



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**BRUNA VALENÇA GODINHO**

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE DE SEMENTES NA SUA DISPERSÃO POR  
FORMIGAS EM ÁREAS ABERTAS**

Prof. Dr. Jayme Magalhães Santangelo  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
Abril– 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**BRUNA VALENÇA GODINHO**

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE DE SEMENTES NA SUA DISPERSÃO POR  
FORMIGAS EM ÁREAS ABERTAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Jayme Magalhães Santangelo  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
Abril – 2022

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE DE SEMENTES NA SUA DISPERSÃO POR  
FORMIGAS EM ÁREAS ABERTAS**

**BRUNA VALENÇA GODINHO**

APROVADA EM: 04/04/2021

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. JAYME MAGALHÃES SANTANGELO – UFRRJ  
Orientador

---

Prof. Dra. ALEXANDRA PIRES FERNANDEZ – UFRRJ  
Membro

---

Prof. Dr. JARBAS MARÇAL DE QUEIROZ – UFRRJ  
Membro

Dedico este trabalho à Teodoro meu filho, que desde o momento que se fez presente dentro de mim me impulsiona a ser uma pessoa melhor e continuar lutando para adiar o fim do mundo

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Universo, por me permitir estar onde estou. À Deus por ter saúde.

À minha família por sempre acreditar em mim, em especial aos meus pais Elisangela e Jackson por investirem no meu futuro e me proporcionarem a chance de me dedicar aos meus estudos. Ao meu pai por me ensinar o valor dos estudos e a minha mãe por ser meu portal para a vida e abrir mão de tanto para que eu pudesse ser quem sou.

À minha irmã Bianca, por me aguentar nos meus piores momentos e estar presente nos melhores, sempre demonstrando seu apoio e admiração.

Aos meus avós, por serem responsáveis pela minha formação como pessoa. À minha avó Euphrasia, por cada dever de casa ensinado e cuidados, à minha vó Rose por sempre me incentivar a não ter medo do desconhecido e ter fé, ao meu avô José Antônio (in memoriam) por ser minha maior referência de prazer por estudar e por cada conversa sobre o meu futuro, ao meu avô Walterlei por me ensinar a não ter medo de ir longe de casa.

Aos meus padrinhos e madrinhas Jane, Arthur, Henrique e Gabriele por me apoiarem e demonstrarem amor por mim.

Aos meus tios e tias por acreditem no meu potencial e estarem sempre presente na minha vida torcendo por mim.

Ao meu namorado e companheiro de vida Mendel, por vivenciar a Universidade comigo, me compreender em cada final de semestre, ser meu suporte durante minha trajetória acadêmica. Agradeço pela ajuda na execução das coletas deste trabalho, por cada carona para as aulas, cada carta de motivação lida, cada jantar feito com carinho, cada momento de compreensão depois de reuniões intermináveis e nas minhas horas de ausência. Muito obrigada por dividir a vida comigo, por entender e aguentar minhas manias e defeitos, por me amar nos meus momentos mais difíceis e mais importante, obrigada por me presentear com o Teodoro.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, agradeço por proporcionar um ensino público de qualidade, por fazer com que eu me sentisse em casa desde o primeiro dia, obrigada por ser o local que me ensinou a ser quem eu sou hoje.

Ao Jardim Botânico da UFRRJ por me conceder a bolsa para que eu pudesse realizar minha pesquisa.

À Seropédica, que mesmo com todos os defeitos sempre terá um lugar enorme no meu coração, por ser o local que me abrigou durante 5 anos.

Aos professores desta Instituição, meus sinceros, muito obrigada. Em especial ao meu orientador Jayme Magalhães que me apoiou desde a vontade de estudar fitoplâncton, obrigada pela paciência em me ensinar, pela disponibilidade em atuar em uma área de estudo diferente, pela amizade que construímos ao longo do tempo de trabalho, por acreditar em mim e no meu potencial e pelas horas extras dedicadas ao meu projeto principalmente nesta reta final. Minha trajetória não seria a mesma sem o senhor.

Agradeço também a professora Vanessa Maria Basso, por toda amizade, orientação e ensinamento desde o meu segundo período da graduação.

Agradeço a todos os professores que passaram pela minha vida, pelos ensinamentos passados, pelas palavras de incentivo e por sempre acreditarem na minha capacidade de romper estatísticas.

Ao programa PET Floresta por transformar minha vida através da minha permanência na universidade, pelas amizades construídas ao longo do programa, pelas viagens e experiências. E aos meus amigos petianos por me ensinarem a ser uma profissional melhor.

À minha amiga Ana Carolina, por tornar os momentos mais difíceis da graduação mais leves, por me ensinar matemática básica, por todas as conversas entre as aulas e por continuar sendo presente na minha vida mesmo durante o ensino remoto.

Ao meu amigo Eriklis por sempre me escutar, me apoiar, me encorajar, por me orientar sobre matérias e estar presente mesmo de longe.

À minha amiga Esther, por ser minha dupla desde o primeiro dia de aula, por cada café da tarde, cada risada, pelos momentos de estudo e momentos de descontração.

Aos meus amigos ruralinos, em especial a Karina, Arthur, André e Letícia pelas experiências de vida trocada e pelos momentos de escuta.

Aos meus amigos do Engajamundo que sempre me encorajaram, em especial Nayara, Felipe e Vitória.

Às minhas vizinhas e amigas do Girassol, Raissa, Karen e Savana por me ensinarem a viver a rural, por cada conselho e companhia.

À minha prima Myllena, por ser minha primeira companheira de vida universitária, obrigada por viver a Rural comigo.

Aos meus amigos de república, Leonardo (Leco) e Matheus (Calonga) por cada conversa, cada momento de compreensão e pelo suporte nas pequenas ações diárias.

À Bianca Ferreira da Silva Laviski pela identificação das formigas.

E por fim, agradeço a mim pelos momentos de perseverança, as noites mal dormidas em cada final de semestre, à minha dedicação em concluir a graduação mesmo com tantos fatores externos me dizendo que não iria tão longe.

## RESUMO

O papel da biodiversidade na regulação e na intensidade dos processos ecológicos é fruto de grande debate na linha conhecida como “Biodiversidade e Funcionamento de Ecossistemas”. É comprovado para diferentes processos, em ambientes diversos, que um aumento no número de espécies e na diversidade funcional de determinada comunidade aumenta a intensidade de processos ecológicos desempenhados por essa comunidade. Um processo ecológico importante e pouco avaliado em função da biodiversidade é a dispersão zoocórica de sementes. Pouco se sabe sobre como a diversidade de sementes disponível para os animais afeta a sua remoção e dispersão. Uma vez que a dispersão de plantas pode em alguns casos realizada de forma passiva, entender quais processos aumentam sua taxa de dispersão tem aplicações importantes. A hipótese testada neste trabalho foi de que quanto maior a diversidade funcional de sementes, maior será a sua taxa de dispersão por formigas. Um estudo experimental foi desenvolvido nas dependências do Jardim Botânico da UFRRJ. Foram usadas sementes de cinco espécies, sendo essas alpiste (*Phalaris canariensis*), aveia (*Avena sativa*), linhaça (*Linum usitatissimum* L.), painço (*Panicum miliaceum* L.) e colza (*Brassica napus*). Foram estabelecidos grupos de sementes com uma ou duas espécies (mono e biculturas), totalizando 5 monoculturas e 10 biculturas. Cada combinação de sementes foi alocada em baixa e alta biomassa. A taxa de remoção da biomassa de cada espécie vegetal após 1h e 3h foi usada como variável resposta. O efeito da diversidade de sementes na sua dispersão foi avaliado nas biculturas comparando-se a dispersão esperada com a dispersão observada. Foi testado também o efeito da dissimilaridade das sementes (nas biculturas) nas taxas de remoção. Sementes das cinco espécies foram removidas por formigas. A taxa média de remoção nas monoculturas após 1h de exposição, variou de 18 a 44% para linhaça e aveia, respectivamente independente da biomassa. Já no intervalo de 3h a taxa de remoção variou de 42 a 87%, para as espécies colza e aveia, respectivamente. Não houve diferenças entre a taxa de remoção esperada e a observada, rejeitando a hipótese de que uma maior diversidade de sementes teria um efeito positivo na dispersão das sementes. Esse resultado foi observado nos tratamentos de baixa e alta biomassa de sementes, nos intervalos de tempo de 1h e 3h. Finalmente, a relação entre a dissimilaridade das sementes e a taxa de remoção não foi significativa. A ausência de efeito da diversidade na remoção das sementes pode ser explicada tanto pelas características das sementes como por hábitos alimentares generalistas da comunidade local de formigas, composta pelos gêneros *Solenopsis* e *Pheidole*. A diversidade das sementes utilizadas neste experimento não aumentou a sua taxa de dispersão e o Jardim Botânico da UFRRJ possui espécies de formigas que durante o seu forrageamento são capazes de dispersar sementes.

**Palavras-chave:** Biodiversidade Funcional, Dissimilaridade de Sementes, Processos Ecológicos.

## ABSTRACT

The role of biodiversity in the regulation and intensity of ecological processes has been debated in the research line coined as “Biodiversity and Ecosystem Functioning”. It is acknowledged for myriad processes that an increase in species richness and functional diversity results in more intense ecological processes. A key ecological process still little evaluated in terms of biodiversity is zoochoric seed dispersal. Little is *known about how the diversity of seeds affects their removal by animals*. Since the dispersion of plants can in some cases be carried out passively, increases in dispersal rates have important applications. This study tested the hypothesis that increases in functional diversity of seeds results in higher dispersal rates by ants. An experimental study was carried out on the premises of the UFRRJ Botanical Garden. Seeds of five species were used, namely birdseed (*Phalaris canariensis*), oat (*Avena sativa*), linseed (*Linum usitatissimum* L.), millet (*Panicum miliaceum* L.) and rapeseed (*Brassica napus*). Seed groups with one or two species (mono and bicultures) were established, resulting in 5 monocultures and 10 bicultures. Each seed combination was allocated in low or high biomass. The biomass removal rate of each seed species after 1 and 3h was used as the response variable. The effect of seed diversity on seed dispersal was evaluated in bicultures by comparing the expected and observed dispersal rates. The effect of seed dissimilarity (in bicultures) on removal rates was also tested. Seeds of the five species were removed by ants. The average removal rate in monocultures after 1h of exposure, ranging from 18 to 44% for linseed and oat, respectively, is independent of biomass. In the 3h interval, the removal rate ranged from 42 to 87% for rapeseed and oat species, respectively. There were no differences between the expected and observed removal rates, rejecting the hypothesis that greater seed diversity would have a positive effect on seed dispersal. This result was observed in the treatments of low and high seed biomass, in the time intervals of 1 and 3h. Finally, the relationship between seed dissimilarity and removal rate was not significant. The absence of seed diversity effects on seed removal can be explained both by the characteristics of the seeds and by the generalist behaviour of the local ant community, composed by the genera *Solenopsis* and *Pheidole*. The diversity of seeds used in this experiment did not increase their dispersal rate and the UFRRJ Botanical Garden has ant species that are capable of dispersing seeds while foraging.

**Keywords:** Functional Biodiversity, Seed Dissimilarity, Ecological Processes.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	5
4. RESULTADOS .....	8
5. DISCUSSÃO .....	11
6. CONCLUSÃO .....	12
7. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	13
ANEXO A – MATERIAL COMPLEMENTAR .....	16

## 1. INTRODUÇÃO

O termo geral “biodiversidade” refere-se à variação entre os organismos e os sistemas ecológicos em todos os níveis, incluindo a variação genética nas populações, as diferenças morfológicas e funcionais entre espécies e a variação na estrutura do bioma e nos processos ecossistêmicos, tanto nos sistemas terrestres quanto aquáticos (Ricklefs, 2010). Porém, a compreensão das relações existentes entre diversidade biológica e os elementos estruturadores dos ecossistemas, bióticos e abióticos, ainda é um desafio para biólogos e ambientalistas.

O mundo está testemunhando atualmente um cenário de intensa perda de espécies animais e vegetais, com taxas sem precedentes na história do planeta e que se aceleram cada vez mais (Díaz et al. 2007). A super-exploração, bem como a transformação do uso de solo e a fragmentação dos ecossistemas estão entre as principais causas da perda de espécies, associados ainda à degradação da qualidade do habitat. Combinados, esses fatores levam à intensa redução da abundância das espécies, sua extinção funcional e finalmente sua extinção local (Cardinale et al. 2012, Díaz et al. 2019). Adicionalmente, em inúmeros estudos recentes, as mudanças climáticas também têm sido apontadas como um importante risco à conservação dos ecossistemas e das espécies. Dada a atual taxa de perda de espécies, alterações das comunidades biológicas e dependência do Homem de muitos serviços ecológicos, entender como as espécies afetam os processos ecológicos é de suma importância (Pires et al. 2018).

Quantificar e entender a relação entre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas é importante porque todo desenvolvimento socioeconômico vem acompanhado da perda de habitats naturais e conseqüentemente de espécies. Ganhos econômicos de curto prazo podem, assim, superar a longo prazo os benefícios ecossistêmicos para a sociedade humana, criando vulnerabilidades que poderiam ser evitadas ou corrigidas com conhecimento suficiente sobre o papel da biodiversidade (Midgley, 2012).

O papel da biodiversidade na regulação e na intensidade dos processos ecológicos vem sendo fruto de grande debate entre os ecólogos nas últimas duas décadas, no debate que é conhecido como “Biodiversidade e Funcionamento de Ecossistemas” (*Biodiversity and Ecosystem Function* na sigla em inglês - BFE). Atualmente está comprovado para uma série de processos, em ambientes diversos, que um aumento no número de espécies de determinada comunidade aumenta a intensidade do processo ecológico desempenhado por essa comunidade (Loreau et al. 2001, Tilman et al. 2014). Por exemplo, estudos anteriores mostraram que quanto mais espécies de plantas terrestres ou de invertebrados aquáticos vivem juntos, maior é a

produção de biomassa e o acúmulo de matéria orgânica no solo (Fornara & Tilman 2008), e maior é a ciclagem de nutrientes e produção bacteriana na água (Caliman et al. 2013), respectivamente.

Um processo ecológico chave até então pouco avaliado em função da diversidade de recursos é a dispersão zoocórica de sementes. As sementes e frutos vegetais diferem no seu peso, coloração e conteúdo energético, fazendo com que algumas espécies sejam mais atrativas para os animais do que outras (Carlo et al. 2003, Nevo et al. 2018). No entanto, é possível que a presença de espécies mais atrativas tenha um efeito positivo na dispersão de espécies menos atrativas, fazendo com que o processo de dispersão de todas as sementes seja mais intenso na presença de um maior número de espécies de sementes. Se comprovado tal fato, esses resultados podem subsidiar estratégias de conservação e vão também ao encontro do debate da temática BFE abordado acima.

A dispersão é um importante processo para a manutenção de florestas, realizada por animais que se alimentam de frutos ou sementes, como mamíferos, aves e répteis, transportando-as para longe da planta mãe, onde aumentam a sua probabilidade de germinar e crescer (Janzen, 1970). Fatores que causem perda de espécies e redução da abundância de fauna podem ter impactos dramáticos a longo prazo na manutenção da diversidade e estrutura das florestas, através do fenômeno denominado como “florestas vazias” (Redford, 1992).

Do ponto de vista dos dispersores, é coerente pensar que quanto maior a diversidade de espécies animais, maior será o número de espécies vegetais cujas sementes são dispersas. Contudo, nada se sabe sobre como a diversidade de sementes disponível para os animais afeta a dispersão das sementes. Uma vez que a dispersão das plantas é exclusivamente passiva, entender quais processos aumentam sua taxa de dispersão têm aplicações importantes na manutenção e regeneração de comunidades vegetais. Para algumas comunidades vegetais, a dispersão chega a ser até mesmo mais limitante que a competição na sua estruturação (Pinto et al. 2014).

Estudos focam principalmente no papel de dispersores de grande porte, como mamíferos e aves, os quais se alimentam de grande variedade de frutos, defecando as sementes em outros locais, levando à sua germinação. Porém, insetos do solo, como formigas, podem transportar sementes secas e pequenas diretamente, permitindo a dispersão dessas espécies vegetais através de uma fração das sementes transportadas que não chegam a ser consumidas (Penn & Crist 2018). As formigas interagem com as plantas de várias maneiras e, de fato,

as numerosas relações mutualistas e antagônicas entre formigas e plantas deram enormes contribuições nossa compreensão das comunidades biológicas (MacMahon et al. 2000; Rico-Gray e Oliveira 2007). A predação de sementes por formigas amplamente documentado, e as chamadas formigas colhedoras pode abranger mais de 150 espécies em todo o mundo, ocorrendo mais freqüentemente em habitats temperados e tropicais com semiárido a vegetação árida. A maioria das espécies estudadas são granívoros estritos que colhem grandes quantidades de sementes de algumas espécies preferidas.

Para formigas, sementes com elaiossoma são especialmente atrativas por conterem maior conteúdo de óleos (Rodgerson, 1998).

Apesar de algumas sementes não necessariamente germinarem após o seu transporte pelas formigas, a movimentação da semente caracteriza de fato um processo de dispersão.

Diversos estudos avaliaram a interferência de perturbação antrópicas e gradientes ambientais sobre a dispersão de sementes (Oliveira et al. 2019, Del Toro & Ribbons 2019), bem como especificidades de cada espécie de formiga na realização deste processo (Magalhães et al. 2019). No entanto, não temos conhecimento de qualquer estudo que tenha avaliado como a diversidade de espécies vegetais (diversidade de sementes) interfere no seu processo de dispersão por formigas.

Diante do exposto acima, este trabalho teve como objetivo testar a relação entre a diversidade de sementes e a sua taxa de dispersão (remoção) e identificar as espécies de formigas potencialmente capazes de dispersar sementes. Foi testada a hipótese de que quanto maior a diversidade de espécies de sementes, maior a sua taxa de dispersão.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

Principalmente a partir da década de 1990, uma grande atenção passou a ser direcionada para o tema da perda de espécies, uma vez que evidências experimentais inequívocas começaram a se acumular demonstrando que a perda de espécies pode impactar negativamente processos ecológicos importantes e a estabilidade das comunidades e ecossistemas (e.g., Shulze & Mooney, 1994, Vitousek et al, 1997). O impacto da biodiversidade na comunidade e nos processos ecossistêmicos, como a produtividade, é uma questão de grande importância, dadas as taxas atuais de perda de espécies (Pimm et al ., 1995).

Estes trabalhos consolidaram uma importante área de pesquisa dentro da ecologia, referida pela sigla BEF como exposto acima (do inglês “*Biodiversity and Ecosystem*

*Functioning*”, Biodiversidade e Funcionamento de Ecossistemas). Através de pesquisas nesta linha, tem sido ressaltada a importância da manutenção da biodiversidade para manter a segurança no fornecimento de diversos serviços ecossistêmicos fundamentais às atividades econômicas e ao bem estar humano, como a produção de cultivos, a fertilidade do solo, o fornecimento de água e a regulação do clima (Joly et al. 2018, Díaz et al. 2019).

Mas será que a diversidade funcional está de fato correlacionada com a diversidade de espécies em ecossistemas naturais? A resposta a esta pergunta depende em parte dos mecanismos de montagem da comunidade (Fridley 2001). Os conceitos de diferenciação de nicho e similaridade limitante implicam que as características funcionais de organismos coexistentes devem diferir em algum nível, o que significa que o aumento da riqueza de espécies deve levar ao aumento da diversidade funcional (Bazzaz 1987, Weiher e Keddy 1999a, Diaz e Cabido 2001, Schmid et al. 2002b).

Quando as espécies apresentam diferenças de nicho complementares, é provável – mas não automático (Hector 1998) – que muitas espécies co-ocorrentes apresentem absorção de recursos e taxas de processos ecossistêmicos maiores do que poucas espécies.

Os mecanismos por trás do efeito positivo da biodiversidade no funcionamento dos ecossistemas podem ser classificados em (i) complementaridade e (ii) efeitos de seleção. O primeiro grupo subdivide-se em diferenciação de nichos das espécies e facilitação entre as espécies co-ocorrentes. Assim, a entrada e persistência de uma nova espécie num dado ecossistema pode fazer que uma fração do nicho ecológico ainda não explorado passe a ser usado e/ou que as espécies já estabelecidas sejam beneficiadas pela nova espécie. Já no caso dos efeitos de seleção, admite-se que quanto mais espécies habitam um ecossistema, maior é a probabilidade de que uma dessas espécies tenha um papel desproporcionalmente maior para determinada função ecológica (Pires et al., 2008).

No entanto, a absoluta maioria dos estudos com BEF, em especial nas décadas de 1980 e 1990, focaram nos efeitos da diversidade de espécies sobre a produção primária vegetal (Hooper & Vitousek, 1997, Tilman et al. 1997, Caliman et al. 2010). Apenas mais recentemente, processos como a decomposição de detrito vegetal (Srivastava et al. 2009, Gessner et al. 2010) e a bioturbação em sedimentos aquáticos (Caliman et al. 2011), dentre outros, passaram a ganhar maior atenção nos estudos nesta área, em uma diversificação das abordagens experimentais. Através destes estudos, passou-se a investigar a importância da diversidade funcional de outros tipos de organismos (como animais, fungos e bactérias) para o

funcionamento dos ecossistemas, abrangendo também uma maior diversidade de processos e atributos das comunidades e ecossistemas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A hipótese desse trabalho foi testada através de uma abordagem experimental no campo, nas dependências do Jardim Botânico da UFRRJ. Foram usadas sementes de cinco espécies vegetais comumente usadas na alimentação de pássaros, mas também com uso comprovado pelas formigas em testes-piloto no campo. Essas espécies de sementes são alpiste (A) (*Phalaris canariensis*), aveia (Av) (*Avena sativa*) linhaça (L) (*Linum usitatissimum* L.), painço (P) (*Panicum miliaceum* L.) e colza (*Brassica napus*) (Figura 1), que foram obtidas de lojas comerciais. Apesar de não ocorrerem naturalmente no Jardim Botânico, essas espécies serviram como modelo e nossos resultados poderão ser aplicados a comunidades naturais. Essas sementes variam naturalmente quanto ao seu peso e comprimento, conforme a tabela 1.



Figura 1: Visão geral das sementes usadas nesse estudo.

Tabela 1: Peso e comprimento médios das cinco espécies de sementes usadas.

Espécie	Peso (g)	Comprimento (mm)
Alpiste ( <i>Phalaris canariensis</i> )	0,065	5,414

Aveia ( <i>Avena sativa</i> )	0,268	9,013
Linhaça ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)	0,037	5,018
Painço ( <i>Panicum miliaceum</i> L.)	0,051	3,328
Colza ( <i>Brassica napus</i> )	0,034	2,084

No campo foram formados grupos de sementes com uma ou duas espécies (mono e biculturas), combinadas em pares com 1 metro de distância entre cada unidade amostral. Dessa forma, foram formadas 5 monoculturas e 10 biculturas (Tabela 2). Para cada combinação de sementes, a biomassa total foi de aproximadamente 0,10 g (baixa biomassa) ou 0,15 g (alta biomassa). A quantidade de cada semente nas biculturas se deu proporcionalmente ao seu peso, de forma que cada espécie contribuísse com cerca de 50% da biomassa total (Tabela 2). Os tratamentos foram alocados no campo de forma aleatória em nas duas localidades mais planas do Jardim Botânico, e as réplicas de cada tratamento foram feitas de forma temporal ao longo de três dias não consecutivos, totalizando 90 unidades amostrais (15 composições de sementes x 2 biomassas x 3 dias), conforme a figura 2. As sementes foram alocadas sobre a terra e sob copos plásticos fixados a 5 mm do chão para evitar o seu consumo por pássaros granívoros. Após alocar as sementes no campo, as sementes restantes (não removidas) foram contabilizadas após 1h e 3h de exposição, determinando assim as taxas de remoção. Paralelamente foram instaladas 2 armadilhas para a captura de formigas no centro dos blocos espaciais a fim de coletar as formigas do local e identificá-las. As armadilhas consistiram em copos plásticos com álcool 70% enterrados no nível do solo.

Tabela 2: Número de sementes usadas em cada monocultura e bicultura nos agrupamentos de baixa (**total de ~ 0,1g de sementes**) e alta (**~ 0,15g de sementes**) biomassa de sementes

Espécie	Número de sementes:			
	Baixa biomassa		Alta biomassa	
Alpiste	15	-	23	-
Painço	25	-	37	-
Colza	28	-	42	-
Linhaça	19	-	28	-
Aveia	4	-	6	-
Alpiste + Painço	8	13	12	19
Alpiste + Colza	8	14	12	21
Alpiste + Linhaça	8	11	12	14
Alpiste + Aveia	8	2	12	3
Painço + Colza	13	14	19	21
Painço + Linhaça	13	11	19	14
Painço + Aveia	13	2	19	3
Colza + Linhaça	14	11	21	14
Colza + Aveia	14	2	21	3
Linhaça + Aveia	11	2	14	3

Os blocos temporais foram executados nos dias 27/08,15/09, 29/10/2020 conforme demonstrado na figura 2. Assumiu-se que esses intervalos de tempo foram suficientes para que as formigas deixassem de usar trilhas pré-estabelecidas para a remoção das sementes nos tempos 1 e 2. Em cada bloco temporal as sementes de todas as unidades experimentais foram alocadas entre 10:30 e 11h da manhã, sendo posteriormente quantificadas as sementes restantes às 12h (1h depois do início do experimento) e às 14h (3h depois do início do experimento).

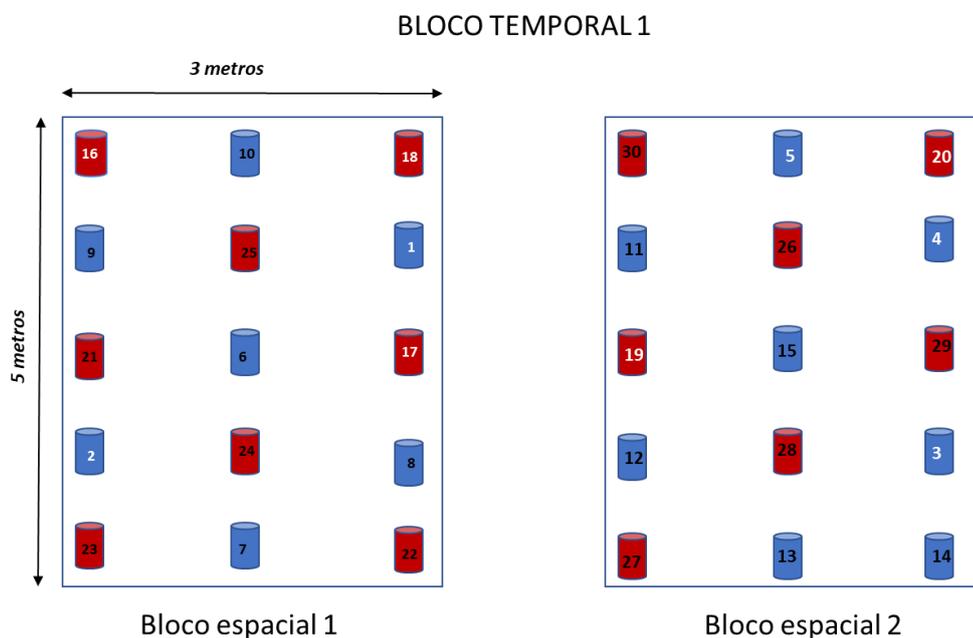


Figura 2: Esquema experimental do bloco temporal 1 e das duas localidades. Números em branco representam as monoculturas, números em preto representam as biculturas. Em azul tem-se as baixas biomassas e em vermelho as altas biomassas de sementes.

A taxa de remoção da biomassa de cada espécie de semente foi usada como variável resposta. O efeito da diversidade de sementes na sua remoção foi avaliado nas biculturas comparando-se a dispersão esperada (calculada a partir das monoculturas) com a dispersão observada (calculada a partir das biculturas), conforme a fórmula abaixo:

*Remoção esperada no par de sementes AB = (Remoção observada na monocultura da spp A + Remoção observada na monocultura da spp B)/2*

Os valores observados e esperados foram calculados de forma independente para cada bloco temporal. Os resultados obtidos nos três blocos temporais foram unificados para a análise dos dados. Os valores esperados e observados foram comparados com um teste t, de forma individual para as biomassas de 0,10 e 0,15 g, e para os intervalos de tempo de 1 e 3h. Havendo diferenças entre os valores observados e esperados, pode-se atribuir essa diferença ao efeito da diversidade na dispersão das sementes.

Além disso, para cada bicultura foi calculada a dissimilaridade das sementes através de distâncias euclidianas, entre dois pontos, usando o comprimento e peso médios de cada espécie de semente. Uma regressão linear avaliou o efeito da dissimilaridade das sementes na taxa de remoção, novamente para os tempos de 1 e 3h separadamente, mas agora juntando-se os valores de baixa e alta biomassa de sementes.

#### **4. RESULTADOS**

Sementes das 5 espécies testadas foram removidas pelas formigas. Foi possível ver formigas carregando as sementes tanto próximo ao local de alocação quanto a uma distância de até 2m (Figura 3). A taxa média de remoção nas monoculturas após 1h de exposição, variou de 18 a 44% para linhaça e aveia, respectivamente independente da biomassa (Figura 4a, b). Já no intervalo de 3h a taxa de remoção variou de 42 a 87%, para as espécies colza e aveia, respectivamente (Figura 4c, d). De forma geral, a taxa de remoção foi superior em grupos de alta biomassa do que de baixa biomassa.

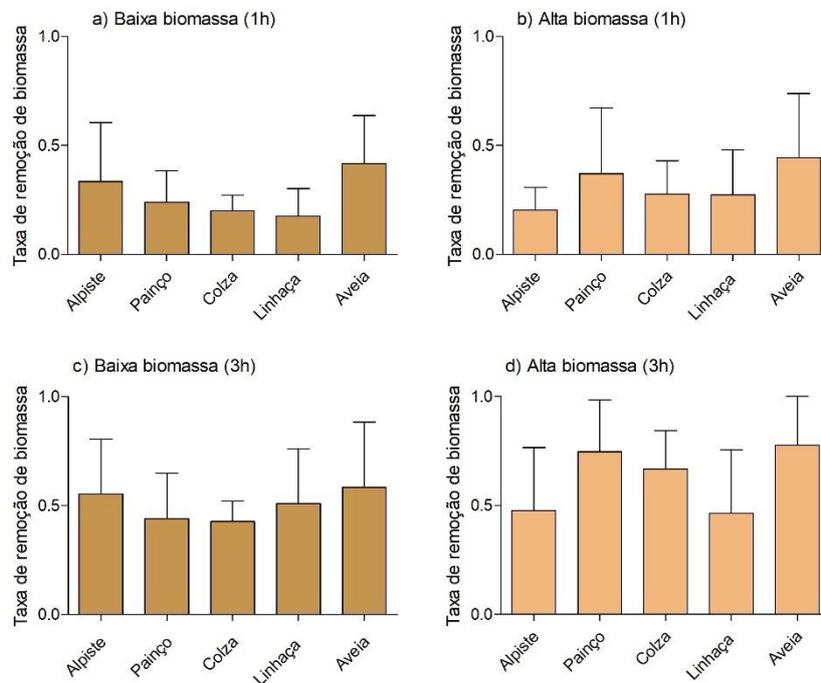


Figura 4: Taxas médias (+1EP) de remoção de sementes nas monoculturas alocadas em (a) baixa e (b) alta biomassa após 3h.

Não houve diferenças entre a taxa de remoção esperada e a observada nas biculturas rejeitando nossa hipótese de que uma maior diversidade de sementes teria um efeito positivo na sua remoção (Figura 4). Esse resultado foi observado nos tratamentos de baixa e alta biomassa de sementes, nos intervalos de tempo de 1h e 3h.

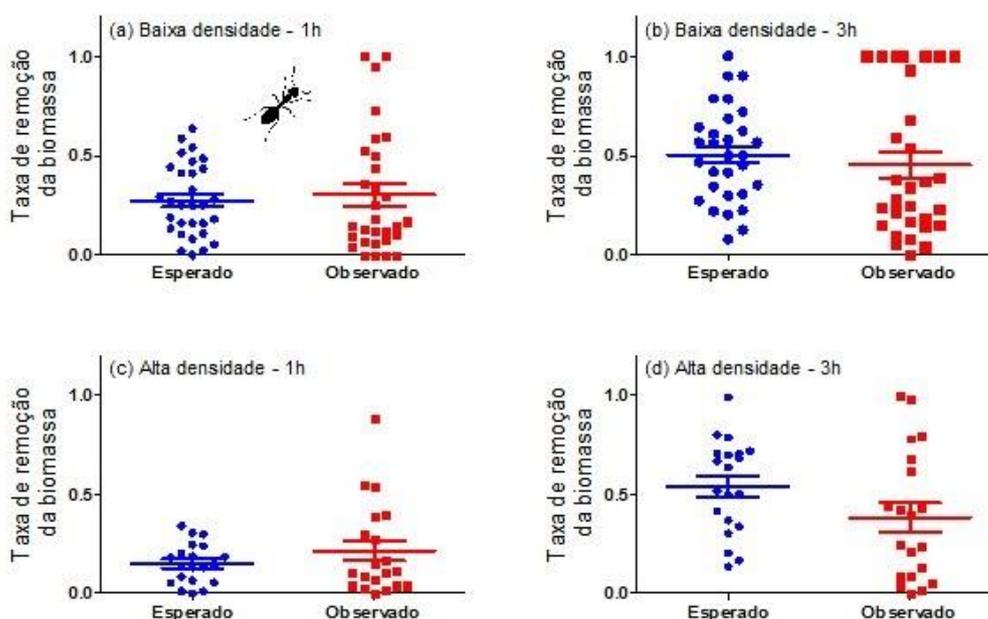


Figura 5: Comparação da taxa de remoção de biomassa esperada (azul) e observada (vermelho) para sementes de diferentes espécies combinadas par-a-par. As sementes foram alocadas em duas biomassas e a taxa de remoção observada após 1h e 3h.

Tabela 3: Média da remoção observada de sementes baixa (**total de ~ 0,1g de sementes**) e alta (**~ 0,15g de sementes**) biomassa de sementes em 1h e 3h. Valores variam de 0 a 1.

Espécie	Remoção Observada	
	Baixa biomassa	Alta biomassa
Alpiste + Painço	0.64	0.22
Alpiste + Colza	0.11	0.34
Alpiste + Linhaça	0.35	0.46
Alpiste + Aveia	0.34	0.38
Painço + Colza	0.26	0.55
Painço + Linhaça	0.35	0.42
Painço + Aveia	0.24	0.15
Colza + Linhaça	0.44	0.37
Colza + Aveia	0.50	0.40
Linhaça + Aveia	0.52	0.57

As formigas coletadas nas armadilhas pertencem aos gêneros *Solenopsis* e *Pheidole*, sendo ambos classificados como de hábito generalista (Bueno & Campos-Farinha, 1998; Weiser & Kaspari, 2006). Particularmente o gênero *Solenopsis* abrange espécies cosmopolitas, conhecidas por "formigas-de-fogo", com ninhos subterrâneos e caracterizando-se pela onivoria (Bueno & Campos-Farinha, 1998). Ainda de acordo com os mesmos autores, as operárias de *Solenopsis* são bastante agressivas e ativas na procura de alimentos, podendo colonizar diferentes habitats.

Assim como as características relacionadas ao diásporo e às espécies removedoras, as características dos habitats podem favorecer ou inibir a remoção de sementes, uma vez que a complexidade de habitat e as variações nas condições abióticas (temperatura e umidade) podem determinar a distribuição das espécies e suas interações com o meio. Os serviços de remoção de diásporos promovidos pelas formigas podem sofrer interferência de acordo com o nível de perturbação dos ecossistemas, que afeta a estrutura e a composição da vegetação local (Bieber Et Al., 2014; Gallegos; Hensen; Schleuning, 2014; Leal; Andersen; Leal, 2013)

Quando avaliamos o efeito da dissimilaridade das sementes na taxa de remoção, para os tempos de 1h (Figura 5a) e 3h (Figura 5b) separadamente, verificamos que os mesmos também não possuem uma relação significativa (todos os valores de  $P > 0,05$ ). Também foi testada a

regressão somente para as unidades amostrais de alta e baixa biomassa de forma isolada, porém o resultado se mostrou o mesmo (não-significativo).

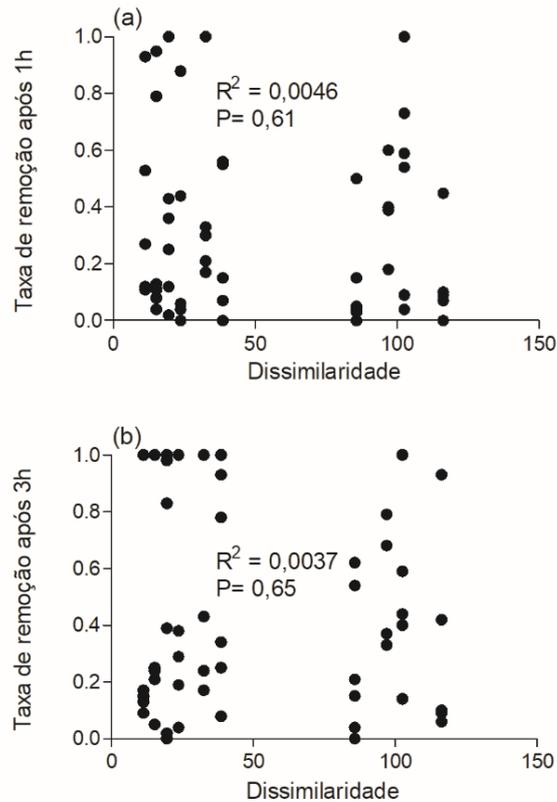


Figura 5: Relação entre a dissimilaridade das sementes e a taxa de remoção após (a) 1 hora e (b) 3 horas.

## 5. DISCUSSÃO

Nesse estudo testamos a hipótese de que quanto maior a diversidade de sementes maior seria a sua taxa de remoção por formigas. Essa hipótese foi testada (i) comparando-se taxas observadas e esperadas de remoção de sementes e (ii) relacionando a dissimilaridade de pares de espécies com sua taxa de remoção. Para as duas abordagens a hipótese testada não foi comprovada. A ausência de efeito da diversidade na remoção das sementes pode ser explicada tanto pelas características das sementes usadas como por características próprias da comunidade de formigas que remove as sementes.

Do ponto de vista das sementes, é possível que as mesmas não apresentem diferenças suficientemente grandes para desencadear remoções diferenciadas pelas formigas. Dessa forma, as diferentes sementes seriam removidas à medida que fossem encontradas, de forma

independente da sua identidade. Apesar de termos encontrado diferentes valores de dissimilaridade entre os pares de sementes, é possível que essas características não sejam relevantes para as formigas, implicando que todas as sementes têm o mesmo valor. No entanto, além do peso e comprimento, variáveis não mensuradas como o valor nutricional, rugosidade, facilidade de transporte, podem ser mais relevantes na determinação da remoção e devem ser consideradas em estudos futuros. Além do conteúdo nutricional, a forma e o tamanho dos diásporos podem determinar as espécies de formigas que irão atuar na remoção (Arnan; Rodrigo; Retana, 2011; Bas; Oliveras; Gómez, 2009).

Do ponto de vista das formigas, foi possível notar que a comunidade predominante na área de estudo possui hábitos generalistas. Neste caso qualquer semente encontrada teria a mesma probabilidade de remoção, fazendo com que a diversidade não interferisse nas taxas de dispersão. Adicionalmente, na ausência de fontes alternativas - e melhores - de alimento, qualquer item seria prontamente removido pelas formigas.

A ausência de efeitos da biodiversidade sobre processos ecossistêmicos já foi observada anteriormente em outros grupos biológicos e processos. Por exemplo, em ambientes secos como restingas, a biodiversidade tem baixa importância na produção de serrapilheira (Gripp et al., 2018) e na decomposição da mesma (Silva et al., 2020). Portanto, os efeitos da diversidade na intensidade de processos ecológicos podem depender do conjunto de espécies presentes, do processo avaliado e do contexto ambiental na área estudada. Entender como a biodiversidade afeta processos ecossistêmicos e em quais contextos ambientais seu papel é mais preponderante continua sendo importante no cenário de alteração e perda de espécies nos diferentes ecossistemas.

## **6. CONCLUSÃO**

A diversidade das sementes utilizadas neste experimento não aumentou a sua taxa de dispersão, sugerindo que seu valor é semelhante para a comunidade de formigas da área de estudo. Esse resultado implica que as sementes desse estudo são redundantes do ponto de vista funcional, não havendo complementaridade de nicho entre as espécies e nem facilitação entre as mesmas. Em situações naturais a disponibilidade de recursos varia no tempo e no espaço, sendo possível que determinadas combinações de sementes sejam dispersas em taxas maiores que o observado quando encontram-se sozinhas.

## 7. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Arnan, X.; Rodrigo, A. Retana, J. 2011 What are the consequences of ant-seed interactions on the abundance of two dry-fruited shrubs in Mediterranean scrub? *O ecologia*, 167, p. 1027-1039
- Bazzaz, F. A. 1987. Experimental studies on the evolution of niche in successional plant populations. Pages 245–272 in A. J. Gray, M. J. Crawley, and P. J. Edwards, editors. *Colonization, succession and stability*. Blackwell Scientific, Oxford, UK.
- Bieber, A. G.; Silva, P. S. D.; Sendoya, S. F.; 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, p. 1-5.
- Bueno, O. C.; Campos-Farinha, A. E. C. 1998. Formigas Urbanas: Comportamento das espécies que invadem as cidades brasileiras. *Vetores & Pragas*, 12(5), 13–16.
- Caliman, A. et al. 2013. Biodiversity effects of ecosystem engineers are stronger on more carbon and nitrogen accumulation. - *Journal of Ecology* 96: 314-322.
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, et al. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59– 67.
- Carlo, T.A. et al. 2003. Avian fruit preferences across a Puerto Rican forested landscape: Pattern consistency and implications for seed removal. - *O ecologia* 134: 119-131.
- competition or seed predation. - *Journal of Ecology* 102: 1258-1265.
- complex ecosystem processes. - *Ecology* 94: 1977-1985.
- Coq, S., Caliman, A. 2018. Weak to no effects of litter biomass and mixing on litter decomposition in a seasonally dry tropical forest. *Pedobiologia*, 68: 20-23.
- Del Toro, I. & Ribbons, R.R. 2019. Variation in ant-mediated seed dispersal along elevation gradients. *PeerJ*
- Díaz, S., S. Lavorel, F. de Bello, F. Quetier, K. Grigulis, and M. Robson. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 104: 20684– 20689.

Díaz-Reviriego, I., Turnhout, E. & Beck, S. 2019. Participation and inclusiveness in the Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *Nat Sustain* 2, 457–464

Ecology, Evolution, and Systematics 33: 471-493.

ecosystem services and human well-being in a global hotspot. - *Ecosystem Services* 34: 68-73.

Fornara, D.A. and Tilman, D. 2008. Plant functional composition influences rates of soil

Fridley, J. D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where and why? *Oikos* 93: 514–526.

Fridley, J.D., 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93, 514–526.

Gessner MO, Swan CM, Dang CK, McKie BG, Bardgett RD, Wall DH, Ha`ttenschwiler S. 2010. Diversity meets decomposition. *Trends in Ecology & Evolution* 25:372–380.

Gripp, A. R., Esteves, F.A., Carneiro, L. S., Guariento, R. D., Figueiredo-Barros, M. P.,

Hector, A. 1998. The effect of diversity on productivity: detecting the role of species complementarity. *Oikos* 82:597– 599.

Hooper, D. U. et al. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological society of america*

Hooper, D. U. and Vitousek, P. M. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science*, 277, 1302–5.

Janzen, D. H. 1970. Herbivores and number of tree species in tropical forests. *American Naturalist*.

JOLY, C. A. et al. 2018. 1° Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos.

knowledge and future challenges. - *Science* 294: 804-808.

Loreau, M. et al. 2001. *Ecology: Biodiversity and ecosystem functioning: Current*

McNaughton, S. J. 1993. Biodiversity and function of grazing ecosystems. In E.-D. Shulze and H. A. Mooney (eds.) *Biodiversity and Ecosystem Function*, pp. 362–83. Springer-Verlag, Berlin.

- Midgley, G. F. 2012. Biodiversity and Ecosystem Function. *Science*, 335(6065), 174–175.
- Nevo, O. et al. 2018. Frugivores and the evolution of fruit colour. - *Biology Letters* 14.
- Oliveira, F. M., Andersen, A. N., Arnan, X., Ribeiro-Neto, J. D., Arcoverde, G. B., & Leal, I. R. 2019. Effects of increasing aridity and chronic anthropogenic disturbance on seed dispersal by ants in Brazilian Caatinga. *Journal of Animal Ecology*, 88: 870-880
- Penn, H. J., & Crist, T. O. 2018. From dispersal to predation: A global synthesis of ant–seed interactions. *Ecology and evolution*, 9122–9138
- Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., and Brooks, T. M. 1995. The future of biodiversity. *Science*, 269, 347–50.
- Pimm, S., Russel G, Gittleman J., Brooks T. 1995. The Future of Biodiversity. *Science* 269: 347
- Pinto, S.M. et al. 2014. Seed dispersal is more limiting to native grassland diversity than
- Pires, A.P.F. et al. 2018. Biodiversity research still falls short of creating links with production of a seasonal heath vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 31: 877-886.
- Redford, K.H. 1992. The empty forest. *Bioscience*, 42: 412-422
- Ricklefs, R.E. 2010. A economia da Natureza. 6ª ed p. 366
- Rico-Gray V, Oliveira PS (2007) The ecology and evolution of ant– plant interactions. University of Chicago Press, Chicago
- Rodgerson. L. 1998. Mechanical Defense In Seeds Adapted For Ant Dispersal. *Ecology* 79: 1669-1677
- Schmid, B., J. Joshi, and F. Schlapfer. 2002. Empirical evidence for biodiversity–ecosystem functioning relationships. Pages 120–150
- Silva, J. L., Souza, A. F., Caliman, A. 2020. Small biodiversity effects on leaf litter
- Srivastava DS, Cardinale BJ, Downing AL, Duffy JE, Jouseau C, Sankaran M, Wright JP. 2009. Diversity has stronger top-down than bottom-up effects on decomposition. *Ecology* 90:1073–1083

Tilman, D. et al. 2014. Biodiversity and ecosystem functioning. Annual Review of

Weiser, M. & Kaspari, M. 2006. Ecological morphospace of New World ants. Ecological Entomology 31:131-142

MacMahon JA, Mull JF, Crist TO (2000) Harvester ants (*Pogonomyrmex* spp.): their community and ecosystem influences. Annu Rev Ecol Syst 31:265–291

## **ANEXO A – MATERIAL COMPLEMENTAR**



Exemplo de formiga acessando uma semente de linhaça



Exemplo da Unidade Amostral feita com copos plásticos fixados a 5 mm do chão para evitar o seu consumo por pássaros granívoros