos impactos ambientais sobre a qualidade do solo e da água nas áreas de influência direta e indireta desta atividade (HEIZ, 2002). Os trabalhos de execução de grandes barragens de terra no Brasil, anteriores a década de 1980, não previram a recuperação de áreas de extração de argila, causando consideráveis impactos ambientais em locais com agentes erosivos atuantes – especialmente os agentes relacionados às precipitações intensas (FONSECA, 2003)

O Artigo 225 da Constituição Federal de 1988 trata especificamente dos principais aspectos relativos ao meio ambiente. O parágrafo segundo desse artigo é claro ao estabelecer obrigatoriedade - para aquele que explorar os recursos minerais - de recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (MORAES, 2002). Desta forma, a retirada total ou parcial da cobertura florestal e camadas de solo, ocasionam a degradação dos solos através dos processos de erosão e empobrecimento (SÁ et al., 1994). Segundo Fonseca et al. (2001),

para a recuperação dessas áreas, é necessária a adoção de políticas ambientais visando a recuperação da diversidade, funções e serviços ecossistêmicos uma vez degradados.

A recuperação ambiental tem como objetivo a reativação da dinâmica natural da comunidade local e, de modo geral, consiste na reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para reestabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente (GRIFFITH, 1986). Nos ambientes altamente degradados, onde as condições do meio abiótico (e.g., estrutura do solo) e biótico (e.g., fauna e flora) não são capazes de se auto recuperarem, é necessária a intervenção humana para a sua recuperação (FERREIRA; FERREIRA, 2008). Sendo assim, avaliar o nível do impacto ambiental nas comunidades biológicas é fundamental para propor estratégias para minimizar os distúrbios, efeitos negativos e otimizar os processos de recuperação ambiental (MCINTYRE; LAVOREL, 1994).

Nesse contexto, a degradação do solo pela construção de hidrelétricas pode ter efeitos indiretos em diversos organismos, como por exemplo, os insetos que são muito abundantes, sensíveis às mudanças ambientais e ao mesmo tempo desempenham importantes funções ecossistêmicas (FELIX et al., 2010). Dentre os insetos, as formigas são os organismos preferencialmente utilizados nesses trabalhos, pois possuem alta abundancia, ampla distribuição, sensibilidade a perturbações e facilidade na amostragem (HOLLDOBLER; WILSON, 1990, RIBAS et al., 2012). Esses insetos sociais desempenham importantes funções ecossistêmicas sendo consideradas engenheiras dos ecossistemas, principalmente por atuarem na estruturação e desenvolvimento do solo e vegetação, podendo atuar na ciclagem de nutrientes, aeração do solo, dispersão de diásporos (frutos mais semente, que contém a unidade de dispersão – o embrião) (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002), predação e controle biológico de insetos agrícolas (MORRIS et al., 2015). Além disso, as formigas são boas bioindicadoras de qualidade de habitat e fornecem inferências confiáveis sobre as implicações ecológicas e funcionais dos distúrbios (RIBAS et al. 2012).

Além disso, as formigas estão entre os animais com maior diversidade no mundo, e em sua dieta possuem uma grande variedade de itens alimentares, inclusive de origem vegetal como néctar, exsudatos e diásporos (HÖLLDOBLER; WILSON 1990). Elas estão entre os animais que mais rapidamente descobrem, utilizam e dispersam os diásporos caídos ao solo (PIZO; OLIVEIRA 1998).



De fato, os vertebrados - em especial as aves - são os principais dispersores de diásporos nos ecossistemas neotropicais (JORDANO, 2000), mas ao manipularem e consumirem os frutos, podem deixá-los cair em proximidade das plantas-mãe, como também os regurgitar ou defecar. Assim, predadores de diásporos ou dispersores secundários podem reorganizar a distribuição espacial desses diásporos manipulados pelos vertebrados, afetando seu destino final (GUERRA., et al 2018). Desta forma, frequentemente as formigas interagem com os diásporos ou com fezes de outros animais dispersores primários (GUERRA., et al 2018). Os diásporos dispersos por formigas (processo conhecido como mirmecocoria) possuem estruturas associadas aos diásporos, como o elaiossomo e o arilo, que atraem formigas não-granívoras (CICCARRELI et al., 2005). Essa estrutura contém compostos químicos de alta qualidade nutricional, tais como proteínas e lipídios (GOMEZ et al., 2005).

Ao interagir com esses diásporos, as formigas podem aumentar o sucesso reprodutivo das plantas, uma vez que ao manusearem-no, o elaiossomo muitas vezes é removido, podendo resultar em escarificação e liberação de compostos antimicrobianos (OLIVEIRA et al., 1995, OHKAWARA 2005). Desta forma, as formigas podem reduzir a mortalidade dos diásporos e das mudas pois podem remover e enterrá-los longe da planta-mãe (diminuindo a competição com a mesma), promover a proteção contra incêndio, ou colocá-los em locais ricos em nutrientes (por exemplo, seus ninhos), aumentando sua taxa de germinação e estabelecimento (O'DOWD; HAY 1980; PASSOS; OLIVEIRA 2002).

A mirmecocoria vem sendo descrita como importante função ecossistêmica nos Neotrópicos, especialmente em áreas de cerrado (CHISTIANINI; OLIVEIRA 2010, VAZ FERREIRA., et al 2011, RABELLO., et al 2014, GUERRA et al., 2018, ANJOS., et al 2020, ARRUDA et al., 2020). Plantas comumente encontradas no Cerrado como, *Xylopia aromatica*, *Mabea fistulifera*, *Ocotea pulchella*, *Cabranea canjerana*, e *Virola oleífera*, que possuem frutos carnosos ou endosperma ricos que atraem os animais, podem ser dispersor por formigas (RIBAS et al., 2018), cuja dispersão primária é realizada por vertebrados (GOTTSBERGER; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, 1983), porém esses ambientes estão sujeitos a episódios recorrentes de fogo ( OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 2002, COSTA et al., 2018). Esses fatores fazem do Cerrado um local onde dispersão secundária pode conferir algumas vantagens para a planta, uma vez que as formigas estão sempre presentes nesses ambientes (OLIVEIRA-FILHO; RATTER 2002). Segundo

Chistianini e Oliveira (2010), além da dispersão primária por aves, as formigas podem interagir com os diásporos e dispersa-los primariamente através de fatores abióticos como gravidade ou vento, na qual, os diásporos caem no chão e são dispersos por elas. Assim, estudos que consideram interações formigas-diásporos são o primeiro passo para avaliar o verdadeiro papel das formigas no sucesso reprodutivo das plantas e como essas interações também podem beneficiar as colônias de formigas (ANJOS et al. 2018).

O estudo de rede de interações ecológicas pode acrescentar evidências de que essas interações podem ser úteis para monitorar mudanças ambientais, tais como impactos antrópicos (ARRUDA et al. 2020, COSTA et al., 2018) ou até mesmo distúrbios naturais (LESSARD, 2019). Assim, as análises de redes de interações ecológicas são amplamente utilizadas para se avaliar a estrutura e o funcionamento das funções e serviços ecossistêmicos (OKUYAMA; HOLLAND, 2008), pois fornecem evidências de como os distúrbios podem remodelar as interações entre espécies, como exemplo, interações entre formigas e diásporos de plantas (ARRUDA et al. 2020).

O próximo capítulo dessa dissertação explora a mirmecocoria como um processo ecológico que pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas. Nesse estudo, tivemos como objetivo verificar como a degradação do solo para a construção de uma usina hidrelétrica em uma área de Cerrado afetou as interações entre formigas e diásporos. Para tal, testamos se o impacto ambiental afetou as interações formiga-diásporo que possivelmente seriam negativamente afetadas pelas alterações na estrutura do habitat, i.e., estudamos se a riqueza de formigas que interagem, despolpam e/ou removem diásporos, a distância, o tempo de remoção, e a taxa de remoção de diásporos se alteram com as mudanças nas áreas impactadas. Avaliamos também se os efeitos do impacto ambiental alteram a estrutura das redes de interação formiga-diásporo usando métrica de redes, como: frequência de interação, especialização, modularidade e robustez; e se a eficácia da dispersão de diásporos entre distintas espécies de formigas difere entre áreas degradadas e referência.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, D.; DATTILO, W.; DEL-CLARO, K. **Unmasking the architecture of ant–diaspore networks in the Brazilian Savanna**. PloS one, v. 13, n. 8, 2018.
- ARRUDA, A. J.; COSTA, F. V.; GUERRA, T. J.; JUNQUEIRA, P. A.; DAYRELL, R. L.; MESSEDER, J. V.; ... SILVEIRA, F. A. **Topsoil disturbance reshapes diaspore interactions with ground-foraging animals in a megadiverse grassland**. Journal of Vegetation Science, 2020.
- BARRETO, IMCB do N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sergipe: Sinduscon, 2005.
- CAILLÉ, A.; AL-MONEEF, M.; DE CASTRO, F. B.; BUNDGAARD-JENSEN, A.; FALL, A.; DE MEDEIROS, N. F.; ... TEYSSEN, J. **Survey of energy resources**. World Energy Council, 2007.
- CHRISTIANINI, A. V.; OLIVEIRA, P. S. **Birds and ants provide complementary seed dispersal in a neotropical savanna**. Journal of Ecology, v. 98, n. 3, p. 573-582, 2010.
- CICCARELLI, D.; ANDREUCCI, A. C.; PAGNI, A. M.; GARBARI, F. **Structure and development of the elaiosome in *Myrtus communis* L.(Myrtaceae) seeds**. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, v. 200, n. 4, p. 326-331, 2005.
- COSTA, F. V.; BLÜTHGEN, N.; VIANA-JUNIOR, A. B.; GUERRA, T. J.; DI SPIRITO, L.; NEVES, F. S. **Resilience to fire and climate seasonality drive the temporal dynamics of ant-plant interactions in a fire-prone ecosystem**. Ecological Indicators, v. 93, p; 247-255, 2018.
- DE ENERGIA ELÉTRICA, QUE CELEBRAM A. **Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL**. Abril de, 2005.
- DEGANI, C.M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2003.
- FÉLIX, M; ALMEIDA, C. E; FREIRE, N. M. S.; COSTA, J. **Insetos: uma aventura pela Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2010.
- FERREIRA, G. L. B. V.; FERREIRA, N. B. V. **Exploração minerária e a recuperação de áreas degradadas**. Âmbito Jurídico, v. 11, n. 51, p. 1-4, 2008.
- FONSECA, C; RIBEIRO, J. F; SOUZA, C. C; REZENDE, R. P; BALBINO, V. K. **Recuperação da vegetação de matas de galeria: estudo de caso no Distrito Federal e entorno**. In: RIBEIRO, JF; FONSECA, CEL; SILVA, JCS. (Ed..) **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina: Embrapa Cerrados**, p. 815-870, 2001.
- FONSECA, E.M.B.; de Rezende, R. M.; Rezende, A. P. S.; de Oliveira Furtado, G.; Bonatti Filho, M., & Coelho, A. T. **Implantação do projeto de recuperação de área degradada da área de empréstimo da UHE de Emborcação–Rio Paranaíba/MG-GO**. XXV Seminário Nacional De Grandes Barragens, 2003.

- GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação**. Viçosa: UFV, 1986.
- GOMEZ, C.; ESPADALER, X. **Ant behavior and seed morphology: a missing link of myrmecochory**. *Oecologia*, v. 146, p. 244–246, 2005.
- GOTTSBERGER, G.; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I.L. **Dispersal and distribution in the cerrado vegetation of Brazil**. *Sonderbd. Naturwiss. Ver. Hamburg*, v. 7, p. 315-352, 1983.
- GUERRA, T. J.; MESSEDER, J. V.; ARRUDA, A. J.; FUZESSY, L. F.; DAYRELL, R. L.; NEVES, F. S.; SILVEIRA, F. A. **Handling by avian frugivores affects diaspore secondary removal**. *PloS one*, v. 13, n. 8, p. e0202435, 2018.
- HEINZ, J.H. III CENTER FOR SCIENCE; ECONOMICS; THE ENVIRONMENT. **Dam removal: Science and decision making**. H. John Heinz III Center for Science Economics and Environme, 2002.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. 1990. **The ants**. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge. p.732 , 1990.
- JORDANO, P; SCHUPP, E. W. **Seed disperser effectiveness: the quantity component and patterns of seed rain for *Prunus mahaleb***. *Ecological monographs*, v. 70, n. 4, p. 591-615, 2000.
- LESSARD, J.P. **Ant community response to disturbance: A global synthesis**. *Journal of Animal Ecology*, v. 8, n. 3, p. 346-349, 2019.
- MCINTYRE, S.; S. LAVOREL. **Predicting richness of native, rare, and exotic plants in response to habitat and disturbance variables across a variegated landscape**. *Conserv. Biol.* v.8, p.521–531, 1994.
- MONTOYA, D.; ROGERS, L.; MEMMOTT, J. **Emerging perspectives in the restoration of biodiversity-based ecosystem services**. *Trends in ecology & evolution*, v. 27, n. 12, p. 666-672, 2012.
- MORAES, L. C. S. **Curso de Direito Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2002.
- MORRIS, J. R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. **A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities**. *PLoS ONE*. v.10: e0142850, 2015.
- O'DOWD D. J.; HAY M.E. **Mutualism between harvester ants and a desert ephemeral: seed escape from rodents**. *Ecology*. v. 61, p.531–540, 1980.
- OHKAWARA K.; AKINO T. **Seed cleaning behavior by tropical ants and its anti-fungal effect**. *J Ethol.* v.23, p.93–98, 2005.
- OKUYAMA, T.; HOLLAND, J.N. **Network structural properties mediate the stability of mutualistic communities**. *Ecology Letters*, v. 11, n. 3, p. 208-216, 2008.

OLIVEIRA P.S.; GALETTI M.; PEDRONI F.; MORELLATO L.P.C. **Seed cleaning by *Mycocepurus goeldii* ants (Attini) facilitates germination in *Hymenaea courbaril* (Caesalpinaceae).** *Biotropica*. v.27, p.518–522. 1995.

OLIVEIRA, N. C.C. **A grande aceleração e a construção de barragens hidrelétricas no Brasil.** *Varia Historia*, v. 34, n. 65, p. 315-346, 2018.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. **Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna,** p. 91-120, 2002.

PASSOS L.; OLIVEIRA P.S. **Ants affect the distribution and performance of seedlings of *Clusia criuva*, a primarily bird-dispersed rain forest tree.** *J Ecol*. v. 90, p.517–528, 2002.

PIZO, M. A.; OLIVEIRA, P. S. **Interactions between ants and seeds of a nonmyrmecochorous neotropical tree, *Cabralea canjerana* (Meliaceae), in the Atlantic forest of southeast Brazil.** *American Journal of Botany*. v. 85, p.669–674, 1998.

RABELLO, A. M.; DE OLIVEIRA BERNARDI, L. F.; RIBAS, C. R. **Testing an artificial aril as a new ant-attractant.** *Revista Biociências*, v. 20, n. 1, 2014.

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, 2012.

RIBAS, C. R.; RABELLO, A.; QUEIROZ, A.; LASMAR, C.; DOMINGOS, D.; SILVA, E.; ... FEITOSA, R. **Cartilha para avaliação de impactos ambientais e reabilitação de áreas degradadas baseada em comunidade de formigas e suas interações com plantas.** Lavras: Ed. UFLA, 2018.

SÁ, I. B.; FOTIUS, G.A.; RICHÉ, G.R. **Degradação ambiental e reabilitação natural no trópico semi-árido brasileiro.** In: Conferência Nacional E Seminário Latino-Americano Da Desertificação, Fortaleza. Anais ... Fortaleza, p. 260-275, 1994.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004.

SNEDDON, C. **Concrete revolution: large dams, Cold War geopolitics, and the US Bureau of Reclamation.** Chicago: University of Chicago Press, 2015.

VAZ, F. A.; BRUNA, E. M.; VASCONCELOS, H. L. **Seed predators limit plant recruitment in Neotropical savannas.** *Oikos*, v. 120, n. 7, p. 1013-1022, 2011.

WORLD COMMISSION ON DAMS (Ed.). **Dams and development: a new framework for decision-making.** London: Earthscan, 2000.

**SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO**

*Versão preliminar para Restoration Ecology*

**ARTIGO**

**IMPACTOS DA DEGRADAÇÃO DO SOLO EM REDE DE INTERAÇÕES  
FORMIGA-DIÁSPORO EM UMA ÁREA DE CERRADO**

Paula G.L. Coelho<sup>1</sup>; Fernanda V. Costa<sup>2</sup>; Yasmine Antonini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Departamento de Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, Brasil, paulagrandi@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais, Departamento de Biodiversidade Evolução e Meio Ambiente, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, Brasil, costa.fvc@gmail.com

<sup>3</sup>Departamento de Biodiversidade Evolução e Meio Ambiente, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto- MG, Brasil, antonini@ufop.edu.br

## RESUMO

As formigas atuam como importantes agentes na remoção de diásporos pós-dispersão em habitats naturais e degradados, porém, devido aos impactos antrópicos, esses serviços desempenhados por elas, veem sendo afetados. Nesse estudo, avaliamos o efeito da retirada completa da vegetação e de camadas do solo sobre as interações entre formigas e diásporos. Testamos se riqueza, tempo de remoção, distância de remoção e taxa de remoção seriam afetados negativamente pela degradação do solo. Além disso, testamos se a estrutura das redes de interações varia entre área degradada e referência, e se a eficácia da remoção de diásporos nessas áreas difere. O experimento foi desenvolvido em áreas de Cerrado degradadas devido a retirada do solo e áreas de referências. Através de observações focais, amostramos as espécies de formigas que interagiram com os diásporos artificiais, frequência de interações (interação, despolpamento e/ou remoção), distância e tempo de remoção. Para avaliar a taxa de remoção mensuramos a porcentagem de diásporos artificiais removidos após 24 horas de exposição em pontos situados na área degradada e área referência. Com as interações formiga-diásporos, montamos redes de interações e avaliamos os efeitos das alterações no habitat na estrutura dessas redes e na eficácia da remoção de diásporos. Registramos um total de 25 espécies de formigas interagindo com os diásporos. Não houve diferença na riqueza de espécies que interagiram com os diásporos nem na distância de remoção, mas observamos um maior tempo de remoção na área de referência. A taxa de remoção foi similar entre as áreas, sendo alta em ambas (Média 99%) e tendo os invertebrados como principais removedores. Para as métricas de rede, apenas a frequência de interação variou entre as áreas, sendo observadas maiores frequência de interação formiga-diásporo na área de referência. As métricas de rede (especialização, modularidade e robustez) mostram a similaridade na estrutura espacial das formigas ao forragearem os diásporos em ambas as áreas, mas havendo uma variação nas espécies potencialmente removedoras de diásporos e na qualidade dessas interações. Observamos que a degradação do solo altera as espécies potenciais para a remoção de diásporos, pois encontramos espécies altamente eficazes na remoção de diásporos (ERD) na área degradada, devido a frequência de visitas das formigas aos diásporos e o número de diásporos removidos por elas, mostrando a importância dessas espécies muito frequentes nessas áreas, podendo remover e levar os diásporos para seus ninhos. Com isso, este estudo pode contribuir para a compreensão dos efeitos dos impactos ambientais nos serviços ecossistêmicos e sua utilização em planos de recuperação de áreas degradadas devido a eficiência de espécies eficazes na dispersão de diásporos na área degradada e devido a estrutura espacial do arranjo das formigas nessas áreas ao forragearem com os diásporos, serem semelhantes à da área referência.

Palavras-Chaves: Cerrado. Degradação. Mirmecocoria. Redes de Interações. Restauração.



## ABSTRACT

Ants act as important agents in removing post-dispersion diaspores in natural and degraded habitats, however, due to anthropic impacts, these services performed by them, are being affected. Anthropogenic impacts generate changes in the natural ecosystems and affect different ecosystem services, such as the secondary dispersion of diaspores by ants. In this study, we evaluated the effect of complete removal of vegetation and soil layers on the interactions between ants and diaspores. We tested whether wealth, removal time, removal distance and removal rate, would be negatively affected by soil impact. Additionally, we tested whether the structure of interaction networks and the effectiveness of removing diaspores varies between degraded and natural areas. The study area, inserted in the Cerrado biome, suffered degradation due to intense soil and vegetation removal. The experiment was developed in three degraded savanna areas and three reference areas (natural). Through focal observations, we sampled the species of ants that interacted with artificial diaspores, frequency of interactions (including ant behavior towards the resource, i.e., interaction, depulping and/or removal), distance and removal time. To assess the removal rate, we measured the percentage of artificial diaspores removed after 24 hours of exposure at four points located in the degraded area and four at reference area. With ant-diaspore interactions, we built interaction networks and evaluated the impact effects on the structure of interaction networks and on the effectiveness of diaspores removal. We recorded a total of 25 species of ants interacting with the diaspores. There was no difference in the richness of species that interacted with the diaspores, we observed a longer removal time in the reference area, however the removal distance did not vary between areas. The removal rate was similar between areas, with a high removal rate in both areas (99% average), wherein invertebrates represent the main dispersers. When analyzing network structure, only the frequency of interaction varied between areas, with higher frequency of ant-diaspore interaction being observed in the reference area. The network metrics (specialization, modularity and robustness) showing the similarity in the ants' spatial structure when foraging with diaspores in both areas. Additionally, we observed a variation in the composition of species that effectively remove diaspores and in the quality of these interactions. Our results indicate that soil degradation alters the potential dispersers. We find species highly effective dispersers in the degraded area, showing the importance of these some ant species in the regeneration of degraded area. With this, this study can contribute to the understanding of the negative effects of environmental impacts on biodiversity and ecosystem services. Moreover, we highlight the use of biological tools (i.e., effective dispersers) in recovery plans for degraded area.

Keywords: Cerrado. Degradation. Network. Myrmecocory. Restoration.

## INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pela expansão das atividades antrópicas podem afetar negativamente as comunidades biológicas e funções ecossistêmicas (Montoya et al. 2012). Uma das ações antrópicas mais impactantes à integridade dos ecossistemas é a implantação e o funcionamento de Centrais Hidrelétricas que alteram severamente as paisagens naturais (Oliveira & Zhouri 2007). Essas atividades afetam de forma direta e indireta a estrutura do habitat, devido ao comprometimento da camada fértil do solo e poluição de rios, causando o desaparecimento da flora e da fauna natural do local (Majer 2009) como os insetos, que são muito comuns em ambientes ripários, e extremamente sensíveis a mudanças ambientais. Dentre os insetos, as formigas que desempenham diversas funções e serviços ecossistêmicos, também podem ter suas atividades afetadas pela degradação desses ambientes (Felix 2014).

Invertebrados, como as formigas, são altamente resistentes à perturbação do habitat (Rico Gray et al. 2007; Anjos et al. 2017; Andersen 2018) e, por isso, podem exercer um efeito desproporcional na demografia de espécies vegetais que ocorrem em ambientes degradados com baixa diversidade de vertebrados. A dispersão de diásporos por formigas é extremamente relevante no cenário atual de declínio das populações de vertebrados em áreas degradadas (Anjos et al. 2020). A dispersão desses diásporos por formigas, a mirmecocoria, é um mutualismo no qual as formigas adquirem alimento, através do elaiossoma (apêndice nutritivo da semente-diásporo) e as plantas têm seus diásporos dispersos por elas (Ciccarrelli et al. 2005). As formigas podem alterar a deposição de diásporos realizada por dispersores primários ou que caem diretamente da planta-mãe (Robert & Heithaus 1986), favorecendo as taxas de germinação e o recrutamento dessas plantas (Gallegos et al. 2014).

Em ecossistemas que os diásporos são limitados, ou que a dispersão por vertebrados é baixa devido à diminuição de sua diversidade, a dispersão secundária de diásporos por formigas pode ser de fundamental importância para o recrutamento de plântulas tornando seu estudo relevante na busca de recuperação de áreas degradadas (Christianini & Oliveira 2010, Angotti et al. 2018, Anjos et al. 2020). Dessa forma, a dispersão de diásporos pode ser uma estratégia fundamental para regeneração de áreas degradadas no Cerrado (Christianini & Oliveira 2010). Além disso, as formigas são de grande importância no destino de pequenos diásporos caídos no chão da savana (Leal & Oliveira 1998; Passos & Oliveira 2002, 2004).

Assim, as formigas podem desempenhar um papel ecológico importante, podendo estar envolvidas numa diversidade de funções ecossistêmicas (Costa et al. 2016), tornando as interações formigas-plantas úteis para monitorar mudanças ambientais, como impactos antropogênicos ou naturais, onde ocorrem muitas interações complexas (Costa et al. 2018). Compreender como os impactos ambientais afetam os serviços ecossistêmicos providos por animais, tais como as formigas, é de suma importância para se traçar estratégias de recuperação de áreas degradadas (Santos et al. 2014). Através do estudo de redes ecológicas, podemos entender os padrões e processos que emergem das interações animal-plantas, nos ajudando a compreender o funcionamento das funções ecológicas das espécies nesses ambientes (Costa et al. 2016; Bueno 2017).

Alguns estudos mostram que o aumento da complexidade da estrutura da vegetação pode afetar positivamente a assembleia de formigas (Majer et al. 1984, Rabello et al. 2018, Ribas et al. 2012) refletindo assim na perda da diversidade de formigas quando esses ambientes são alterados em relação a vegetação (Sorrells & Warren 2011). Isto pode afetar, por sua vez, os serviços ecossistêmicos desempenhados pelas formigas, como a dispersão de diásporos, que favorecem o recrutamento de plantas (Leal 2003).

Nesse estudo, tivemos como objetivo verificar como a degradação do solo para a construção de uma usina hidrelétrica em uma área de Cerrado afetou as interações entre formigas e diásporos. Nesse contexto, esperamos que a riqueza, distância, tempo e taxa de remoção de diásporos sejam afetadas pelas alterações na estrutura do habitat. Esperamos também que a estrutura das redes de interações seja alterada pelo impacto, assim como a eficácia na remoção de diásporo promovido pelas formigas. Primeiramente, testamos se as interações formiga-diásporo (i.e., riqueza de formigas que interagem, despolpam e/ou removem diásporos, distância de remoção, tempo de remoção e taxa de remoção de diásporos) seriam negativamente afetadas pelo impacto do empreendimento. Por fim, exploramos os efeitos do impacto ambiental na estrutura das redes formiga-diásporo (frequência de interações, especialização, modularidade e robustez) e na eficácia da remoção de diásporos por distintas espécies de formigas.

## MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma área de cerrado localizada na área de empréstimo da UHE de Emborcação (188584 m E, 7959445 m S), localizada no município de Catalão- Goiás, no distrito de Pedra Branca. A região de estudo está inserida predominantemente no domínio Cerrado, apresentando as fitofisionomias de cerrado stricto-sensu, campos limpos, cerradões e as matas ciliares do rio Parnaíba e seus afluentes (Scolforo et al. 2008). Segundo Silva et al. (2008), o Cerrado é composto por um mosaico de vários tipos de vegetação e a determinação da sua distribuição está relacionada aos resultados da diversidade do solo associado a topografia e ao clima da região. As áreas referências da região do estudo são caracterizadas pelo predomínio do cerrado “lato sensu”, com ocorrência de enclaves de Floresta Estacional, as quais encontram-se quase sempre circundadas por áreas campestres destinadas ao pastoreio.

A área degradada estudada sofreu intensa alteração da paisagem pela remoção da vegetação e de camadas de solo, dos horizontes A B e C (área de empréstimo) para a construção de uma barragem de usina hidrelétrica (Usina de Emborcação, construída em 1977 no município de Araguari- MG, rio Paranaíba, entre os estados de Minas Gerais e Goiás). Na área de empréstimo, devido a retirada do solo, com o passar do tempo, a ação intensiva do escoamento das águas pluviais e ausência de cobertura vegetal provocaram a instalação de diversos processos erosivos gerando uma severa degradação da área (Fonseca et al. 2003). Posteriormente, em novembro/2001 foi iniciado o plantio de 33.000 mudas de espécies arbóreas, como: *Andropogon gayanus*, *Melinis minutiflora*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, *Pennisetum purpureum*, *Cajanus cajan*, *Callopogonium mucunoides*, *Mucuna pruriens*, *Neonotonia wightii*, *Schinus terebinthifolia*, *Astronium urundeuva*, *Handroanthus albus*, *Handroanthus impetiginosus*, *Trema micranta*, *Anadenanthera colubrina*, *Clitoria fairchildiana*, *Enterolobium gummiferum*, *Inga sessilis*, *Inga vera*, *Machaerium opacum*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Peltogyne confertiflora*, *Guazuma ulmifolia*, *Luehea divaricata*, *Cedrela fissilis*, *Ficus carica*, *Eugenia uniflora*, *Psidium guajava*, *Syzygium cumini*, *Genipa americana*, *Cecropia pachystachya*. Essas espécies foram plantadas em ilhas distribuídas ao longo da área degradada de 220 ha, com objetivo de recuperação ambiental da área de empréstimo da UHE de Emborcação. Porém, o projeto exercido pela empresa COAME Engenharia, sob coordenação da Gerência de Programas e Ações Ambientais – GE/PA, da CEMIG,

não obteve sucesso, e atualmente a vegetação é caracterizada por uma cobertura de gramíneas e com baixa densidade de árvores espaçadas (observação pessoal), sendo as espécies presentes na área de empréstimo, através de levantamento florístico realizado em 2018/2019: *Anadenanthera colubrina*, *Brosimum gaudichaudii*, *Byrsonima verbascifolia*, *Curatella americana*, *Enterolobium gummiferum*, *Inga laurina*, *Machaerium opacum*, *Peltogyne confertiflora*, *Rudgea viburnoides*, *Solanum lycocarpum*, *Stryphnodendron Adstringens*, *Tachigali vulgaris*, *Tapirira guianensis* (Nascimento in prep). No entorno da área de empréstimo degradada (nomeada atualmente como área do Plano de recuperação de áreas degradadas- PRAD) existem alguns fragmentos de floresta semidecidual e manchas de cerrado *sensu strictu* (Fig 1).

De forma geral a textura do solo tende a ser mais argilosa, principalmente na área degradada, e possui um solo mais heterogêneo devido a variação no seu horizonte (Figueiredo, in prep.). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, apresentando invernos secos e verões chuvosos (Alvares et al. 2014). O total médio de chuva no mês mais seco fica em torno de 60 mm e no mês mais chuvoso em torno de 250 mm, tendo um total anual médio entre 1.500 e 1.600 mm (Klink & Machado 2005).

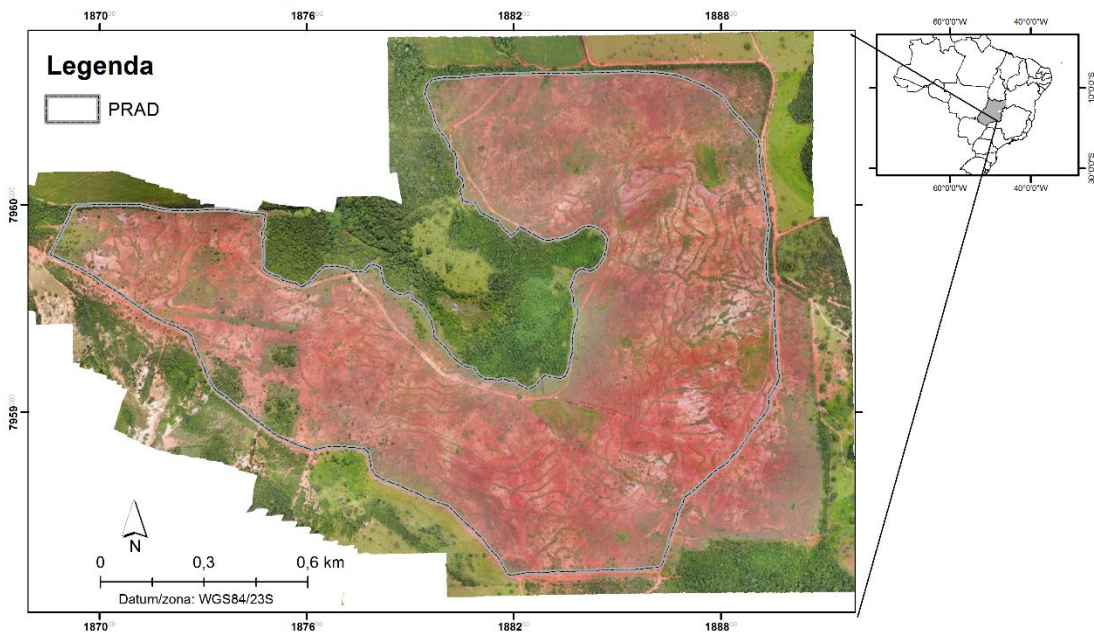


Figura 1 Localização da área de estudo, Catalão, Goiás Brazil. Imagem produzida por Fujaco, M. A. G.

## Desenho experimental

As amostragens em campo foram realizadas em três distintas campanhas (janeiro e agosto de 2019 e janeiro de 2020) períodos que correspondem a estação chuvosa e seca. A região do PRAD (área degradada) foi dividida em três blocos (sendo o bloco 1 distante 1km do bloco 2 e 1,2 km do bloco 3, e este 1 km do bloco 2) na qual, em cada um deles instalou-se três transectos de 90 metros equidistantes 30 metros entre si. Em cada transecto foram estabelecidos quatro pontos distantes 30 metros entre si, totalizando 12 pontos em cada bloco. Nesses pontos amostrais foram feitos experimentos de observação focal e remoção de diásporos. O mesmo desenho foi estabelecido em três áreas de cerrado (sendo a área de referência 1 distante 1,4 km da área de referência 2 e 2,8 km da área de referência 3, e está 1,8 km da área de referência 2) consideradas como referência na qual foram feitos os mesmos experimentos (Fig 2).

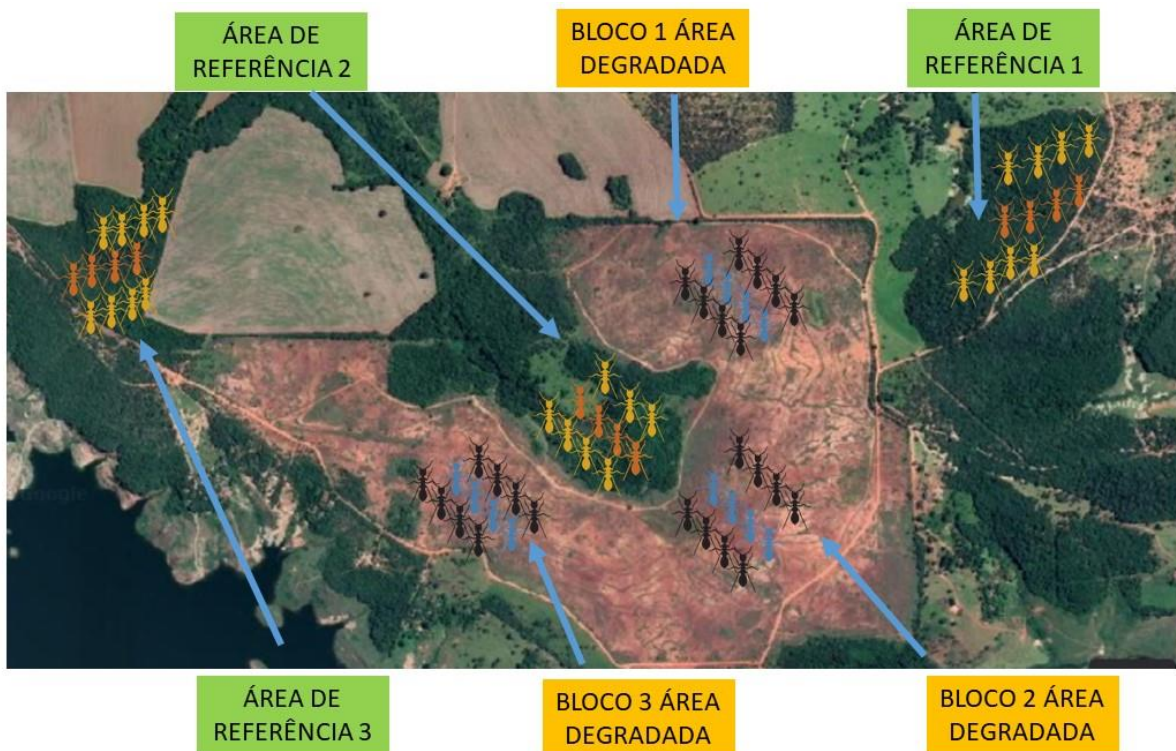


Figura 2 Imagem das áreas com os transectos e os pontos amostrais. As formigas dos blocos da área degradada estão sendo apresentadas em preto e azuis, enquanto as formigas das áreas de referências estão apresentadas em amarelas e laranjas. Para a taxa de remoção foram utilizados todos os pontos de cada bloco da área degradada e das áreas de referências. Para a Observação focal utilizamos apenas os pontos em azul de cada bloco da área degradada e os pontos em laranja de cada área de referência.

### **Experimento de remoção de diásporos**

Para a realização do experimento foram utilizados diásporos artificiais (Henao-Gallego et al., 2012, Bieber et al., 2014, Rabello et al., 2015) para a simulação de diásporos naturais. Esses diásporos têm sido usados para avaliar as interações formigas-diásporos por serem considerados uma alternativa ao uso de diásporos naturais, devido à sua conveniência e confiabilidade, além de poderem reduzir problemas com a coleta de dados devido à escassez de diásporos naturais nas áreas de estudo (Angotti et al. 2018).

Os diásporos artificiais foram preparados utilizando-se miçangas de plástico de 0,03 g e 2 mm de diâmetro envolvidas por uma massa atrativa (75% gordura vegetal hidrogenada, 4,8% de frutose, 0,5% de sacarose, 4,7% glicose, 7% caseína, 3% carbonato de cálcio, 5% de maltodextrina). Essa massa artificial representa o arilo (elaiossoma), porção nutritiva do diásporo e frutos carnosos que atraem as formigas (Raimundo et al. 2004, Bieber et al. 2014, Rabello et al. 2014).

Foram demarcados três transectos em cada área degradada, (90 m cada transecto) distantes entre si (30 m), com quatro pontos amostrais em cada transecto (30 m distantes entre si), o mesmo foi aplicado para a área de referência. Em cada ponto amostral montamos uma estação experimental pela manhã do dia, que continha um conjunto de diásporos artificiais (n=20) dispostos sobre uma estrutura de papelão (4 x 4 cm) sobre o solo (Pizo & Oliveira 2000, Passos & Oliveira 2003), permitindo o acesso de vertebrados e invertebrados frutívoros. Paralelamente, a um metro de distância instalamos outra estação experimental, a qual foi protegida de vertebrados por uma gaiola de tela (17 × 17 × 8 cm) com arame fixado ao solo (Christianini & Oliveira 2009). Após 24 horas de exposição a potenciais dispersores, registramos o número de diásporos removidos e calculamos as taxas de remoção em ambas as áreas. Consideramos como taxa de remoção a porcentagem dos diásporos removidos de cada estação experimental, calculamos a razão entre o número de diásporos totais (20) e o número de diásporos removidos pelas formigas. Essa taxa pode variar de 100% de remoção quando o número de diásporos restantes for igual a zero ou 0% de remoção quando o número for igual a 20.

### **Experimento de observação focal**

Para o experimento de observação focal, utilizamos um transecto de cada área degradada e um de cada área de referência, (Fig 2). Em cada ponto amostral instalamos uma estação experimental com 20 diásporos artificiais sobre um papelão (4 x 4 cm).

Durante 30 minutos observamos, durante o dia (entre 7 horas e 16 horas) o comportamento de interação das formigas com os diásporos. Assim, definimos três tipos de comportamento: *interação*, que consiste quando a formiga se alimenta da porção carnosa sem transportar o diásporo para outro local; *despolpamento*, que consiste na retirada de uma porção da parte carnosa do diásporo e o transporte dessa parte para um outro local; e *remoção*, que consiste na retirada do diásporo da fonte para outro local (Arruda et al. 2020). Além disso, durante as observações registramos a riqueza de espécies, através da coleta com pinça de todas as espécies de formigas que interagem com os diásporos, frequência de interação de cada espécie de formiga (sendo considerada o número de visitas de diferentes indivíduos de cada espécie ao diásporo), o tempo ( que corresponde ao tempo em que a formiga leva para retirar o diásporo da fonte até o seu destino final com o diásporo- quando a formiga larga/e ou leva o diásporo para o ninho) e a distância de remoção (sendo a formiga com diásporo, seguida para a observação e marcação do local onde ela depositou o diásporo, e posteriormente, medimos essa distância com fita métrica, do percurso que a formiga fez com o diásporo até o local de sua deposição). .

As formigas coletadas foram armazenadas em álcool 70%, e posteriormente, montadas para serem identificadas. A identificação até gênero foi realizada no Laboratório de Biodiversidade da Universidade Federal de Ouro Preto, com o auxílio da chave de Baccaro et al. (2015). Para a identificação ao menor nível taxonômico (espécie), as formigas foram levadas para a Universidade Federal de Minas Gerais, e comparadas com as coleções lá existentes.

### **Análises estatísticas**

Para testar se as interações formiga-diásporo são afetadas pela degradação do solo usamos modelos lineares generalizados de efeitos mistos (GLMMs, função *lmer* para dados com distribuição normal e *glmer* para dados não normais, utilizando os pacotes *lme4* (Bates et al. 2011) e *nlme* (Pinheiro et al. 2017). Em cada modelo, a área de estudo (degradada- versus referência) e para certificar se a remoção estava sendo feita pelos invertebrados, utilizamos o tratamento (exclusão de vertebrados versus controle) como variáveis explicativas de efeito aleatório, a fim de englobar as observações espacialmente estruturadas em cada área (Bates et al. 2014). Em todos os modelos testamos as



distribuições de erros apropriadas para cada variável resposta, por meio de análises de resíduos (Crawley 2013), com um intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 5\%$ ).

Para testarmos a hipótese de que a degradação afetaria negativamente a riqueza de espécies que interagiram com os diásporos (Todas as interações: Interação, despoltamento e remoção), o tempo e a distância de remoção de diásporos, essas variáveis foram inseridas nos GLMMs como variáveis respostas e o tipo de área (Degradada vs. Referência) como variável preditora de efeito fixo. Para testar se o impacto ambiental afeta a taxa de remoção de diásporos construímos GLMM nos quais a taxa de remoção de diásporos foi a variável resposta e as áreas (Degradada vs. Referência) e o tratamento (exclusão de vertebrados vs. controle) foram inseridas como variáveis explicativas de efeito fixo.

Para avaliar se a estrutura das redes de interação difere entre área degradada e referência construímos matrizes quantitativas considerando todos os eventos de interação que ocorreram entre formigas e diásporos. As métricas de rede foram calculadas usando o pacote *bipartite* para R (Dormann et al. 2008).

Assim, as matrizes continham as espécies de formigas que interagiram com os diásporos em cada transecto, totalizando três redes de interações para a área degradada (uma rede para cada bloco) e três para a área de referência (uma rede para cada área). Cada linha da matriz correspondeu a um ponto amostral e cada coluna correspondeu à espécie de formiga que interagiu com os diásporos artificiais em cada ponto amostral. As células, portanto, foram preenchidas com o número de eventos observados entre uma espécie de formiga com os diásporos em um ponto amostral.

Posteriormente, calculamos quatro métricas de redes ecológicas que representam as variáveis dependentes: frequência de interação, especialização complementar  $H_2'$  (Blüthgen et al. 2008), modularidade (QuanbiMo, Dormann & Strauss 2014) e robustez (Dormann et al. 2009). Em nossas redes, consistente com outros estudos sobre interações formiga-planta (Costa et al., 2018), cada frequência de interação foi calculada com base na interação entre uma espécie animal com um diásporo individual.

A métrica frequência de interação é calculada com base na ocorrência de uma espécie de formiga em interação com o diásporo. O índice de especialização complementar ( $H_2'$ , Blüthgen et al. 2006) é derivado da diversidade de Shannon e é baseado no desvio da distribuição de probabilidade esperada das interações, a qual descreve a diversidade de interações, ou seja, quão uniformemente distribuídas as interações estão em uma rede

(Blüthgen et al. 2006, 2007). A modularidade (Q, Dormann & Strauss 2014) estima o grau em que grupos de espécies (por exemplo, formigas e diásporos) interagem mais entre si do que com espécies de outros grupos da rede (Olesen et al. 2007). Assim, no nosso estudo, alta modularidade representaria grupos de espécies de formigas que são espacialmente associadas a um conjunto específico de diásporos. Esse índice varia de 0 = sem subgrupos a 1 = subgrupos totalmente separados (Dormann & Strauss 2014). Por fim, a robustez (Dormann et al. 2009) foi calculada para avaliar a estabilidade das redes frente às possíveis extinções (remoção) de formigas que ocorreriam diante do impacto ambiental (Memmott et al. 2004). Assim, cada métrica foi ajustado como variável resposta e o tipo de local (degradada vs. natural) como variável preditora em modelos mistos generalizados (frequência de interação-GLMMs) e modelos lineares generalizados (Especialização, modularidade e robustez-GLMs).

Além disso, construímos uma rede multicamadas (software Pajek, Batagelj & Mrvar 1998) compreendendo todos os tipos de eventos registrados entre formigas diásporos, a fim de explorar como a degradação pode acarretar distintos padrões relacionados à qualidade da interação (Costa et al. 2016; Arruda et al. 2020). Portanto, cada camada de rede correspondia a um tipo distinto de associação formigas-diásporos, isto é, interação, remoção e despulpamento (ver Costa et al. 2016 para uma abordagem semelhante).

Para avaliar possíveis diferenças na eficácia na remoção de diásporos (ERD) por distintas espécies de formigas entre área degradada e referência, exploramos a eficiência de dispersão realizada por cada espécie de formiga em cada área (Schupp et al. 2010, 2017). Com isso agrupamos as espécies de formigas de acordo com seu grupo funcional (ver anexo na pág 55), sendo que cada grupo funcional recebeu um símbolo (cruz, círculo, estrela, losango, triângulo e/ou xis) para quando as espécies de formigas forem plotadas nos gráficos de acordo com os índices de eficácia de remoção de diásporos, ficarem evidentes seus grupos funcionais. Essa abordagem inclui um componente quantitativo e outro qualitativo, que combinados geram um índice de "eficácia de remoção de diásporos" (ERD):

$$ERD=QTC \times QLC$$

O componente quantitativo (QTC) correspondeu à frequência de interações entre cada espécie de formiga e todos os diásporos disponíveis em cada área. O componente qualitativo (QLC) correspondeu à frequência de diásporos removidos por cada espécie de formiga, considerando todos as observações registradas para cada tipo de área. Consideramos dispersores altamente eficazes aquelas espécies que apresentaram altos valores de ERD (altos valores quantitativos e qualitativos), dispersores pouco eficazes, aquelas espécies que apresentaram baixos valores de ERD (baixos valores quantitativos e qualitativos) e dispersores relativamente efetivos como aquelas espécies que tinham valores intermediários de ERD (baixos valores quantitativos e altos valores qualitativos ou altos valores quantitativos e baixos valores qualitativos) (Schupp et al. 2017).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team 2017) e as redes desenhadas no programa Pajek 4.09 (Batagelj & Mrvar 1998).

## RESULTADOS

Registramos um total de 25 espécies de formigas interagindo com os diásporos artificiais, pertencentes à cinco subfamílias e 10 gêneros (Tab 1). Myrmicinae foi a subfamília com o maior número de espécies (n=10), seguida por Formicinae (n=6), Ectatomminae (n=5), Ponerinae (n=3) e Dolichoderinae (n=1). Os gêneros com maior número de espécies foram *Pheidole* (28%, n= 7) e *Ectatomma* (16%, n=4).

Tabela 1 Espécies de formigas que interagiram com os diásporos artificiais na área degradada e referência com a frequência de interação para cada comportamento.

| Subfamília     | Espécies                       | Frequência de Interação |       |      |
|----------------|--------------------------------|-------------------------|-------|------|
|                |                                | Int.                    | Desp. | Rem. |
| Dolichoderinae | <i>Dorymyrmex brunneus</i>     | 41                      | 0     | 0    |
|                | <i>Ectatomma brunneum</i>      | 55                      | 10    | 26   |
| Ectatomminae   | <i>Ectatomma edentatum</i>     | 5                       | 3     | 6    |
|                | <i>Ectatomma opaciventre</i>   | 3                       | 16    | 43   |
|                | <i>Ectatomma permagnum</i>     | 12                      | 12    | 32   |
|                | <i>Camponotus crassus</i>      | 0                       | 11    | 0    |
| Formicinae     | <i>Camponotus lespesii</i>     | 1                       | 0     | 1    |
|                | <i>Camponotus</i> sp. 1        | 0                       | 0     | 1    |
|                | <i>Camponotus</i> sp. 2        | 1                       | 0     | 0    |
|                | <i>Camponotus</i> sp. 3        | 0                       | 0     | 1    |
|                | <i>Nylanderia</i> sp. 1        | 1                       | 0     | 0    |
|                | <i>Acromyrmex</i> sp. 1        | 0                       | 0     | 1    |
| Myrmicinae     | <i>Pheidole diligens</i>       | 118                     | 68    | 19   |
|                | <i>Pheidole flavens</i>        | 16                      | 4     | 0    |
|                | <i>Pheidole oxyops</i>         | 91                      | 37    | 24   |
|                | <i>Pheidole scolioceps</i>     | 4                       | 4     | 0    |
|                | <i>Pheidole</i> sp. 1          | 127                     | 60    | 39   |
|                | <i>Pheidole</i> sp. 2          | 30                      | 8     | 0    |
|                | <i>Pheidole subarmata</i>      | 0                       | 26    | 0    |
|                | <i>Sericomyrmex</i> sp. 1      | 2                       | 0     | 0    |
|                | <i>Sericomyrmex</i> sp. 2      | 1                       | 0     | 0    |
|                | <i>Wasmannia auropunctata</i>  | 0                       | 1     | 0    |
| Ponerinae      | <i>Dinoponera australis</i>    | 0                       | 1     | 0    |
|                | <i>Odontomachus chelififer</i> | 0                       | 1     | 0    |
|                | <i>Odontomachus meinerte</i>   | 0                       | 0     | 1    |

Legenda: Int: Interação, Desp: depolpamento e Rem: remoção

A hipótese que a degradação afetaria negativamente a riqueza de espécies que interagiram com os diásporos, não foi corroborada, não havendo diferença entre a área de referência e degradada ( $p=0.338$ , Tab 2), assim como não houve diferença na distância de remoção da fonte ( $p=0.438$ , Tab 2). O tempo que as formigas levaram para remover e deslocar os diásporos, por sua vez, foi duas vezes maior na área de referência do que na área degradada ( $p=0.012$ , Fig 3, Tab 2).

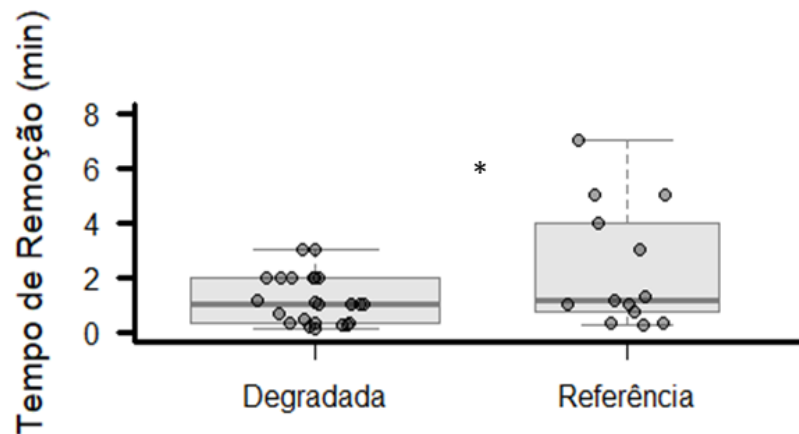


Figura 3 Tempo de remoção ( $p=0.012$ ) dos diásporos na área degradada e referência.

Não houve diferença na porcentagem de remoção de diásporos entre as áreas estudadas ( $p=0.660$ ), como também não houve diferença na porcentagem entre os tratamentos (exclusão de vertebrados x controle) ( $p=0.845$ ) (Tab 2), mas verificamos uma alta taxa de remoção de diásporos por formigas em ambas as áreas (média 98% na área degradada e 100% na área de referência) e tratamentos (média de 99% com exclusão de vertebrados e 99% no controle).

Tabela 2 Resultados dos modelos lineares generalizados de efeitos mistos utilizados para testar a influência da degradação do solo na riqueza de espécies de formigas, no tempo, na distância de remoção, na taxa de remoção.

| Variável Resposta<br>(distribuição de dados) |            | Variáveis preditoras de efeito fixo |             |               |                  |
|--|------------|-------------------------------------|-------------|---------------|------------------|
|  |            | Estimativa                          | Erro Padrão | Valor z       | P (> z )         |
| Riqueza<br>(Poisson)                         | Intercepto | <b>0.15</b>                         | <b>0.20</b> | <b>0.73</b>   | <b>0.46</b>      |
|  | Área       | <b>0.18</b>                         | <b>0.19</b> | <b>0.95</b>   | <b>0.33</b>      |
| Tempo de Remoção<br>(Poisson)                | Intercepto | <b>0.33</b>                         | <b>0.28</b> | <b>1.17</b>   | <b>0.24</b>      |
|  | Área       | <b>0.70</b>                         | <b>0.28</b> | <b>2.51</b>   | <b>0.01</b>      |
|  |            | Estimativa                          | Erro Padrão | Valor t       | p.z              |
| Distância de Remoção<br>(Gaussian)           | Intercepto | <b>2.16</b>                         | <b>0.28</b> | <b>7.56</b>   | <b>&lt;0.001</b> |
|  | Área       | <b>-0.41</b>                        | <b>0.34</b> | <b>-1.20</b>  | <b>0.43</b>      |
| Variável Resposta<br>(distribuição de dados) |            | Variáveis preditoras de efeito fixo |             |               |                  |
|  |            | Estimativa                          | Erro Padrão | Valor z       | P (> z )         |
| Taxa de Remoção<br>(Binomial)                | Intercepto | <b>-30.40</b>                       | <b>0.05</b> | <b>-56.17</b> | <b>&lt;0.001</b> |
|  | Área       | <b>0.03</b>                         | <b>0.07</b> | <b>0.44</b>   | <b>0.66</b>      |
|  | Armadilha  | <b>-0.01</b>                        | <b>0.06</b> | <b>-0.19</b>  | <b>0.84</b>      |

Observamos maiores frequências de interação (28%) na área de referência do que na área degradada ( $p < 0.001$ , Tab 3, Fig 4). Na área degradada 12 espécies de formigas interagiram com os diásporos, sendo as visitas das formigas aos diásporos com comportamento de interação 43,8%, remoção 29,8% e depolpamento 26,6. Grande parte das visitas (30,5%) foram feitas por *Ectatommma bruneum*, e o comportamento de interação com os diásporos, foi o comportamento mais frequente (34%) feito por essa espécie (Fig 5). Observamos que 18 espécies interagiram com os diásporos na área referência, sendo o comportamento de interação de 39,6%, depolpamento 25,7%, remoção 14,8%, com 20,2% das interações sendo realizadas por *Pheidole* sp.1 com o comportamento de interação sendo o mais frequente (34,8%) (Fig 5).

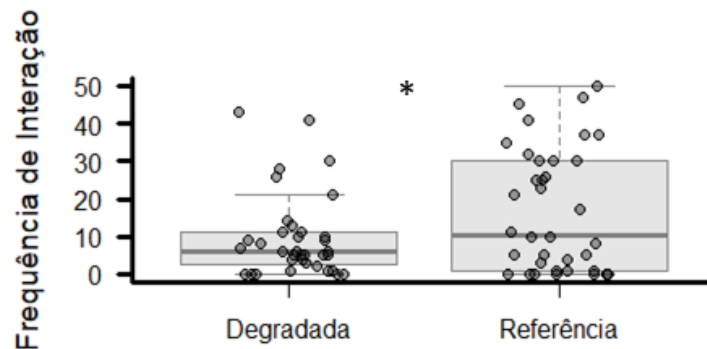


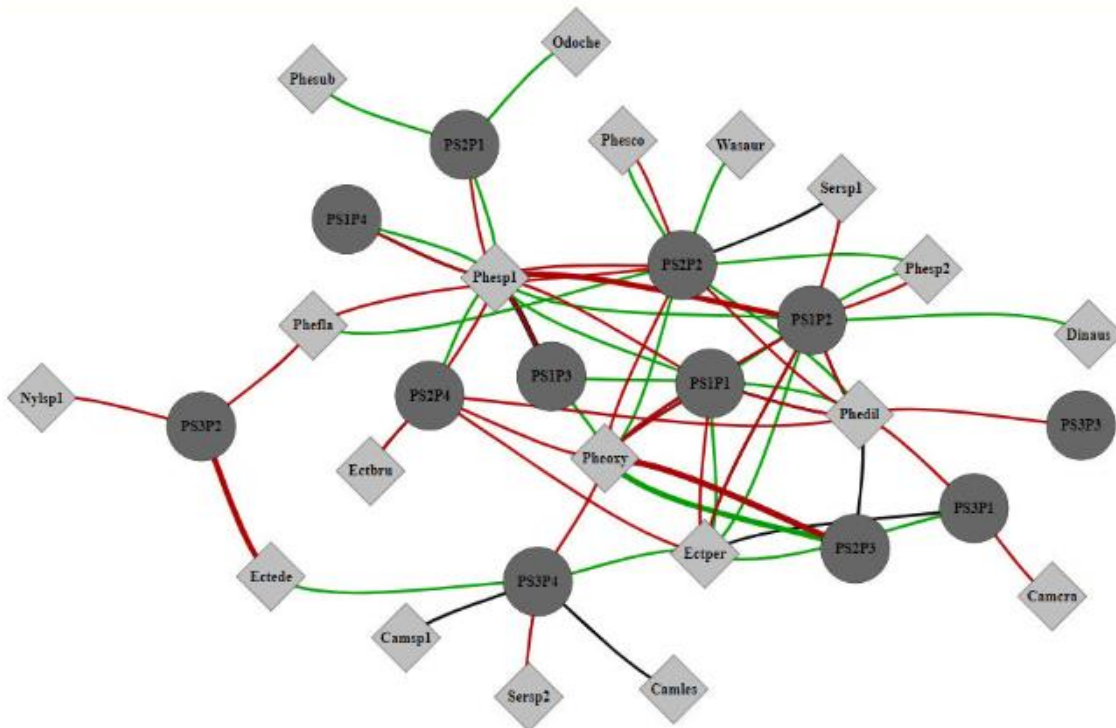
Figura 4 Frequência de interação ( $p < 0.001$ ) das formigas com os diásporos na área degradada e de referência.

A frequência de interações variou entre a área de referência e degradada ( $p < 0.01$ , Tab 3), enquanto as demais métricas não foram alteradas pelo distúrbio (Tab 3). Em geral, as redes apresentaram valores de  $H_2'$  baixos tanto na área de referência (média, 0,30) quanto na degradada (média, 0,33). Para a modularidade das redes, encontramos uma média de modularidade ( $Q$ ) de 0,38 na área de referência e 0,42 na área degradada. A robustez das redes da área degradada (media, 0,77) e referência (0,76) também não variou (Tab 3).

Tabela 3 Resultado do modelo misto generalizado (GLMMs) para a métrica de rede (frequência de interação) e os resultados dos modelos lineares generalizados (GLMs) para as métricas (especialização, modularidade e robustez). Utilizadas para testar se as métricas de redes de interações diferem entre área degradada e referência.

| Variável Resposta       |            | Variáveis Preditoras de Efeito Fixo |               |              |                  |               |               |
|-------------------------|------------|-------------------------------------|---------------|--------------|------------------|---------------|---------------|
|                         |            | Estimativa                          | Erro Padrão   | Valor z      | P (> z )         |               |               |
| Frequência de Interação | Intercepto | <b>3.403</b>                        | <b>0.500</b>  | <b>6.803</b> | <b>&lt;0.001</b> |               |               |
|                         | Área       | <b>0.563</b>                        | <b>0.066</b>  | <b>8.438</b> | <b>&lt;0.001</b> |               |               |
|                         |            | Df                                  | Desvio        | Resid. Df    | Resid. Dev       | F             | Pr(>f)        |
| Especialização          | NULL       |                                     |               | <b>5</b>     | <b>0.10726</b>   |               |               |
|                         | Área       | <b>1</b>                            | <b>0.0016</b> | <b>4</b>     | <b>0.1056</b>    | <b>0.0606</b> | <b>0.8177</b> |
| Modularidade            | NULL       |                                     |               | <b>5</b>     | <b>0.0936</b>    |               |               |
|                         | Área       | <b>1</b>                            | <b>0.0061</b> | <b>4</b>     | <b>0.0874</b>    | <b>0.2809</b> | <b>0.6242</b> |
| Robustez                | NULL       |                                     |               | <b>5</b>     | <b>0.0129</b>    |               |               |
|                         | Área       | <b>1</b>                            | <b>0.0006</b> | <b>4</b>     | <b>0.0123</b>    | <b>0.1951</b> | <b>0.6816</b> |

## Preserved





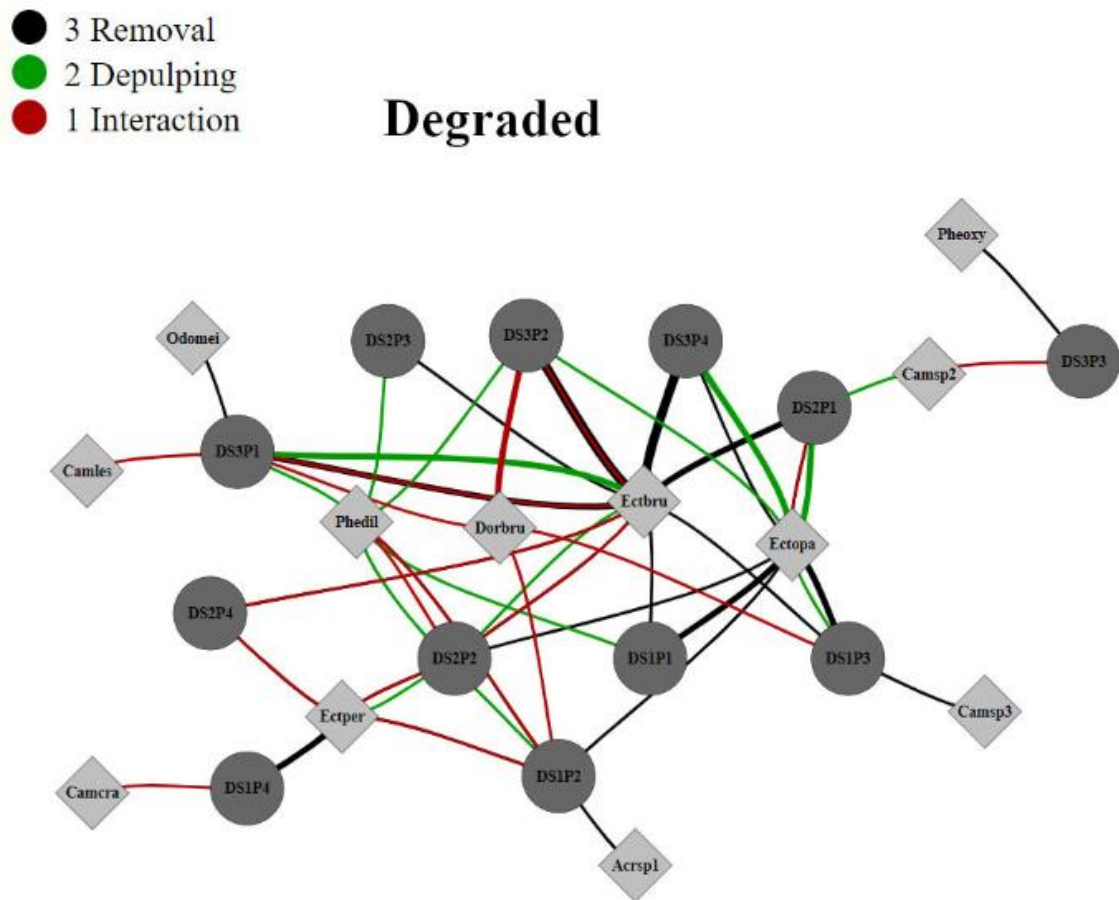


Figura 5 Rede de interações entre espécies de formigas e diásporos nos pontos de observação focal na área referênciada (Preserved) e área degradada (Degraded). Nos losangos estão as espécies de formigas que interagiram com os diásporos, nos círculos os pontos de registro das interações. As linhas representam os diferentes comportamentos (Interaction - interação, depulping - despolpamento e removal - remoção). A espessura da linha é proporcional à frequência da interação. Veja os nomes de espécies de formigas em anexo.

Verificamos que as áreas estudadas diferem com relação à eficácia das espécies de formigas em remover os diásporos (Fig 6 A e B). Nas áreas referênciadas, espécies do gênero *Pheidole* foram eficazes na remoção de diásporos. Apenas as espécies do gênero *Pheidole* como, *Pheidole subarmata* e *Pheidole scolioceps* não removeram os diásporos na área de referênciada. As demais espécies do gênero, como *Pheidole* sp. 1, *Pheidole oxyopes* e *Pheidole* sp. 2 (Média ERD= 630,9) foram eficazes na remoção de diásporos, apresentando alto valor para o componente qualitativo e quantitativo da área de referênciada (Fig 6 A). Por outro lado, espécies do gênero *Ectatomma* foram removedoras altamente eficazes na área degradada. Por exemplo, *Ectatomma brunneum* e *Ectatomma opaciventre* (Média ERD= 1.803,8) apresentaram alta eficácia na remoção de diásporos por terem uma alta frequência de interações e alta taxa de remoção de diásporo. *Ectatomma permagnum*

(ERD= 390) também se destacou na área degradada, sendo consideradas dispersoras relativamente eficaz. *Pheidole diligens* (ERD=97.5) apresentou altos valores no componente quantitativo, porém não foi eficiente no componente qualitativo, sendo considerada dispersoras pouco eficazes (Fig 6 B).

As demais espécies não aparecem na análise pois apresentaram valores muito baixos de EDR.

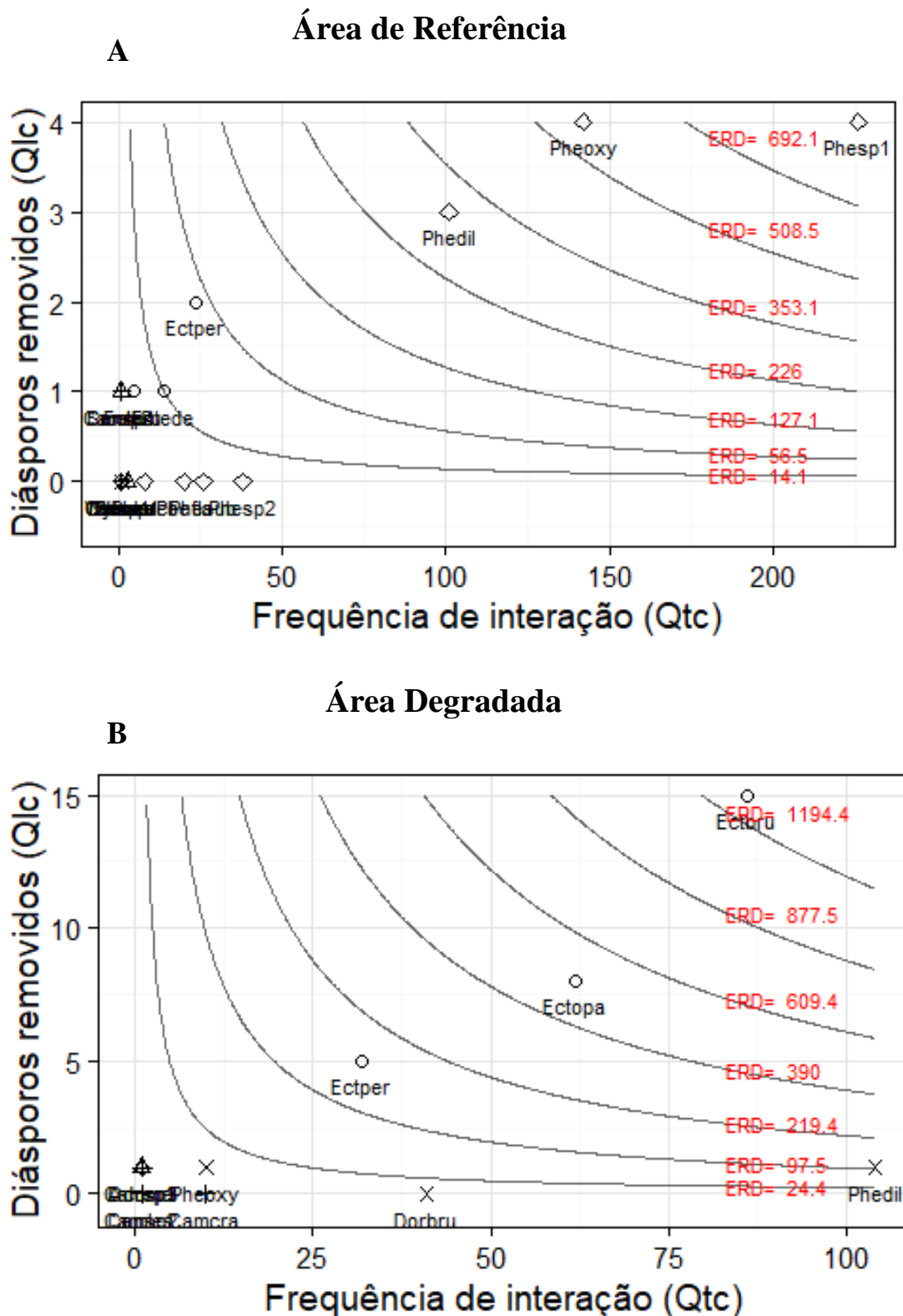


Figura 6 Eficácia de remoção de diásporos ( $ERD = \text{Quantidade} \times \text{Qualidade}$ ) de todas as espécies de formigas que interagiram com os diásporos na área de referência (A) e na área degradada (B). Os símbolos representam distintos grupos funcionais em que as espécies se enquadram. A definição dos códigos das espécies e símbolos dos grupos funcionais pode ser encontrada no anexo.

## DISCUSSÃO

Nesse estudo verificamos que a degradação de um habitat afeta as interações entre formigas e diásporos. Encontramos que a frequência de interações formiga-diásporo foi maior nas áreas referência, assim como o tempo de remoção dos mesmos para seus ninhos, quando as comparamos com as áreas degradadas. Além disso, observamos que a eficácia das formigas em remover os diásporos é diferente entre as áreas degradada e referência. Esse resultado é de extrema importância, pois demonstra a eficácia na remoção de diásporos por espécies de formigas que estão presentes na área degradada, sendo este um processo ecológico que pode auxiliar na regeneração de ambientes que sofrem distúrbios antrópicos.

Observamos que ambas as áreas possuem riqueza de formigas similar. Apesar dessa similaridade no número de espécies, encontramos na área degradada formigas do gênero *Dorymyrmex* em interação com os diásporos, essas formigas de solo são abundantes em climas quentes e ambientes abertos e com solos arenosos, também reportado por Costa et al. (2010) e Wide et al. (2015). Formigas do gênero *Ectatomma*, prevalentes na área degradada, de fato podem apresentar altas frequências de interação em áreas abertas e savânicas em substituição a formigas maiores e mais comuns em áreas florestais, tais como espécies da subfamília Ponerinae. Assim, *Ectatomma* pode desempenhar o papel funcional do principal dispersor de diásporos (Leal et al. 2014) e por isso estarem presentes em todos os pontos da área degradada do nosso estudo. A prevalência do gênero *Pheidole* na área referência, também encontrada em outros trabalhos como Ribas et al. (2003) e Brandão et al. (2011), corroboram o fato desse gênero ser reportado como bastante frequentes no solo e vegetação de áreas de Cerrado Brasileiro.

O tempo médio de remoção dos diásporos foi duas vezes maior na área referência se comparado à área degradada. Esse resultado pode estar relacionado com o comportamento de forrageamento das espécies mais abundantes em cada área. Na área de referência 57% da remoção dos diásporos foi realizada por espécies de porte pequeno, i.e. *Pheidole*, tornando-a central na rede de interações formigas-diásporos, resultado semelhante ao reportado por Anjos et al. (2018). Formigas mirmínicas como *Pheidole* possuem mandíbulas pequenas (Pizo et al. 2000) e, apesar de conseguirem transportar os diásporos para seus ninhos (Levey & Byrne 1993; Santamaria & Rodriguez-Girones 2007), levam mais tempo por forragearem em grupo, sendo necessário o recrutamento para que elas possam remover o diásporo. Ao contrário, nas áreas degradadas, 84% das remoções foram realizadas por espécies do gênero *Ectatomma*, que são formigas grandes que forrageiam individualmente (Leal et al. 2014), e dessa forma, gastam

um menor tempo no transporte desses diásporos para seus ninhos. Também observado por Rabelo (2017), apesar das características de cada espécime para remover o diásporo, observamos que o tempo de remoção tende a diminuir com a proximidade da fonte de recurso. Mostrando que talvez para o sucesso da remoção de diásporo por formigas o tempo de descoberta do recurso possa ser mais relevante do que o tempo gasto na remoção.

Não encontramos diferença nas distâncias de remoção entre as áreas degradadas e área de referência, mostrando que em ambas as áreas possuem espécies de gêneros que removem os diásporos a curtas e longas distâncias (0,5 m a 6 m. Média= 2,3 m). Deposições dos diásporos a longas distâncias possibilitam o melhor estabelecimento de regenerantes por estarem afastadas da planta-mãe (Fernandes et al. 2020), proporcionam uma dispersão direcionada aos ninhos onde o sucesso reprodutivo dos diásporos e plântulas é maior (Wenny 2001; Passos & Oliveira 2002, 2004; Giladi 2006). De fato, observamos que as formigas removeram os diásporos por distâncias que variaram de 0,5 m a 6 m (Média de 2,3 m), sendo esse espectro de variação de distância realizado tanto por espécies de tamanho corporal pequeno (e.g., *Pheidole*), quanto de grande tamanho corpóreo (e.g., *Ectatomma*). Essa alta variação nas distâncias, que não variou entre as áreas, mostra que as espécies removedoras de diásporos encontradas na área degradada estão sendo eficazes em realocarem os diásporos tanto quanto na área referência, mostrando como essas formigas estão realizando o processo de forma semelhante nas duas áreas. Outros estudos como Rabelo (2017) e leal (2003), encontraram o gênero *Ectattoma* removedores de alta qualidade, pelo tamanho de suas mandíbulas e pernas, removendo o diásporo a longas distâncias. Também concluído por Rabelo (2017), além da distância dos ninhos dos recursos a área de forrageamento, o comportamento de interferência de cada espécie também pode influenciar o comportamento das espécies de formigas como removedoras dos diásporos.

A taxa de remoção não variou entre as áreas e não variou entre o tratamento (exclusão de vertebrados x controle). De acordo com Christianini (2007) a similaridade na remoção de diásporos entre armadilhas com exclusão de vertebrados (gaiola) e armadilhas controles (sem gaiola) indicam que os níveis de predação e dispersão de diásporos por vertebrados e invertebrados pode ser similar. Além disso, uma vez que utilizamos diásporos artificiais pequenos, podemos sugerir que formigas e outros invertebrados pequenos, como por exemplo besouros, provavelmente são os principais dispersores secundários na área de cerrado estudada. De fato, alguns estudos demonstram que formigas possuem adaptações morfológicas para dispersar diásporos, sendo estas importantes agentes removedoras de diásporos (Handel &

Beattie 1990). Segundo Leal e Oliveira (1998), as formigas também são importantes agentes dispersores secundários para diversas espécies de plantas não mirmecocóricas. Assim, podem alterar a deposição de diásporos produzida pelos dispersores primários, influenciando o sucesso reprodutivo das plantas e a estrutura espacial das suas populações e comunidades vegetais (Robert & Heithaus 1986). As taxas de remoção de diásporo, foi elevada em ambas as áreas similares ou maiores que as taxas encontradas por Passos e Ferreira (1996), que trabalharam em região tropical, e superiores aos encontrados por Culver e Beattie (1978) e Horvitz e Schemske (1986) em regiões temperadas. Comparando os resultados encontrados com os dos autores já citados, pode-se prever que a taxa de remoção de diásporo parece aumentar nas regiões neotropicais, sendo uma explicação a alta diversidade de formigas nessas regiões, e apesar da degradação do solo, podemos concluir que as formigas presentes nessas áreas, são formigas que removem os diásporos em quantidade similar a área referência, devido à similaridade na riqueza dessas formigas em ambas as áreas.

Observamos também que a intensa degradação do solo afetou negativamente a frequência de interação das formigas com os diásporos. A remoção das camadas do solo causa grandes mudanças no seu perfil e acarreta na homogeneidade de recursos, levando a consequências drásticas para as formigas, afetando seu tamanho populacional, composição de espécies e a diversidade de ninhos (Hollec & Frouz 2005; Majer 2007). Ademais, de acordo com Wunderle (1997) áreas mais heterogêneas possuem uma maior diversidade de árvores com frutos atraentes para os animais dispersores primários e, portanto, terão taxas mais altas de chuva de diásporos do que as áreas sem essas características, como em áreas degradadas (Guerra et al. 2017). Assim, em áreas preservadas, as formigas interagem em maior frequência com os diásporos caídos de plantas, tendo maiores chances de interação nessas áreas comparadas com áreas degradadas.

Encontramos que as redes de interação formiga-diásporo na área degradada e de referência apresentam padrões semelhantes de especialização. A princípio, as redes formigas-diásporos parecem estar estruturadas pela disponibilidade de diásporos que foram oferecidos nos pontos (Oliveira & Marquis 2002; Belchior et al. 2012). Assim, o estudo mostra a semelhança na especialização das redes na área degradada e referência, devido ao recurso oferecido. Essa similaridade se torna importante uma vez que havendo diásporos disponíveis na área degradada, as formigas vão se organizar de maneira semelhante como fazem na área referência, podendo beneficiar essas áreas pela dispersão de diásporos para locais favoráveis ao seu recrutamento (ninhos). A semelhança na especialização das redes também foi

encontrada por Dattilo et al. (2019), sendo essa semelhança devido a, praticamente todas as espécies de formigas mais importantes (aqueles com um maior número de interações) são encontradas em todos os lugares e interagem de forma semelhante (Dáttilo & Guimarães, et al. 2013).

Encontramos uma modularidade mediana para as áreas estudadas, sendo a rede estruturada de forma similar em ambas as áreas, devido ao recurso oferecido - diásporo artificial - ser o mesmo recurso, e ser oferecido igualmente em todos os pontos de amostragem. Desta forma, as formigas se organizaram de forma similar para consumir e interagir com os diásporos, e por isso o forrageamento e a organização com o diásporo apresentou uma estrutura similar em ambas as áreas, não havendo módulos (grupos) definidos pelas espécies.

A robustez das redes foi similar entre a área degradada e referência mostrando mais uma vez que apesar das diferenças na frequência e qualidade das interações, aparentemente ambas possuem a mesma estabilidade frente a possíveis perdas de espécies de formigas. Assim, a alta diversidade de interações realizadas pelas formigas pode aumentar sua estabilidade sobre algumas condições flutuantes em ambas as áreas.

Descobrimos que a quantidade e a qualidade da remoção secundária de diásporos podem variar bastante entre espécies os ambientes, apoiando a ideia de que perturbações no solo podem atingir espécies específicas (Roselli, 2014). Na área degradada a espécie *Ectatomma brunneum* foi classificada como removedora altamente eficiente. A presença do gênero *Ectatomma* na área degradada de cerrado mostra o quanto esse gênero parece ser altamente tolerante à perturbação da remoção do solo, corroborando com estudos de Leal et al. (2014) e Anjos et al. (2018). O gênero *Ectatomma* inclui espécies epigeias predadoras generalistas que frequentemente estão associadas à dispersão secundária de diásporos, também confirmados por Pratt (1989) Delabie et al (2007) e Leal et al. (2014), removendo-os a distâncias relevantes da fonte, podendo assim, serem consideradas como filtro para o recrutamento de plantas nessas áreas tão inóspitas.

As espécies de formigas consideradas removedoras eficientes na área de referência abrangem gêneros de formigas bem representados no cerrado, como *Pheidole*. Apesar de serem espécies granívoras e potencialmente predadoras, essas espécies prestam serviços ecológicos importantes para essas áreas, principalmente em períodos críticos, podendo auxiliar no recrutamento de plântulas através das remoções dos diásporos para locais que podem favorecer sua germinação, resultados semelhantes foram encontrados por Christianini & Oliveira (2009) e Guerra et al. (2018)

Nossos resultados fornecem evidências de como os distúrbios no solo podem alterar as interações dos diásporos com os animais que forrageiam no solo. Estudos de redes de interação formigas-diásporos que exploram distintos comportamentos das espécies potenciais removedoras de diásporo são importantes para entender o verdadeiro papel dos dispersores no sucesso reprodutivo das plantas e, conseqüentemente, na regeneração de áreas degradadas. Observamos por exemplo, a importância de determinados removedoras (i.e., espécies do gênero *Ectatomma*) para a possível recuperação de áreas degradadas. Em resumo, nossas descobertas contribuem para o conhecimento atual de como as formigas podem atuar na distribuição e desempenho de mudas de espécies vegetais em áreas de cerrado. Os próximos passos devem ser feitos com diásporos naturais para que possamos acompanhar o estabelecimento e recrutamento dessas plantas em áreas degradadas do Cerrado e auxiliar as práticas tradicionalmente utilizadas para a restauração de áreas intensamente degradadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Esse estudo faz parte do projeto: “Estratégias para acelerar a sucessão ecológica em áreas degradadas no entorno da UHE Emborcação: Serviços ecológicos em favor da restauração ambiental” (GT 0602) financiado pela CEMIG. Coelho PGL agradece à Cemig pela concessão da bolsa recursos para o desenvolvimento do projeto. Costa FV, agradece à CAPES e YA agradece ao CNPq pelas bolsas de pesquisa. Agradecemos ao Flávio Siqueira de Castro pela ajuda na identificação das formigas e Beatriz Vilhena Parreiras pela ajuda nos trabalhos de campo. Agradecemos também toda equipe do projeto Fênix Emborcação e do Laboratório de Biodiversidade (UFOP) pelo espaço de trabalho e auxílio.



## REFERÊNCIAS

- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711-728.
- Andersen AN (2018) Responses of ant communities to disturbance: five principles for understanding the disturbance dynamics of a globally dominant faunal group. – *J. Anim. Ecol* 88: 350–362
- Anjos D, Campos R, Campos R, Ribeiro S (2017) Monitoring effect of fire on ant assemblages in Brazilian rupestrian grasslands: contrasting effects on ground and arboreal fauna *Insects* 8: 64
- Anjos D, Dáttilo W, Del-Claro K (2018) Unmasking the architecture of ant–diaspore networks in the Brazilian Savanna. *PloS one* 13(8): e0201117
- Anjos DV, Leal LC, Jordano P, Del-Claro K (2020) Ants as diaspore removers of non-myrmecochorous plants: a meta-analysis. *Oikos*.
- Angotti MA, Rabello A, Santiago G, Ribas, C (2018) Seed removal by ants in Brazilian savanna: optimizing fieldwork. *Sociobiology* 65(2):155-161
- Arruda AJ, Costa FV, Guerra TJ, Junqueira PA, Dayrell R, Messeder JV, ... Silveira FA (2020) Topsoil disturbance reshapes diaspore interactions with ground-foraging animals in a megadiverse grassland *Journal of Vegetation Science*.
- Baccaro FB, Feitosa RM, Fernández F, Fernandes IO, Izzo TJ, Souza JL, Solar R (2015). *Guia para os gêneros de formigas do Brasil*. Manaus: Editora INPA: 176-178
- Bascompte J, Jordano P, Melián CJ, Olesen JM (2003) The nested assembly of plant – animal mutualistic networks. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 100: 9383 – 9387
- Batagelj V, Mrvar A (1998) Pajeka program for large network analysis. *Connections* 21: 47–57
- Bates D, Machler M, Bolker B, Walker S (2014) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Drug Information Journal* 35: 1215–1225
- Belchior C, Del-Claro K, Oliveira PS (2012) Seasonal patterns in the foraging ecology of the harvester ant *Pogonomyrmex naegeli* (Formicidae, Myrmicinae) in a Neotropical savanna: daily rhythms, shifts in granivory and carnivory, and home range. *Arthropod-Plant Inte* 6: 571–582
- Bieber AG, Silva PSD, Sendoya SF, Oliveira P.S (2014) Assessing the impact of deforestation of the Atlantic Rainforest on ant-fruit interactions: a field experiment using synthetic fruits. *Plos One* 9: e90369
- Blüthgen N (2010) Why network analysis is often disconnected from community ecology: a critique and an ecologist's guide. *Basic Appl. Ecol* 11, 185–195.

Blüthgen N, Menzel F, Blüthgen N (2006) Measuring specialization in species interaction networks. *BMC ecology* 6(1):9

Blüthgen N, Menzel F, Hovestadt T, Fiala B, Blüthgen N (2007) Specialization, constraints, and conflicting interests in mutualistic networks. *Curr Biol* 17: 341–6

Brandão, CRF, Silva, RR, Feitosa RM (2011) Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects. *Zoologia (Curitiba)* 28(3): 379-387

Brown S, Lugo, AE (1994) Reabilitação de terras tropicais: uma chave para o desenvolvimento sustentável. *Restoration Ecology* 2 (2):97-111

Bueno OC, De Carvalho Campos AE, De Castro Morini MS (2017) formigas em ambientes urbanos no Brasil.

Christianini AV, Oliveira PS (2009) The relevance of ants as seed rescuers of a primarily bird-dispersed tree in the Neotropical cerrado savanna. *Oecologia* 60(4): 735-745

Christianini AV, Oliveira PS (2010) Birds and ants provide complementary seed dispersal in a neotropical savanna. *Journal of Ecology* 98(3): 573-582

Christianini AV, Nunes A, Oliveira PS (2007) The role of ants in the removal of nonmyrmecochorus diaspores and seed germination in a Neotropical Savana. *Journal of Tropical Ecology* 23: 343-351

Ciccarelli D, Andreucci AC, Pagni AM, Garbari F (2005) Structure and development of the elaiosome in *Myrtus communis* L.(Myrtaceae) seeds. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 200(4):326-331

Costa AN, Vasconcelos HL, Bruna EM (2017) Biotic drivers of seedling establishment in Neotropical savannas: Selective granivory and seedling herbivory by leaf-cutter ants as an ecological filter. *Journal of Ecology* 105: 132–141

Costa FV, Blüthgen N, Viana-Junior AB, Guerra TJ, Di Spirito L, Neves FS (2018) Resilience to fire and climate seasonality drive the temporal dynamics of ant-plant interactions in a fire-prone ecosystem. *Ecological Indicators* 93: 247-255

Costa FV, Fagundes M, Nieves FD (2010) Arquitetura da planta e diversidade de galhas associadas à *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *Ecología austral* 20(1):9-17

Costa FV, Mello MA, Bronstein JL, Guerra TJ, Muylaert RL, Leite AC, Neves FS (2016) Few ant species play a central role linking different plant resources in a network in rpeustrian grasslands. *PloS one* 11(12): e0167161.

Crawley MJ (2013) *The R Book*, Second Ed (ed Crawley MJ). Chichester, UK: Wiley.

Culver DC, Beattie AJ (1978) Myrmecochory in *Viola*: dynamics of seed-ant interaction in some West Virginia species. *Journal of Ecology* 66:53-72

Dáttilo W, Guimarães, PR, Izzo, TJ (2013) Spatial structure of ant–plant mutualistic networks. *Oikos*, 122:1643–1648

Dáttilo W, Lara-Rodríguez N, Jordano P, Guimarães Jr, PR, Thompson JN, Marquis RJ, ... Rico-Gray V (2016) Unravelling Darwin's entangled bank: architecture and robustness of mutualistic networks with multiple interaction types. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283(1843):20161564

Dormann CF, Frund J, Blüthgen N, Gruber B (2009) Indices, " graphs and null models: analysing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal* 2:7–24

Dormann, CF, Gruber B, Fründ J (2008) Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *Interaction* 1(0.2413793)

Dormann CF, Strauß R (2013) Detecting modules in quantitative bipartite networks: the QuaBiMo algorithm. *arXiv [q-bioQMj]* 1304.3218

Felix M (2014) *Insetos: uma aventura pela biodiversidade.*

Fernandes TV, Paolucci LN, Solar RR, Neves FS, Campos RI (2020) Ant removal distance, but not seed manipulation and deposition site increases the establishment of a myrmecochorous plant. *Oecologia* 192(1):133-142

Figueiredo YAS, in prep. *Recuperação de Áreas Degradadas No Entorno Da UHE-Emborcação: Técnicas Tradicionais Versus Restauração Ecológica.*

Fonseca BEM, De Rezende RM, Rezende APS, De Oliveira Furtado G, Bonatti Filho M, Coelho AT, Enio Marcus Brandao. *Implantação do projeto de recuperação de área degradada da área de empréstimo da UHE de Emborcação–Rio Paranaíba/MG-GO. XXV seminário nacional de grandes barragens, 2003.*

Gallegos SC, Hensen I, Schleuning M (2014) Secondary dispersal by ants promotes forest regeneration after deforestation. *Journal of Ecology* 102(3): 659-666

Giladi I (2006) Choosing benefits or partners: a review of the evidence for the evolution of myrmecochory. *Oikos* 112(3): 481-492

Gleave RA (2013) *Post-dispersal seed removal rates: the relative roles played by vertebrates and invertebrates along a land-use gradient due to tropical forest degradation in Sabah, Malaysia (Doctoral dissertation, Department of Life Sciences, Silwood Park, Imperial College London).*

Guerra TJ, Dayrell RLC, Arruda AJ, Dáttilo W, Teixido AL, Messeder JVS, Silveira FAO (2017) Intraspecific variation in fruit–frugivore interactions: Effects of fruiting neighborhood and consequences for seed dispersal. *Oecologia* 185: 233–343

Guerra TJ, Messeder JV, Arruda AJ, Fuzessy LF, Dayrell RL, Neves FS, Silveira, FA (2018) Handling by avian frugivores affects diaspore secondary removal. *PloS one* 13: e0202435

Handel SN, Beattie AJ (1990) Seed dispersal by ants. *Scientific American* 263(2): 76-83B.

- Henao-Gallego N, Escobar-Ramírez S, Calle Z, Montoya-Lerma J, Armbrrecht I (2012) An artificial aril designed to induce seed hauling by ants for ecological rehabilitation purposes. *Restoration Ecology* 20(5):555-560.
- Horvitz CC, Schemske DW (1986) Seed dispersal of a neotropical myrmecochore: variation in removal rates and dispersal distance. *Biotropica* 18(4):319-323
- Klink, CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1 (1): 147-155
- Köppen W (1918) Klassifikation der Klima nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Pet. Mitt* 64: 243-248
- Leal, IR (2003) Dispersão de sementes por formigas na caatinga. *Ecologia e conservação da caatinga*, 593-624
- Leal LC, Neto MCL, de Oliveira AFM, Andersen NA, Leal IR. (2014) Myrmecochores can target high-quality disperser ants: variation in elaiosome traits and ant preferences for myrmecochorous Euphorbiaceae in Brazilian Caatinga. *Oecologia* 174: 493–500
- Leal IR, Oliveira PS (1998) Interactions between fungus growing ants (Attini), fruits and seeds in cerrado vegetation in southeast Brazil. *Biotropica* 30:170–178
- Lessard JP (2019) Ant community response to disturbance: A global synthesis. *Journal of Animal Ecology* 88(3), 346-349
- Levey DJ, Byrne MM (1993) Complex Ant-Plant Interactions: Rain-Forest Ants as Secondary Dispersers and Post-Dispersal Seed Predators. *Ecology* 74: 1802–1812
- Logan M. (2011) *Biostatistical design and analysis using R: a practical guide*. John Wiley & Sons
- Majer JD (2009). Animals in the restoration process—progressing the trends. *Restoration Ecology* 17(3): 315-319
- Memmott J, Waser NM, Price MV (2004) Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271: 2605– 2611
- Montoya D, Rogers L, Memmott J (2012) Emerging perspectives in the restoration of biodiversity-based ecosystem services. *Trends in ecology & evolution* 27(12):666-672
- Nascimento JM, in prep. Estabelecimento de plântulas regenerantes em área de empréstimo em restauração, da UHE Emborcação no Rio Paranaíba na cidade de Catalão – GO.
- Olesen JM, Bascompte J, Dupont YL, Jordano P (2007) The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(50): 19891-19896
- Oliveira PS, Marquis RJ. (2002) *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press

- Oliveira, R, Zhouri, A (2007) Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. *Ambiente e sociedade* 10(2):119-135
- Passos L, Ferreira SO (1996) Ant dispersal of *Croton priscus* (Euphorbiaceae) seeds in a tropical semideciduous forest in southeastern Brazil. *Biotropica*, v.28, n.4b, p.697-700
- Passos L, Oliveira PS (2002) Ants affect the distribution and performance of seedlings of *Clusia criuva*, a primarily bird-dispersed rain forest tree. *Journal of Ecology* 90:517-528
- Passos L, Oliveira PS. (2003). Interactions between ants, fruits, and seeds in a restinga forest in south-eastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 19: 261-270
- Passos L, Oliveira PS (2004) Interaction Between Ants And Fruits Of *Guapira opposita* (Nyctaginaceae) in a Brazilian sandy plain rainforest: ant effects on seeds and seedlings. *Oecologia* 139:376-382.
- Pinheiro J, Bates D, DebRoy S, Sarkar D, Heisterkamp S, Van Willigen B, Maintainer R (2017) Package ‘nlme’. Linear and Nonlinear Mixed Effects Models, version: 3-1
- Pizo MA, Oliveira PS (2000) The Use of Fruits and Seeds by Ants in the Atlantic Forest of Southeast Brazil. *Biotropica* 32: 851–861
- Rabello AM, Queiroz ACM, Lasmar CJ, Cuissi RG, Canedo-Júnior EO., Schmidt FA, Ribas CR (2015) When is the best period to sample ants in tropical areas impacted by mining and in rehabilitation process? *Insectes Sociaux* 62(2):227-236
- Rabello AM, De Oliveira Bernardi LF, Ribas CR (2014) Testing an artificial aril as a new ant-attractant. *Revista Biociências* 20(1)
- Rabelo, MA (2017) Remoção de sementes por formigas sob diferentes perspectivas comunidade identidade de espécies e ambiente. 2017. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) -Universidade Federal de Lavras, Lavras
- Raimundo RL, Guimaraes PR, Almeida-Neto M, Pizo MA (2004) The influence of fruit morphology and habitat structure on ant-seed interactions: A study with artificial fruits. *Sociobiology*.
- Retana J, Pico FX, Rodrigo A (2004) Dual role of harvesting ants as seed predators and dispersers of a non-myrmecochorous Mediterranean perennial herb. *Oikos*, (105): 377–385
- Ribas CR, Schoereder JH, Pic M, Soares SM (2003) Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. *Austral Ecology* 28(3): 305-314
- Rico-Gray V, Oliveira OS, Oliveira PS (2007). The ecology and evolution of ant-plant interactions. University of Chicago Press.
- Roberts JT, Heithaus ER (1986) Ants rearrange the vertebrate-generated seed shadow of a neotropical fig tree. *Ecology* 67: 1046-1051.



- Roselli S (2014) The role of seed dispersal, seed predation and drought in the restoration of Ngel Nyaki Forest, Nigeria. Master's thesis. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury.
- Santamaria L, Rodriguez-Girones MA. (2007) Linkage rules for plant-pollinator networks: Trait complementarity or exploitation barrier. *PLoS Biol* 5: e31
- Santos GM, Dattilo W, Presley SJ (2014). The seasonal dynamic of ant-flower networks in a semi-arid tropical environment. *Ecological entomology*, 39(6): 674-683
- Schupp EW, Jordano P, Gómez JM (2010) Seed dispersal effectiveness revisited: A conceptual review. *New Phytologist* 188:333– 353
- Schupp EW, Jordano P, Gómez JM (2017) A general framework for effectiveness concepts in mutualisms. *Ecology Letters* 20: 577– 590
- Scolforo JR, Oliveira AD, Carvalho LD, Marques JGG., Louzada JN, Mello CR, ... Vale LCC (2008) Zoneamento ecológico-econômico de Minas Gerais. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: Zoneamento e cenários exploratórios, UFLA, Lavras 245pp
- Silva FD, Assad ED, Evangelista BA (2008) Caracterização climática do bioma Cerrado. *Cerrado: ecologia e flora* (1): 69-88
- Tylianakis JM, Laliberte E, Nielsen A, Bascompte J (2010) Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, (143): 2270–2279
- Wenny DG (2001) Advantages of seed dispersal: a re-evaluation of directed dispersal. *Evolutionary Ecology Research* 3(1):37-50
- Wunderle JR, Joseph M (1997) The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* (99)223-235
- Zhoury A, Oliveira R 2007 Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. *Ambiente & Sociedade*. 10:119-135

**ANEXO**

Espécies de Formigas da área degradada e referência (com seu código de nomenclatura) separadas de acordo com seus grupos funcionais e seus respectivos símbolos.

| Código | Espécie                      | Grupo Funcional                | Símbolo | Área                   |
|--------|------------------------------|--------------------------------|---------|------------------------|
| Acrsp1 | <i>Acromyrmex</i> sp1        | Fungivorous leaf cutters       | △       | Degradada              |
| Camcra | <i>Camponotus crassus</i>    | Generalist patrol camponotines | ⊕       | Degradada & Referência |
| Camles | <i>Camponotus lespesii</i>   | Generalist patrol camponotines | ⊕       | Degradada & Referência |
| Camsp1 | <i>Camponotus</i> sp1        | Generalist patrol camponotines | ⊕       | Referência             |
| Camsp2 | <i>Camponotus</i> sp2        | Generalist patrol camponotines | ⊕       | Degradada              |
| Camsp3 | <i>Camponotus</i> sp3        | Generalist patrol camponotines | ⊕       | Degradada              |
| Dinaus | <i>Dinoponera australis</i>  | Epigaeic generalist predators  | ○       | Referência             |
| Dorbru | <i>Dorymyrmex brunneus</i>   | Omnivorous ground dominants    | ◇       | Degradada              |
| Ectbru | <i>Ectatomma brunneum</i>    | Epigaeic generalist predators  | ○       | Degradada & Referência |
| Ectede | <i>Ectatomma edentatum</i>   | Epigaeic generalist predators  | ○       | Referência             |
| Ectopa | <i>Ectatomma opaciventre</i> | Epigaeic generalist predators  | ○       | Degradada              |
| Ectper | <i>Ectatomma permagnum</i>   | Epigaeic generalist predators  | ○       | Degradada & Referência |
| Nylsp1 | <i>Nylanderia</i> sp1        | Omnivorous ground dominants    | ◇       | Referência             |
| Odoche | <i>Odontomachus chelifer</i> | Epigaeic generalist predators  | ○       | Referência             |
| Odomei | <i>Odontomachus meinerte</i> | Epigaeic generalist predators  | ○       | Degradada              |
| Phedil | <i>Pheidole diligens</i>     | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Degradada & Referência |
| Phefla | <i>Pheidole flavens</i>      | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Referência             |
| Pheoxy | <i>Pheidole oxyops</i>       | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Degradada & Referência |
| Phesco | <i>Pheidole scolioceps</i>   | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Referência             |
| Phesp1 | <i>Pheidole</i> sp1          | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Referência             |
| Phesp2 | <i>Pheidole</i> sp2          | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Referência             |
| Phesub | <i>Pheidole subarmata</i>    | Omnivorous ground dominants    | ⊗       | Referência             |
| Rersp2 | <i>Sericomyrmex</i> sp1      | Fungivorous cryptic attines    | △       | Referência             |



|        |                               |                                      |   |            |
|--------|-------------------------------|--------------------------------------|---|------------|
| Sersp1 | <i>Sericomyrmex</i> sp2       | Fungivorous cryptic attines          |  | Referência |
| Wasaur | <i>Wasmannia auropunctata</i> | Hypogaecic omnivorous and scavengers |  | Referência |

---