



KÊNIA APARECIDA DOS SANTOS

**RELAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE
FORMIGAS COM PROCESSOS ECOLÓGICOS DE
PREDACÃO E DE REMOÇÃO DE SEMENTES E VARIÁVEIS
AMBIENTAIS EM FRAGMENTOS FLORESTAIS**

**LAVRAS – MG
2022**

KÊNIA APARECIDA DOS SANTOS

**RELAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE FORMIGAS COM
PROCESSOS ECOLÓGICOS DE PREDACÃO E DE REMOÇÃO DE SEMENTES E
VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM FRAGMENTOS FLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração Entomologia para obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho
Orientador

Prof. Dra. Carla Rodrigues Ribas
Coorientadora

Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva
Coorientador

**LAVRAS - MG
2022**

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

Santos, Kênia Aparecida dos.

Relações das características morfológicas de formigas com processos ecológicos de predação e de remoção de sementes e variáveis ambientais em fragmentos florestais / Kênia Aparecida dos Santos. - 2022.

80 p.

Orientador(a): Ronald Zanetti Bonetti Filho.

Coorientador(a): Carla Rodrigues Ribas, Rogério Rosa da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. características morfológicas. 2. processos ecossistêmicos. 3. formigas. I. Bonetti Filho, Ronald Zanetti. II. Ribas, Carla Rodrigues. III. Silva, Rogério Rosa da. IV. Título.

KÊNIA APARECIDA DOS SANTOS

**RELAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE FORMIGAS COM
PROCESSOS ECOLÓGICOS DE PREDACÃO E DE REMOÇÃO DE SEMENTES E
VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM FRAGMENTOS FLORESTAIS**

**RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANTS WITH
ECOLOGICAL PROCESSES OF PREDATION AND SEED REMOVAL AND
ENVIRONMENTAL VARIABLES IN FOREST FRAGMENTS**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Entomologia, área de
concentração Entomologia, para obtenção do
título de Doutora.

APROVADA em 30 de maio de 2022.

Prof. Dr. Ronald Zanetti	UFLA
Prof. Dra. Letícia Vieira	UFLA
Prof. Dra. Vanesca Korasaki	UEMG
Prof. Dr. Jacques Hubert Charles Delabie	UESC
Prof. Dr. Marcel Gustavo Hermes	UFLA

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho
Orientador

Prof. Dra. Carla Rodrigues Ribas
Coorientadora

Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva
Coorientador

**LAVRAS – MG
2022**

*Em homenagem à minha mãe Teresinha de Fátima pelo carinho e por demonstrar a
possibilidade de manifestar milhares de formas de amor.
Ao meu pai Marcos pela força diante da vida.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida que flui em mim;

Quero agradecer cada pessoa que compartilhou cada segundo da minha trajetória até aqui. Então agradeço...

Ao meu pai Marcos que compartilhou comigo parte de sua vida com muita garra e força e me possibilitou estar aqui nesse momento. À minha mãe Terezinha que está presente no meu coração e faz parte de cada momento da minha vida.

Ao meu marido Delvani por me apoiar e me fazer enxergar sob uma nova ótica constantemente. Esteve presente em muitos momentos tristes e felizes da minha vida e espero que possamos continuar compartilhando muitos mais.

Agradeço também o que procurei aprender com vocês. Agradeço à minha irmã Daniele por mostrar que podemos sempre estar dispostos a ajudar sem nada pedir em troca. À minha irmã Quívia pelo exemplo de garra. Ao meu irmão Agnaldo pelo apoio incondicional em muitas fases importantes da minha vida, servindo como uma inspiração de profissional a seguir. À minha irmã Kelli por mostrar que a vida pode ser mais leve e sem muito drama. À minha irmã Keleimar pelas risadas arrancadas mesmo em momentos difíceis, me mostrando que podemos rir e chorar da mesma situação. Meus sobrinhos(as): Felipe que me ensina sempre a respeitar as escolhas individuais, Geovanna que me mostra que a vida é uma mudança constante, Mariana que me ensina como lidar com assuntos que não me sinto confortável, mas que são muito necessários, tornando-os mais leves; a Maria Eduarda que me ensina constantemente a olhar pro outro e ver suas necessidades, além de me mostrar que cada fase da vida precisa ser vivida e não pulada; ao Railan que me ensina a sempre persistir e querer sempre ganhar nos jogos.

Agradeço ao Alexandre pelas palavras sempre agradáveis, independentemente da situação, ao Alessandro por me mostrar que a vida pode ser boa, sendo um exemplo de humildade e coração bom. E que posso levar essa bondade por onde eu for. Ao Walisson, por me mostrar que a vida pode ser o que eu quiser.

Agradeço a Ana Luisa por me mostrar que a força vem de dentro, que reclamar não é o caminho e me possibilitar conversar sobre tudo e sobre nada e ainda sim dá boas risadas.

Agradeço a Rayane e Érida por compartilharem momentos comigo a mais de 10 anos, sendo fonte de inspiração de força.

Agradeço ao Zé Mauro pelas horas incontáveis de conversas sobre ideias, conceitos e vida. E também por me apontar sempre um pensamento novo sobre as coisas, a Mariane por me mostrar que podemos fazer coisas grandiosas usando apenas boa vontade e fé, onde prevalece a força de conseguir o que deseja. A Amanda pela presença em momentos importantes e a Ludmila por ter compartilhado momentos da minha infância que nunca serão esquecidos.

Agradeço a Marina por me mostrar a força da mulher negra e que podemos estar inseridas em qualquer lugar que nos propusermos, assim como, a Rose que me mostra sempre a leveza e inteligência. A Mariana e Valdeir que compartilharam horas de trabalho e estudo em grupo comigo, se doando e me mostrando como compartilhar meu conhecimento.

Agradeço a Letícia Vieira por mostrar como ser uma professora competente e amiga. A Nayara por me apontar caminhos importantes e compartilhar muitas estradas desse caminho comigo. A Tamires por me ensinar a não levar tudo muito a sério e sempre dizer o que pensa e ser focada. A Josélia por me fazer lembrar das minhas capacidades e ser a pessoa que elogia.

Ao Núcleo de Estudos em Entomologia (NEENTO) por me possibilitar desenvolver habilidades e por todos os conhecimentos compartilhados.

Agradeço ao meu orientador Ronald Zanetti por me mostrar as diferenças do profissional e pessoal, em como ser sempre profissional em momentos e horas necessários. E recentemente, me mostrar que a opinião dos outros é somente deles.

Agradeço a Carla Ribas por me mostrar que posso me priorizar em todos os momentos da minha vida e mesmo assim continuar fazendo tudo de forma leve e clara. E agradeço a todos os integrantes do Laboratório de Ecologia de formigas pela troca constante de ideias.

Agradeço ao Rogério Silva por compartilhar seu conhecimento e experiência de forma sábia e me mostrar que sempre posso aprender mais.

Agradeço ao Laboratório de Entomologia Florestal: Ao William por me mostrar como fazer uma coleta pode ser prazerosa, A Caroline pelo exemplo de foco, Thayane pela delicadeza em cada gesto, Leia por apontar que fazer sempre o seu melhor é importante, João pelas conversas com leveza e profundidade, Julius pela abertura de conversas boas, pelos elogios e conversas sinceros, Stephanie pela identidade única me ajudando a avaliar meu respeito e consideração, Júlia por me mostrar que posso conviver com os incômodos e os desafios, Bruno pela vitalidade e entusiasmo, Matheus pela paciência, Jéssica pelas horas incontáveis de conversas sobre passado e futuro, com uma perspectiva mais lógica e menos romântica, Alexandre Arnold pelas conversas na hora do almoço, Alexandre Roger pelos horários de café e descontração no laboratório, além do exemplo de respeito a todos e tudo; e

Alexandre Santos por me mostrar que a estatística era bonita e prazerosa, Olívia e Luciano por compartilhar a coleta mais louca que já fiz e a Joana por me mostrar como preencher um ambiente com energias boas.

Meninas do futebol, por compartilhar comigo momentos divertidos.

A Isabel pela paciência e carinho compartilhados. Aos professores do Departamento de Entomologia da UFLA.

A Universidade Federal de Lavras pelo suporte material e estrutura física. E oportunidade de fazer o doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao Adriano pelo apoio em campo.

Se me esqueci de algum nome, peço desculpas, mas saiba que fez parte da pessoa que sou hoje e, portanto, faz parte dessa conquista. Meu muito obrigada!!!

RESUMO

Diferentes abordagens podem ser utilizadas para determinar a resiliência dos ecossistemas frente as mudanças ambientais, como entender a relação entre os atributos funcionais dos organismos e o funcionamento do ecossistema. As formigas podem ser utilizadas em estudos dessa relação, pois participam de interações importantes em praticamente todos os ecossistemas terrestres do planeta. Investigamos a relação entre morfologia corporal das formigas e tamanho do recurso utilizado via dois tipos de processos ecossistêmicos: predação de larvas e remoção de sementes. Também investigamos a relação de associação entre características morfológicas e variáveis ambientais. Para isso, usamos uma ampla caracterização morfológica de formigas coletadas em cinco áreas de fragmentos de Floresta Atlântica e fitofisionomias do Cerrado. Nesses ambientes coletamos as variáveis abertura de dossel, peso seco de serrapilheira e circunferência a altura da base das árvores. Para caracterizar predação e remoção de sementes, foram disponibilizadas larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus 1758 e sementes artificiais sob três classes de tamanho (pequeno, médio e grande), respectivamente. A fauna de formigas que interage com esses recursos foi também caracterizada. Em ambos os processos, a relação entre características morfológicas e tamanho do recurso, assim como entre variáveis ambientais só foi detectada quando a identidade da espécie foi considerada. O tamanho corporal (o comprimento de Weber) e as medidas mandibulares se relacionaram com o tamanho das sementes pequenas e médias em *Pachycondyla striata* e *Camponotus rufipes*, enquanto o tamanho do escapo em *Pheidole bucculenta*. Cada espécie teve uma associação diferente para cada variável ambiental do microclima. O peso seco de serrapilheira foi a variável ambiental com maior número de associações com as características morfológicas nas espécies pesquisadas. A relação entre o tamanho do recurso e morfologia das formigas pode não ser um fator determinante para o desempenho e/ou comportamento no processo, caso seja desconsiderada a identidade das espécies. Nossos resultados apontam para a utilização de características morfológicas das espécies como um parâmetro para o estudo da relação organismo-ambiente.

Palavras-chave: características morfológicas, variáveis ambientais, microclima, larvas, sementes, remoção, processos ecossistêmicos

ABSTRACT

Different approaches can be used to determine the resilience of ecosystems to environmental changes, such as understanding the relationship between the functional attributes of organisms and ecosystem functioning. Ants can be used in studies of this relationship, as they participate in important interactions in practically all terrestrial ecosystems on the planet. We investigated the relationship between ant body morphology and resource size through two types of ecosystem processes: larval predation and seed removal. We also investigated the association between morphological traits and environmental variables. For this, we used a broad morphological characterization of ants collected in five areas of Atlantic Forest fragments and Cerrado phytophysiognomies. In these environments, we collected the variables canopy opening, litter dry weight and circumference at the height of the tree base. To characterize predation and seed removal, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus 1758 and artificial seeds were made available in three size classes (small, medium and large), respectively. The ant fauna that interacts with these resources was also characterized. In both processes, the relationship between morphological characteristics and resource size, as well as between environmental variables, was only detected when species identity was considered. Body size (Weber length) and mandibular measurements were related to small and medium seed size in *Pachycondyla striata* and *Camponotus rufipes*, while scape size in *Pheidole bucculenta*. Each species had a different association for each microclimatic environmental variable. Litter dry mass was the environmental variable with the highest number of associations with morphological characteristics in the species surveyed. The relationship between resource size and ant morphology may not be a determining factor for performance and/or behavior in the process, if species identity is disregarded. Our results point to the use of morphological characteristics of the species as a parameter for the study of the organism-environment relationship.

Keywords: morphological characteristics, environmental variables, microclimate, larvae, seeds, removal, ecosystem processes

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS	16
SEGUNDA PARTE: ARTIGOS	18
ARTIGO I.....	19
RESUMO	21
ABSTRACT	22
1 INTRODUÇÃO.....	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DESENHO AMOSTRAL.....	25
2.2 EXPERIMENTO EM CAMPO.....	25
2.4 MEDIDAS MORFOLÓGICAS	27
2.4.1 DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS EM MILÍMETROS (MM):	28
2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
3 RESULTADOS	31
3.1 PREDACÃO.....	36
3.1.1 RELAÇÃO DA IDENTIDADE DAS ESPÉCIES E O TAMANHO DO RECURSO ...	40
3.2 REMOÇÃO	41
3.2.1 RELAÇÃO ENTRE ESPÉCIES E TAMANHO DOS RECURSOS.....	45
4 DISCUSSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	50
ANEXO A - MATERIAL SUPLEMENTAR	56
ARTIGO II	62
RESUMO	64
1 INTRODUÇÃO.....	66
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DESENHO AMOSTRAL.....	68
2.3 COLETA DAS FORMIGAS - EXPERIMENTO EM CAMPO.....	68
2.4 OBTENÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	69
2.5 COLETA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS LOCAIS.....	69

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	70
3 RESULTADOS	70
3.1 ESPÉCIES DO PROCESSO DE PREDACÃO	72
3.2 ESPÉCIES DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE SEMENTES	72
4 DISCUSSÃO	73
REFERÊNCIAS	77

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

O entendimento sobre as relações entre as funções dos organismos e os processos ambientais possibilita prever respostas dos ambientes frente às alterações e estabelecer as influências mútuas entre biodiversidade e o funcionamento do ecossistema (WIESCHER; PEARCE-DUVET; FEENER, 2012). Portanto, o funcionamento organizacional e a dinâmica de comunidades podem ser melhor compreendidos ao se analisar a relação entre a biologia das comunidades e ecologia funcional (DE PAULA, 2013).

Essas relações são representadas pelas adaptações às diferenças físicas e bióticas, comportamental, ecofisiológicas e/ou evolutivas entre os diferentes processos envolvendo um organismo, denominadas características ou atributos funcionais (DE BELLO et al., 2010). Essas características podem variar amplamente nos organismos e estar associadas a processos ecossistêmicos que as espécies participam (DALERUM et al., 2012).

Sendo assim, as características funcionais podem ser estimadas conforme o tipo, variedade e abundância relativa nas comunidades, compondo um conjunto de características (GERISCH et al., 2012), fazendo com que diferentes organismos possam agir conjuntamente no mesmo processo, caso tenham características funcionais semelhantes. Visto que alguns processos e serviços ecossistêmicos dependem da ação combinada de diferentes organismos, a compreensão dessas características auxilia no entendimento do seu funcionamento (DE BELLO et al., 2010).

As formigas são um grupo oportuno para o estudo dessas relações, pois elas participam de muitos processos nos ecossistemas, o que pode resultar em funções, que geram serviços ecossistêmicos, dos quais os humanos podem se beneficiar (ELIZALDE et al., 2020). As formigas atuam de forma direta ou indireta nesses processos e serviços como na ciclagem de nutrientes, concentração de nutrientes no solo, decomposição da matéria orgânica do solo, estruturação da comunidade de plantas, controle populacional de pragas, entre outros (DEL TORO; RIBBONS; PELINI, 2012a). O desenvolvimento desses processos ao longo do tempo está associado com o potencial evolutivo das espécies (DALERUM, 2013), onde a variação morfológica da colônia de formigas associada a divisão de tarefas, denominada de castas e subcastas (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990), pode direcionar essa interação. Diante da diversidade de espécies desse grupo, e o conhecimento que as características morfológicas podem ter evoluído independentemente entre si e entre populações (IMAI et al., 2016), a relação dessas interações é foco importante dentro da ecologia.

A variação de características morfológicas, como o tamanho de operárias de formigas, pode ser descrita como o resultado da interação entre fatores genéticos e ambientais, cujos mecanismos dessa relação têm sido foco de pesquisas (ALVARADO et al., 2015). Essa relação entre recurso e características morfológicas das formigas está pautada pelo polimorfismo, onde operárias maiores possuem proporcionalmente maior eficiência em termos de retorno energético (VIANA-BAILEZ; ENDRINGER, 2016), compensando a obtenção de mais recurso com o menor gasto energético.

Adicionalmente, a escolha do recurso por suas dimensões é fundamentada ao observar parâmetros que envolvem o processo. Por exemplo, na relação da função de predação em guildas de moscas usando material em decomposição, a formiga *Myrmecia pilosula* Smith 1858 ataca preferencialmente espécies de mosca com menor comprimento corpóreo, enquanto a vespa *Vespula germanica* Fabricius 1793 ataca as maiores (ARCHER; ELGAR, 2003). O entendimento dessas relações pode ser aplicado no controle de insetos que causam algum tipo de dano econômico, como alternativa ou complemento às práticas desse controle populacional.

Assim como a predação, o entendimento sobre o processo de remoção de sementes pode ser utilizado para observar quais práticas de recuperação de áreas impactadas podem ser eficazes para promover uma eficiência de processos ecossistêmicos nessas áreas. O conhecimento de como e quais sementes são transportadas, quais períodos (ANGOTTI et al., 2018), quais espécies e os fatores abióticos do ambiente são muito importantes para restauração da vegetação.

Fundamentalmente, entender quais fatores se relacionam com os processos ecológicos é relevante por oferecer aplicações práticas para a melhor gestão de recursos, o que realça a importância da compreensão das relações entre as características morfológicas e as alterações ambientais a nível local. Em ambientes antropizados, modificações na paisagem alteram a riqueza e composição de formigas; como exemplo, o aumento da distância de fragmentos florestais nativos resulta em redução das espécies de formigas nidificantes na monocultura de café (ARMBRECHT; PERFECTO, 2003). Variáveis locais como, a circunferência de plantas medidas à altura da base e peso seco de serrapilheira são variáveis correlacionadas em algum grau com a complexidade da vegetação. A serrapilheira disponibiliza recursos para formigas, como por exemplo, local de nidificação, fonte de recursos alimentares, entre outros (QUEIROZ; RIBAS; FRANÇA, 2013; WEISER et al., 2010). Assim como, a abertura de dossel em fragmentos florestais influencia a temperatura e umidade, que geram condições de

microclima que afetam a comunidade formigas, assim como na sua fisiologia através da disponibilidade de recursos (CORRÊA et al., 2010).

A riqueza de espécies em uma comunidade pode estar associada à manutenção dessas interações, e ser utilizada conjuntamente a parâmetros funcionais para entender melhor os mecanismos dos processos ecossistêmicos, uma vez que a riqueza de espécies não considera diferenças e semelhanças funcionais (DE PAULA, 2013).

Diante deste contexto, essa tese apresenta dois capítulos em forma de manuscritos que tem como objetivo central entender como características morfológicas de formigas se relacionam com os processos ecossistêmicos. Procuramos apontar características morfológicas de espécies de formigas como atributos funcionais nos processos de remoção de larvas de *Tenebrio molitor* e sementes artificiais. No primeiro capítulo, por meio de um estudo experimental, investigamos diferenças morfológicas entre as formigas que (i) removem larvas de besouros para quantificar predação e, (ii) que removem sementes para quantificar remoção de sementes no chão da floresta. Para isso, estudamos a relação entre morfologia e tamanho das sementes e larvas, quantificando os atributos associados a esses processos ecossistêmicos.

No segundo capítulo, estudamos a variação de características morfológicas de acordo com variáveis ambientais em fragmentos de Floresta Atlântica, procurando entender a relação entre morfologia (formigas predadoras de larvas e removedoras de sementes) e o microclima que ocorre esses processos.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, S. et al. Epigenetic variation in the *Egfr* gene generates quantitative variation in a complex trait in ants. **Nature Communications**, v. 6:6513, 2015.
- ANGOTTI, M. A. et al. Seed removal by ants in Brazilian savanna: optimizing fieldwork. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 155–161, 2018.
- ARCHER, M. S.; ELGAR, M. A. Effects of decomposition on carcass attendance in a guild of carrion-breeding flies. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 17, n. 3, p. 263–271, 2003.
- ARMBRECHT, I.; PERFECTO, I. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, n. 1–3, p. 107–115, 2003.
- CORRÊA, M. M. et al. How leaf-cutting ants impact forests: Drastic nest effects on light environment and plant assemblages. **Oecologia**, v. 162, n. 1, p. 103–115, 2010.
- DALERUM, F. et al. Interactive effects of species richness and species traits on functional diversity and redundancy. **Theoretical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 129–139, 2012.
- DALERUM, F. Phylogenetic and functional diversity in large carnivore assemblages. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1760, 2013.
- DE BELLO, F. et al. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 10, p. 2873–2893, 2010.
- DE PAULA, G. A. R. Perspectiva histórica e estudo de conceitos em ecologia funcional. **Oecologia Australis**, v. 17, n. 3, p. 331–346, set. 2013.
- DEL TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, n. August, p. 133–146, 2012.
- ELIZALDE, L. et al. The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. **Biological Reviews**, v. 95, n. 5, p. 1418–1441, 2020.
- GERISCH, M. et al. More species, but all do the same: Contrasting effects of flood disturbance on ground beetle functional and species diversity. **Oikos**, v. 121, n. 4, p. 508–515, 2012.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants Cambridge, Harvard University Press**, 1990. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=R-7TaridBX0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Hölldobler,+B.+%26+Wilson,+E.O.+1990.+The+ants&ots=sM-WfezR7f&sig=ha9dBwNMpThkJ3zQIGYjN5J-Dac#v=onepage&q=Hölldobler%2C+B.%26+Wilson%2C+E.O.+1990.+The+ants&f=false>>. Acesso em: 2022.
- IMAI, S. et al. Difference in evolutionary patterns of strongly or weakly selected characters among ant populations. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1–9, 2016.
- QUEIROZ, A. C. M.; RIBAS, C. R.; FRANÇA, F. M. Microhabitat characteristics that regulate ant richness patterns: The importance of leaf litter for epigeic ants. **Sociobiology**, v. 60, n. 4, p. 367–373, 2013.

VIANA-BAILEZ, A. M.; ENDRINGER, F. B. Plasticidade do comportamento de forrageamento em formigas cortadeiras. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 3Specialissue, p. 11–19, 2016.

WEISER, M. D. et al. Canopy and litter ant assemblages share similar climate–species density relationships. **Biology Letters**, v. 6, n. 6, p. 769–772, 23 dez. 2010.

WIESCHER, P. T.; PEARCE-DUVET, J. M. C.; FEENER, D. H. Assembling an ant community: Species functional traits reflect environmental filtering. **Oecologia**, v. 169, n. 4, p. 1063–1074, 2012.

SEGUNDA PARTE: ARTIGOS

ARTIGO I

**RELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA DE FORMIGAS E O TAMANHO
DE RECURSO ALIMENTAR NOS PROCESSOS DE PREDACÃO DE
LARVAS E REMOÇÃO DE SEMENTES**

Versão preliminar elaborado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003)

Relação entre morfologia de formigas e o tamanho de recurso alimentar nos processos de predação de larvas e remoção de sementes

Kênia Aparecida dos Santos¹; Carla R. Ribas²; Rogério R. Silva³; Ronald Zanetti ¹

1 Universidade Federal de Lavras - UFLA. Departamento de Entomologia - UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-900 Lavras, MG, Brasil. Autor correspondente: keniasantos.mf@gmail.com, (35)998416042.

2 Departamento de Ecologia e Conservação, Laboratório de Ecologia de Formigas, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG CEP 37200- 000, Brasil.

3 Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, Av. Perimetral 1901, 66077-830, Belém, Pará, Brasil.

RESUMO

A relação entre os atributos funcionais dos organismos e o funcionamento do ecossistema é uma das abordagens para determinar a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças ambientais. As formigas podem ser utilizadas em estudos dessa relação, pois participam de interações importantes em praticamente todos os ecossistemas terrestres do planeta. Investigamos a relação entre morfologia corporal das formigas e tamanho do recurso utilizado via dois tipos de processos ecossistêmicos: predação de larvas e remoção de sementes. Para isso, usamos uma ampla caracterização morfológica de formigas (21 caracteres) coletadas em cinco áreas de fragmentos de Floresta Atlântica e fitofisionomias do Cerrado. Para caracterizar predação e remoção de sementes, foram disponibilizadas larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus 1758 e sementes artificiais sob três classes de tamanho (pequeno, médio e grande). A fauna de formigas que interage com esses recursos foi também caracterizada. O comprimento máximo da mandíbula apresentou diferença para a predação de larvas médias. Quando a identidade das espécies foi avaliada quatro espécies de formigas diferem no comprimento da mandíbula ao removerem larvas médias. Diferentemente, para o processo de remoção de sementes, a relação entre características morfológicas e tamanho do recurso só foi detectada quando a identidade da espécie foi considerada. O tamanho corporal (o comprimento de Weber) e as medidas mandibulares se relacionaram com o tamanho das sementes pequenas e médias em *Pachycondyla striata*, *Camponotus rufipes* e *Holcaponera striatula* enquanto o tamanho do escape em *Pheidole bucculenta*. Esses resultados demonstram a importância da identidade das espécies nesse tipo de estudo, pois a avaliação da morfologia e tamanho do recurso utilizado foi determinada pelas características fenotípicas das espécies. Além disso, a relação entre o tamanho do recurso e morfologia das formigas pode não ser um fator determinante para o desempenho e/ou comportamento no processo, caso seja desconsiderada a identidade das espécies.

Palavras-chave: características morfológicas, larvas, recurso alimentar, processos ecossistêmicos, fragmentos florestais

ABSTRACT

The relationship between the functional attributes of organisms and the functioning of the ecosystem is one of the approaches to determine the resilience of ecosystems in the face of environmental changes. Ants can be used in studies of this relationship, as they participate in important interactions in practically all terrestrial ecosystems on the planet. We investigated the relationship between ant body morphology and resource size through two types of ecosystem processes: larval predation and seed removal. For this, we used a broad morphological characterization of ants (21 characters) collected in five areas of Atlantic Forest fragments and Cerrado phytophysionomies. To characterize predation and seed removal, *Tenebrio molitor* Linnaeus 1758 larvae and artificial seeds were made available in three size classes (small, medium and large). The ant fauna that interacts with these resources was also characterized. The maximum length of the mandible showed differences for the predation of medium larvae. When species identity was assessed, four ant species differed in jaw length when removing medium larvae. In contrast, for the seed removal process, the relationship between morphological characteristics and resource size was only detected when species identity was considered. Body size (Weber length) and mandibular measurements were related to small and medium seed size in *Pachycondyla striata* and *Camponotus rufipes* and *Holcoponera striatula*, while scape size in *Pheidole bucculenta*. These results demonstrate the importance of species identity in this type of study, since the evaluation of the morphology and size of the resource used was determined by the phenotypic characteristics of the species. Furthermore, the relationship between resource size and ant morphology may not be a determining factor for performance and/or behavior in the process, if species identity is disregarded.

Keywords: morphological characteristics, larvae, food resource, ecosystem processes, forest fragments

1 INTRODUÇÃO

Informações sobre as características morfológicas das espécies podem auxiliar no entendimento sobre a atuação dos organismos e sua importância dentro dos ecossistemas (HILLEBRAND; MATTHIESSEN, 2009). As características, comumente denominadas atributos funcionais, podem ter natureza fisiológica, morfológica, fenológica e comportamental. A compreensão sobre atributos funcionais pode auxiliar na compreensão da resiliência dos ecossistemas às mudanças ambientais e, portanto, ampliar o conhecimento de processos ecossistêmicos (FOLKE et al., 2004) e seus serviços (ELIZALDE et al., 2020).

Dentro dessa perspectiva, o entendimento de processos ecossistêmicos, como por exemplo, a predação ou mirmecocoria, utilizando as formigas como organismos modelo, pode reforçar o entendimento da relação entre características morfológicas ou funcionais e dinâmica ambiental. Para isso, a identificação de características funcionais dos organismos é fundamental. As formigas são consideradas grupo-chave em vários processos ecológicos (DEL TORO; RIBBONS; PELINI, 2012b)), sensíveis às alterações ambientais (RIBAS et al., 2012) e por isso podem fornecer informações que permitem prever quais serão as implicações ecológicas e funcionais nos ecossistemas em resposta aos distúrbios (TIEDE et al., 2017).

A utilização de características morfológicas é uma abordagem que permite testar os mecanismos envolvidos na formação de comunidades, sendo possível comparações em nível local, regional e global (e.g., SILVA; BRANDÃO, 2014). A partir disso, é possível, por exemplo, elaborar novas políticas ambientais para conciliar atividades humanas, como a expansão do setor de silvicultura (REZENDE; PEREIRA; BOTELHO, 2013), e processos ecológicos que resultam em serviços ecossistêmicos.

Nesse sentido, é relevante o estudo de processos ecológicos desempenhados pelas formigas, como a predação, porque as formigas representam um dos principais grupos de predadores em ambientes florestais (SEIFERT et al., 2016). Por exemplo, algumas aplicações práticas incluem o uso para o controle biológico da broca-do-café (MORRIS; PERFECTO, 2016), controlando outras populações, dependendo das condições ambientais, em agrossistemas, por exemplo (ENNIS; PHILPOTT, 2019). Dessa maneira, as características morfológicas do predador, como características da mandíbula, se relacionam com as características da presa (OHKAWARA et al., 2017); em alguns casos, as características morfométricas se correlacionam com respostas comportamentais, aumentando a eficiência da predação (LATIFIAN, 2018). Essas conexões evidenciam que a natureza e a força de

interações dependem da amplitude das características funcionais entre predador e presa (SCHMIDT; SCHOEREDER; CAETANO, 2017).

O entendimento dessa relação também é buscado em outras relações ecológicas como a mirmecocoria (dispersão de sementes) realizada pelas formigas. As formigas carregam as sementes, atraídas pela elaiossoma (composição lipídica alta) e assim, favorecem o movimento genético espacial e temporal das plantas, que obtêm inúmeros benefícios, como dispersão, proteção (predadores de sementes e fogo) ou microambientes protegidos e ricos em nutrientes para germinação (ELIZALDE et al., 2020; LENGYEL et al., 2010). Alguns trabalhos avaliaram essa relação entre formiga-planta (ANGOTTI et al., 2018; BEAUMONT; MACKAY; WHALEN, 2011; BOLOGNA et al., 2017; BOTTCHEER et al., 2016; BOULAY et al., 2007; FARNESE; CAMPOS; FONSECA, 2011). E também os elementos da interação entre formiga-semente, tais como, a manipulação prévia da semente (BIEBER; SILVA; OLIVEIRA, 2013); a morfologia, a sinalização química e a qualidade nutricional das sementes (TURNER; FREDERICKSON, 2013); além do tamanho da semente (MATOS; SANTANA; BACCARO, 2020).

Nessa associação entre recurso e morfologia das formigas, uma vez que são organismos eusociais, a presença de subcastas de operárias devido a divisão de tarefas dentro das colônias pode ser um elemento importante. Subcastas em operárias de formigas estão associadas a diferenças de tamanho e forma do corpo, desde espécies monomórficas (sem distinção de tamanho), dimórficas ou polimórficas com acentuada diferenciação de tamanho (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990). Outro elemento é alta diversidade filogenética, onde priorizar a identidade (espécies) na comunidade de formigas, pode fornecer indícios sobre o processo evolutivo do grupo com o desenvolvimento futuro dos processos ecossistêmicos (DALERUM, 2013).

Algumas características morfológicas como as dimensões dos olhos, pecíolo e mandíbula podem ter relação com o tamanho do recurso alimentar em processos, pois estão relacionados a localização e manipulação dos recursos (larva ou semente em nosso caso), vinculados ao comportamento de forrageio na predação (SCHOFIELD; BISHOP; PARR, 2016; SILVA; BRANDÃO, 2010). Embora as características das formigas possam estar associadas com o tamanho e forma de recursos alimentares especializados em diferentes tipos de habitat (PENN; CRIST, 2018), ainda não está claro se há um conjunto de características fenotípicas de formigas associadas aos processos de predação de larvas e remoção de sementes no chão de florestas. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi entender a relação entre as características morfológicas de formigas, predação de larvas e remoção de sementes. Para

isso, foram utilizados diferentes tamanho de recursos - larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 e sementes, avaliando conjuntamente as características morfológicas das formigas à execução destes processos e, assim, identificando características funcionais relacionados aos processos. As seguintes hipóteses foram avaliadas: i) a importância relativa de características morfológicas para a predação de larvas e remoção de sementes serão diferentes, pois estão realizando processos ecológicos distintos; ii) quanto maiores os olhos, pecíolo e mandíbulas, maior será o recurso utilizado; iii) cada espécie terá um conjunto de características associadas ao tamanho do recurso alimentar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área e desenho amostral

O experimento de campo foi desenvolvido no município de Andrelândia, Minas Gerais (21°44'23" S, 44°18'33" W). Esta região está inserida no sudeste de Minas Gerais, vegetação composta por Florestas Estacionais Semidecíduas - Mata Atlântica - (RODELA; TARIFA, 2002) e Cerrado. O clima é do tipo Cwb (classificação de Köppen-Geiger), com temperatura média em torno de 20°C (amplitude média de 13,1° a 25,5°) e média anual de precipitação pluvial de 1.200 mm (LEMOS FILHO; FERREIRA; DE LYRA, 2017). Os dados foram coletados no período chuvoso (fevereiro a março).

Para a realização do experimento foram selecionadas cinco áreas de vegetação nativa secundária separadas entre si com uma distância mínima de 500 metros. Em cada área foi demarcado um transecto com cinco pontos de coleta, espaçados 20 metros entre si (CANEDO-JÚNIOR et al., 2017; QUEIROZ; RIBAS; FRANÇA, 2013; RABELLO et al., 2015), totalizando 80 metros de extensão. Esses fragmentos de floresta apresentavam elementos de atividades de antrópicas, como trilhas em seu interior, vestígios de presença de gado, além da matriz de plantios de eucaliptos usados em uma carvoaria.

2.2 Experimento em campo

Para avaliar predação por formigas foram utilizadas larvas de *Tenebrio molitor* como fonte proteica. Para a verificação da função de predação, em cada ponto de observação nos transectos, distribuímos separadamente cinco larvas de tamanho pequeno, cinco de tamanho médio e cinco de tamanho grande (modelo cafeteria, os valores médios e desvio padrão de cada classe estão no anexo A- seção 1) sobre folhas encontradas na serrapilheira. As pernas das larvas vivas foram presas ao corpo com uma linha (passamos uma linha de costura no segundo e terceiro par de pernas) para dificultar sua locomoção. Em seguida, todas interações

(consideramos a retirada do recurso alimentar da folha como interação) entre formigas e as larvas foram observadas por 4 horas, com intervalos de dez minutos em cada ponto, totalizando 48 minutos em cada. As formigas que carregaram o recurso por uma distância igual ou superior a 30 cm do ponto estabelecido (RABELLO; BERNARDI; RIBAS, 2014) para caracterizar a remoção do local onde o recurso foi disponibilizado, foram coletadas e acondicionadas em potes devidamente etiquetados, contendo álcool 70%. A fonte proteica também foi coletada para identificação da classe de tamanho.

Para a verificação do processo de remoção de sementes utilizamos sementes artificiais (miçangas de plástico coberta por uma substância rica em lipídios que é atrativa para as formigas) (BIEBER; SILVA; OLIVEIRA, 2013). Essas sementes são comparáveis, em termos de composição, à elaiossoma que compõe a parte atrativa de algumas sementes naturais (somente de plantas mirmecocóricas), o que possibilita o controle do tipo e a quantidade, assim como, sementes com tamanhos e pesos diferentes, com a mesma composição atrativa. Além disso, possui alta taxa de sucesso de carregamento quando comparada a sementes naturais em alguns ambientes (ANGOTTI et al., 2018). A composição atrativa é uma solução composta por gordura vegetal (75%), frutose (4,8%), sacarose (0,5%), glicose (4,7%), caseína (7%), carbonato de cálcio (3%) e maltodextrina (5%) (baseado em (RABELLO; BERNARDI; RIBAS, 2014). Em cada ponto foram dispostas (modo cafeteria) separadamente 20 sementes de tamanho pequeno, médio e grande sobre folhas presente na serrapilheira local (anexo A seção 1). Foram observados por 4 horas, com intervalos de dez minutos (48 minutos total) em cada ponto. As formigas que deslocavam as sementes distanciando da superfície das folhas por 30 centímetros foram coletadas e transferidas para recipientes contendo álcool a 70% e etiquetadas. Os detalhes sobre o pré-teste para verificação do carregamento do recurso alimentar estão no anexo A seção 1. Ambos experimentos foram realizados ao mesmo tempo em pontos distanciados por 50 metros entre cada processo (predação de larvas e remoção de sementes).

As formigas, inicialmente, foram classificadas em gêneros usando chave taxonômicas (ARCILA; LOZANO-ZAMBRANO., 2003; BACCARO et al., 2015). Em seguida, morfoespeciadas utilizando caracteres morfológicos específicos para cada gênero. No final, a identificação de espécies e morfoespécies foi confirmada por taxonomista (Lívia Prado). Todo material foi identificado e depositado no Laboratório de Entomologia Florestal da Universidade Federal de Lavras.

2.4 Medidas morfológicas

As formigas foram montadas em triângulos de papel cartolina na posição ventral, e entre o segundo par de pernas, para estudo com material seco. Em seguida, todas as formigas coletadas foram fotografadas usando um microscópio estereoscópico Zeiss Stemi 2000-C acoplado a uma câmera Refoco-Mod.UA1000CA-10MP. Posteriormente, as fotografias foram usadas para obtenção de medidas morfológicas no software Image View x64, 3.7.11330. Todas as medidas foram realizadas com aumento máximo e que ainda possibilitasse a obtenção das medidas.

Foram medidas 21 características morfológicas para uma caracterização detalhada da morfologia das formigas (Tabela 1). Todas as formigas observadas removendo (predando larvas e removendo de sementes) foram coletadas. Indivíduos de diferentes subcastas (de acordo com a literatura classificatória entre espécies polimórficas e monomórficas) de operárias foram medidos (operárias menores, médias e maiores) e identificados na matriz morfológica.

Tabela 1 - As características morfológicas e hipóteses de associação com o processo de predação e de remoção de sementes. (continua)

Característica morfológica mensurada	Estudo indicador da característica	Provável associação com a função
Largura e comprimento da mandíbula	Oliveira et al., 2015	Relação com o tamanho dos recursos utilizados.
Amplitude da mandíbula (grau de abertura) - medir a base	Silva & Brandão, 2010	Juntamente com outras características da mandíbula, pode determinar o tamanho do recurso transportado.
Diâmetro do olho composto	Bihn et al., 2010	Relação com período de forrageamento e detecção de movimento de objetos.
Largura interocular (entre os olhos)	Oliveira et al., 2015	Influência da estrutura do habitat: maior a distância entre olhos, maior a vantagem em habitats complexos.
Distância do olho composto à inserção da mandíbula	Silva & Brandão, 2010; Podgaiski et al. 2011; Oliveira et al., 2015	Relação com diferentes desempenhos das espécies predatórias visuais, especialização alimentar e distribuição das espécies na serapilheira.
Comprimento e largura do fêmur posterior	Silva & Brandão, 2014	O tamanho das pernas se relaciona com velocidade, força e local de forrageamento em formigas.
Comprimento e largura da tíbia posterior		
Comprimento e largura da coxa	Si-Pei Liu et al., 2019	Descrevem a importância das coxas para a movimentação das pernas no deslocamento.
Comprimento e altura do pecíolo	Tschinkel, 2013; Silva & Brandão, 2014	Influencia no comportamento e desempenho das espécies predadoras, eficiência com as articulações.

Tabela 1 - As características morfológicas e hipóteses de associação com o processo de predação e de remoção de sementes. (continuação)

Característica morfológica mensurada	Estudo indicador da característica	Provável associação com a função
Comprimento do tórax (mesossoma) Largura do pronoto (tórax)	Ali & Schroder, 2019	Descrevem a importância do tronco para a força desempenhada pelas formigas.
Comprimento do escapo	Weiser and Kaspari 2006; Tschinkel, 2013; Parr-Donoso et al., 2017	Tamanho do escapo se relaciona com capacidade sensorial em formigas, como localização de recursos.
Comprimento e largura da cabeça	Bihn et al., 2010; Wiescher et al., 2012	Correlação com o tamanho corporal, indicando a quantidade de recurso coletado/consumido.

Fonte: Do autor (2022)

2.4.1 Descrição das características morfológicas em milímetros (mm):

- **Medidas da cabeça (em vista frontal):**
 - i. largura da mandíbula (MW): distância máxima da margem basal (interna) da mandíbula até a sua margem externa;
 - ii. comprimento da mandíbula (ML): em linha reta (transversal) e na margem externa, considerando a extensão do ponto de inserção das mandíbulas até o dente apical;
 - iii. largura máxima da mandíbula (horizontal- MMW): linha paralela ao ponto de inserção das mandíbulas até o dente apical;
 - iv. distância entre pontos de inserção da mandíbula (gap- MG): distância máxima da margem basal (interna) até a sua margem externa;
 - v. comprimento do olho (EL): comprimento máximo dos olhos, tomado ao longo do maior eixo dos olhos (em geral, entre as margens inferior e posterior);
 - vi. largura do olho (EW): tomada ao longo do menor eixo dos olhos, em geral ligando as margens laterais;
 - vii. posição do olho na cabeça (ID): diferença entre a largura da cabeça e a distância entre o olho esquerdo e direito;
 - viii. distância do olho à inserção da mandíbula (DEMI): distância mínima entre a margem inferior do olho ao ponto de inserção da mandíbula;
 - ix. comprimento da cabeça (HL): linha reta considerando a distância entre a região central do occipício até a região central da margem inferior do clipeo;

- x. largura da cabeça (HW): linha reta considerando a extensão máxima entre os lados esquerdo e direito, em geral na altura superior dos olhos compostos;
 - xi. comprimento do escapo (SL): o maior comprimento do escapo da antena, excluindo o côndilo basal e sua ligação ao escapo;
- **Medidas do mesossoma:**
- xii. Comprimento de Weber (WL): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a extensão da base occipital (junção entre a cabeça e o mesossoma) até o ângulo pósterio-inferior da metapleura;
 - xiii. largura do pronoto torácico (PrW): em vista dorsal, a largura máxima do pronoto (entre as margens laterais), excluindo espinhos, tubérculos ou outras proeminências cuticulares nos ângulos humerais do pronoto.
- **Medidas dos apêndices motores:**
- xiv. comprimento do fêmur (FL): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a distância máxima entre a região basal de contato com o trocânter até a região distal de contato com a tíbia.
 - xv. largura do fêmur (FW): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a largura;
 - xvi. comprimento da tíbia (TL): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a extensão entre a região basal de contato com o fêmur à região distal de contato com o basitarso;
 - xvii. largura da tíbia (TW): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a largura máxima;
 - xviii. comprimento da coxa (CL): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a extensão entre a região basal de contato com o mesossoma até a região distal de contato com o trocânter;
 - xix. largura da coxa (CW): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a largura máxima;
 - xx. comprimento do pecíolo (PL): em vista lateral, medida em linha reta considerando-se a distância entre a margem do lobo metapleural à margem dorsal do pedúnculo posterior, incluindo o pós-pecíolo;
 - xxi. largura do pecíolo (PW): em vista dorsal, a largura máxima do pecíolo.

2.5 Análises estatísticas

Realizamos três seleções de variáveis: i) uma matriz total, utilizando as medidas das características morfológicas de ambos processos (remoção de larvas e sementes) conjuntamente, para verificar diferenças das características morfológicas entre dois processos; ii) uma matriz de predação, utilizando somente as medidas mensuradas de formigas encontradas removendo as larvas para verificar características associadas ao processo de predação; e iii) uma matriz de remoção, utilizando somente as medidas mensuradas de formigas que removeram as sementes artificiais para verificar características associadas ao processo de remoção. Todos os passos subsequentes foram desenvolvidos para cada matriz de dados citada acima.

Matriz morfológica

Para diminuir a redundância dos dados entre as medidas e tamanho do corpo (SCHOFIELD; BISHOP; PARR, 2016), os dados foram padronizados, dividindo-se cada medida pelo tamanho do corpo (i.e., comprimento de Weber). Em seguida, os valores foram transformados em logaritmos na base 10 para aproximar normalidade (MARTELLO et al., 2018); outliers foram excluídos das análises, por meio do intervalo interquartil (percentil 0,5).

Para entender a contribuição relativa das medidas na matriz morfológica, empregamos uma análise de componentes principais (PCA) para as medidas combinadas de predação de larvas e remoção de sementes (matriz total). Esse procedimento foi repetido utilizando os dados de ambos processos separadamente (matriz de predação e matriz de remoção de sementes), permitindo selecionar um conjunto reduzido de 11 variáveis morfológicas em cada processo, que foi utilizada nos modelos estatísticos (abaixo), com base na correlação entre as características e as dimensões dos dois primeiros componentes principais. A seleção das variáveis baseou-se nos valores de contribuição das características morfológicas para a formação dos dois primeiros eixos (valores entre -0,337 e 0,327 para a matriz de dados de predação e valores entre 0,126 e 0,763 para a matriz de dados de remoção das sementes) em cada quadrante da PCA.

Modelos estatísticos

Para verificar se as características morfológicas entre os processos são diferentes, aplicamos modelos lineares generalizados mistos (GLMM) com probabilidade restrita (REML), que produz estimativas imparciais para os processos (ou seja, efeitos fixos), considerando correlação das medidas dentro das espécies e dentro de subcastas (ou seja, efeitos aleatórios) utilizando a matriz total.

Para verificar quais características morfológicas estão associadas ao processo de predação de larvas e remoção de larvas em diferentes tamanhos de recurso alimentar aplicamos um modelo linear generalizado misto (GLMM) separadamente, em que a variável preditora foi o tamanho do recurso alimentar (pequeno, médio e grande para as larvas e sementes artificiais; tabela 2 do material suplementar) e variável resposta foram as medidas (contínuas) das 11 variáveis morfológicas. Como termo aleatório utilizamos espécies e subcastas (operárias menores, médias e maiores de acordo com a classificação de monomórficas e polimórficas), permitindo que o intercepto varie entre espécies e a subcastas. Adicionalmente, construímos um segundo modelo para cada matriz (matriz de predação e matriz de remoção) onde o tamanho do recurso e as espécies foram utilizadas como efeito fixo, procurando identificar se há diferenças morfológicas entre espécies que participam de um mesmo processo ecológico. Foram excluídas desse segundo modelo as espécies com número de indivíduos menor que cinco (média de indivíduos que possibilita aplicar o modelo e utilizada em estudos morfológicos (SILVA; BRANDÃO, 2014).

Todas as análises foram feitas no software R (R Core Team, 2021). Para construção da PCA e seleção de variáveis, utilizamos o pacote *factoextra* (KASSAMBARA; MUNDT, 2020). Os modelos estatísticos foram construídos com os pacotes *fmsb* (NAKAZAWA, 2022), *nlme* (PINHEIRO et al., 2019) e *lme4* (BATES et al., 2015)(BATES et al., 2015). Os gráficos foram construídos com os pacotes *visreg* (BREHENY; BURCHETT, 2017) e *ggplot2* (WICKHAM, 2016).

3 RESULTADOS

No total, observamos e medimos 266 interações, sendo 129 formigas no estudo de predação e 137 formigas no estudo de remoção de sementes artificiais. Em termos de estrutura taxonômica, registramos 7 gêneros e 24 espécies/morfoespécies. No estudo de predação, identificamos 5 gêneros e 18 espécies; no estudo de de remoção de sementes, 7 gêneros e 14 espécies. Em termos de variação fenotípica no estudo de predação, 76 indivíduos pertencentes à subcasta média, 46 indivíduos como subscata menor e 7 indivíduos como subcasta menor. Na remoção, foram classificados 61 indivíduos como na subcasta na media e 68 na subcasta menor e 8 como subcasta maior. No processo de remoção 34 indivíduos removeram sementes grandes, 46 médias e 57 pequenas; no processo de predação, 26 indivíduos removeram sementes grandes, 46 médias e 58 pequenas.

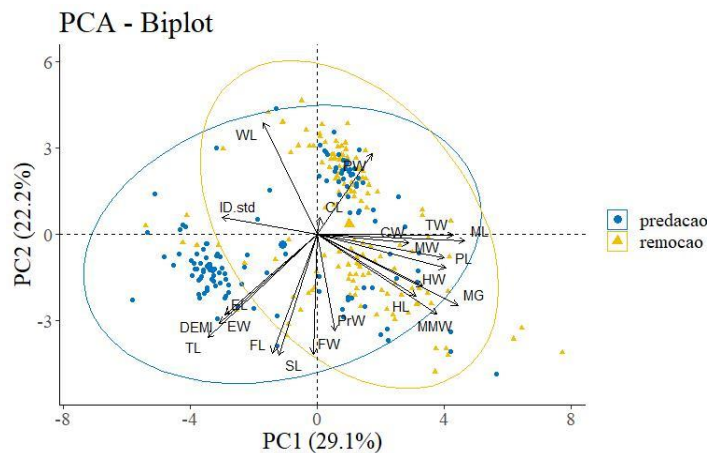
Morfologia

Considerando a análise de PCA gerada a partir dos dados de predação e remoção de sementes (matriz total), identificamos no espaço morfológico destas PCAs quais características morfológicas foram associadas com variação morfológica dentro de cada processo. Entre os indivíduos medidos a distância do olho à inserção da mandíbula e comprimento de apêndices (olho, tíbia e fêmur) estão associados e explicam a variação morfológica entre formigas predadoras e as removedoras de semente (tabela 2 do material suplementar, Figura 1).

Modelos estatísticos

De acordo com o modelo, as variáveis morfológicas que diferiram entre os processos (predação e remoção- matriz total) foram: posição do olho na cabeça, comprimento máximo da mandíbula (horizontal), diferença de distância entre pontos de inserção da mandíbula (GAP), distância do olho a inserção da mandíbula, comprimento do fêmur, comprimento da tíbia, largura do pecíolo, comprimento do pecíolo, comprimento da coxa e largura da cabeça (estimativas dos parâmetros dos modelos na tabela 2).

Figura 1 - A análise de componentes principais (PCA) dos processos de predação de larvas e remoção de sementes.



Fonte: Do autor (2022).

Legenda: PCA demonstrando a proporção da variância das características morfológicas (MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizontal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça) de formigas que participaram de dos dois processos ecossistêmicos: predação

de larvas (círculos preenchidos na cor azul) e remoção de sementes artificiais (triângulo preenchido na cor amarela), explicada pelos primeiros dois eixos da PCA.

Tabela 2 - Estimativas de parâmetros para GLMMs examinando como as variáveis morfológicas diferem entre os processos (predação e remoção). (continua)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	F	p
Largura da mandíbula (MW)	Efeito fixos	intercepto	0,160	0,008	365,823	
		processos	-0,002	0,005	0,278	0,598
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,030			
Comprimento da mandíbula (ângulo reto- ML)	Efeito fixos	intercepto	0,454	0,019	564,138	
		processos	-0,016	0,008	3,620	0,058
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,051			
Comprimento da mandíbula (horizontal - MMW)	Efeito fixos	intercepto	0,207	0,010	348,736	
		processos	-0,022	0,004	23,754	<,0001
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,027			
Distância entre pontos de inserção da mandíbula (GAP)	Efeito fixos	intercepto	0,504	0,028	298,009	
		processos	-0,021	0,008	6,594	0,010
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,048			
Posição do olho na cabeça (ID)	Efeito fixos	intercepto	0,091	0,011	38,386	
		processos	-0,043	0,007	33,469	<,0001
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,046			
Comprimento do olho (EL)	Efeito fixos	intercepto	0,138	0,005	647,183	
		processos	0,000	0,002	0,015	0,902
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,014			
		espécies	0,026			

Est - estimativa do modelo; **SE** - erro padrão; **F** - valor do teste F; **p** - valor de significância; **DP** - desvio padrão da variável randômica

O grau de liberdade para os efeitos fixos foi igual a 1; o número de observações dos efeitos randômicos foi 271.

Tabela 2 - Estimativas de parâmetros para GLMMs examinando como as variáveis morfológicas diferem entre os processos (predação e remoção). (continuação ...)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	F	p
Largura do olho (EW)	Efeito fixos	intercepto	0,102	0,004	533,568	
		processos	0,001	0,002	0,7592	0,384
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,012			
espécies		0,021				
Distância do olho à inserção da mandíbula (DEMI)	Efeito fixos	intercepto	0,209	0,011	310,222	
		processos	-0,015	0,004	13,735	0,0001
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,024			
espécies		0,050				
Comprimento da cabeça (HL)	Efeito fixos	intercepto	0,770	0,021	1376,167	
		processos	-0,007	0,010	0,5332	0,466
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,061			
espécies		0,520				
Largura da cabeça (HW)	Efeito fixos	intercepto	0,682	0,028	543,557	-
		processos	-0,067	0,012	30,641	<0,000 1
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,072			
espécies		0,101				
Comprimento do escapo (SL)	Efeito fixos	intercepto	0,790	0,025	967,1666	
		processos	-0,026	0,013	3,519	0,0619
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,084			
espécies		0,108				
Comprimento de weber (WL)	Efeito fixos	intercepto	1,927	0,303	42,035	
		processos	0,073	0,052	1,949	0,163
		DP				
	Efeitos randômicos	subcastas	0,310			
espécies		1,509				

Est - estimativa do modelo; **SE** - erro padrão; **F** - valor do teste F; **p** - valor de significância; **DP** - desvio padrão da variável randômica

O grau de liberdade para os efeitos fixos foi igual a 1; o número de observações dos efeitos randômicos foi 271.

Tabela 2 - Estimativas de parâmetros para GLMMs examinando como as variáveis morfológicas diferem entre os processos (predação e remoção). (continuação)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	F	p
Largura do pronoto torácico (PrW)	Efeito fixos	intercepto	0,004	0,016	706,281	
		processos	0,004	0,007	0,460	0,498
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,043			
Comprimento do fêmur (FL)	Efeito fixos	intercepto	0,897	0,027	1107,783	
		processos	-0,031	0,012	6,785	0,0098
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,074			
Largura do fêmur (FW)	Efeito fixos	intercepto	0,141	0,005	808,500	
		processos	-0,005	0,002	3,287	0,071
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,017			
Comprimento da tíbia (TL)	Efeito fixos	intercepto	0,701	0,031	505,612	
		processos	-0,021	0,010	4,440	0,0361
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,061			
Largura da tíbia (TW)	Efeito fixos	intercepto	0,103	0,004	688,574	
		processos	0,001	0,001	0,361	0,548
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,012			
Comprimento da coxa (CL)	Efeito fixos	intercepto	0,246	0,005	2809,217	
		processos	-0,009	0,004	4,052	0,0452
	Efeitos randômicos		DP			
		subcastas	0,030			
		espécies	0,016			

Est - estimativa do modelo; **SE** - erro padrão; **F** - valor do teste F; **p** - valor de significância; **DP** - desvio padrão da variável randômica

O grau de liberdade para os efeitos fixos foi igual a 1; o número de observações dos efeitos randômicos foi 271.

Tabela 2 - Estimativas de parâmetros para GLMMs examinando como as variáveis morfológicas diferem entre os processos (predação e remoção). (conclusão)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	F	p
Largura da coxa (CW)	Efeito fixos	intercepto	0,161	0,003	3067,295	
		processos	0,000	0,003	0,0691	0,792
			DP			
	Efeitos randômicos	subcastas	0,021			
		espécies	0,009			
Comprimento do pecíolo (PL)	Efeito fixos	intercepto	0,386	0,031	131,358	
		processos	-0,071	0,010	48,745	<,0001
			DP			
	Efeitos randômicos	subcastas	0,062			
		espécies	0,151			
Largura do pecíolo (PW)	Efeito fixos	intercepto	0,195	0,012	312,285	
		processos	0,041	0,007	32,816	<,0001
			DP			
	Efeitos randômicos	subcastas	0,044			
		espécies	0,054			

Fonte: Do autor (2022).

Baseado nesse resultado, selecionamos as características morfológicas separadamente nos processos ecossistêmicos (predação de larvas e remoção de sementes), para avaliar a relações entre características morfológicas das formigas e tamanho do recurso.

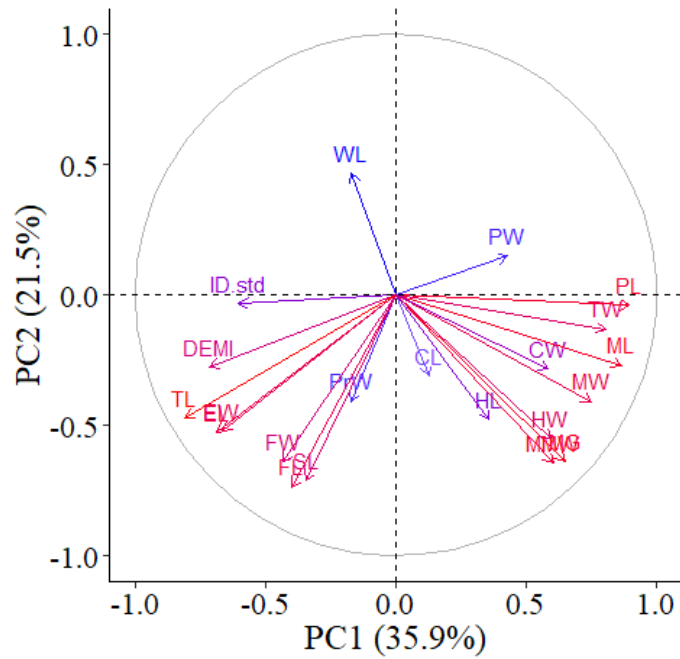
3.1 Predação

Morfologia

Considerando a análise de PCA gerada a partir dos dados de predação (matriz de predação), identificamos no espaço morfológico um grupo de 11 características que contribuíram com variação morfológica dos dois primeiros componentes. Os dois componentes selecionados representam juntos 57.37% da variância dos dados (Figura 2, tabela 3 do material suplementar). No primeiro quadrante foi selecionado o comprimento de Weber (WL), no terceiro quadrante o comprimento da tíbia (TL), comprimento do escapo (SL), comprimento do olho (EL), comprimento do fêmur (FL), largura do olho (EW), e no quarto quadrante o comprimento do pecíolo (PL), comprimento da mandíbula (formando um angulo reto-ML), distância entre pontos de inserção da mandíbula (gap- MG), largura da mandíbula (MW), comprimento máximo da mandíbula (horizontal- MMW).

As dimensões dos olhos, pernas e escapo possuem associação entre si, apresentando relação oposta com a largura do pecíolo. As características mandibulares estão associadas entre si, com relação oposta ao comprimento de Weber.

Figura 2 - A análise de componentes principais (PCA) do processo de predação de larvas.



Fonte: Do autor (2022).

Legenda: PCA demonstrando a proporção da variância das características morfológicas (MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizontal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça) de formigas que participaram da predação de larvas, explicada pelos primeiros dois eixos da PCA. Variáveis mais próximas do centro são menos importantes para a composição dos dois eixos (azul). Variáveis com alta representatividade no componente principal está afastada do centro do círculo (vermelha).

Modelos estatísticos

Verificamos através do primeiro modelo que relaciona a variável morfológica com o tamanho do recurso que formigas com maiores comprimentos máximo da mandíbula (MMW-direção horizontal) carregam recursos de tamanho médio numa relação de 0.3633 mm. Nenhuma das demais características morfológicas apresentaram diferenças significativas na relação entre variáveis morfológicas e tamanho do recurso.

Tabela 3 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequeno, médio e grande). (continua)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	T	p
Largura da mandíbula (MW)	Efeito fixos	intercepto	6,408	1,868	3,430	
		médio	0,107	0,247	0,434	0,664
		grande	0,526	0,344	1,528	0,126
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,956	0,913		
		espécies	1,056	1,115		
Comprimento máximo da mandíbula (MMW)	Efeito fixos	intercepto	5,838	1,411	4,138	
		médio	-0,363	0,149	-2,436	0,014
		grande	-0,129	0,215	-0,602	0,547
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,643	0,414		
		espécies	0,752	0,565		
Comprimento da mandíbula (ML)	Efeito fixos	intercepto	2,233	0,353	6,325	
		médio	-0,061	0,057	-1,063	0,288
		grande	0,057	0,078	0,733	0,464
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,157	0,024		
		espécies	0,377	0,142		
Distância entre pontos de inserção da mandíbula (MG)	Efeito fixos	intercepto	3,040	0,640	4,749	
		médio	-0,056	0,039	-1,413	0,158
		grande	0,067	0,057	1,169	0,242
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,234	0,055		
		espécies	0,550	0,302		
Comprimento do olho (EL)	Efeito fixos	intercepto	6,955	0,388	17,884	
		médio	-0,002	0,132	-0,020	0,984
		grande	0,169	0,164	1,032	0,302
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,000	0,000		
		espécies	0,801	0,641		

Est - estimativa do modelo: demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; **SE** - erro padrão: estima a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; **T**: valor do teste t: mede o tamanho da diferença em relação à variação nos dados de sua amostra; **p** - valor de significância; **var** - variância da variável randômica; **DP** - desvio padrão da variável randômica.

Tabela 3 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequeno, médio e grande). (conclusão)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	T	p
Comprimento do escapo (SL)		intercepto	1,194	0,054	21,978	
	Efeito fixos	médio	-0,006	0,023	-0,276	0,782
		grande	0,037	0,037	0,980	0,327
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,013	0,000		
		espécies	0,100	0,010		
			intercepto	1,006	0,096	10,424
Comprimento de Weber (WL)	Efeito fixos	médio	0,005	0,006	0,806	0,420
		grande	-0,001	0,007	-0,165	0,869
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,023	0,000		
		espécies	0,210	0,044		
			intercepto	4,299	0,497	8,640
	Comprimento do pecíolo (PL)	Efeito fixos	médio	0,041	0,112	0,372
grande			-0,003	0,146	-0,021	0,983
			DP	var		
Efeitos randômicos		subcastas	0,000	0,000		
		espécies	0,912	0,832		
			intercepto	1,420	0,076	18,585
Comprimento da tíbia (TL)		Efeito fixos	médio	0,000	0,023	0,026
	grande		0,017	0,029	0,600	0,549
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,000	0,000		
		espécies	0,155	0,024		
			intercepto	1,113	0,055	19,999
	Comprimento do fêmur (FL)	Efeito fixos	médio	-0,028	0,019	-1,422
grande			-0,036	0,028	-1,307	0,191
			DP	var		
Efeitos randômicos		subcastas	0,034	0,001		
		espécies	0,050	0,002		
			intercepto	9,528	0,656	14,520
Largura do olho (EW)		Efeito fixos	médio	-0,171	0,226	-0,622
	grande		0,071	0,278	0,255	0,799
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,000	5e-08		
		espécies	1,328	1,764		

Fonte: Do autor (2022).

A variabilidade dos dados explicada pelos parâmetros aleatórios dos modelos (espécies e subcasta) foi de 0,092 a 0,178. O R2 marginal dos modelos indicou que morfologia, em geral, não explica a remoção de larvas discriminados por tamanho. A proporção de explicação pelas variáveis aleatórias no modelo é alta, variando entre 0,35 a 0,98. Observamos nos modelos que a variabilidade dos dados tem grande contribuição da identidade das espécies, indicando uma possível relação de cada espécie com o recurso.

3.1.1 Relação da identidade das espécies e o tamanho do recurso

A média das características morfológicas está representada na tabela 4. Indivíduos de comprimentos da mandíbula (ML) com valor médio de 0,320 (desvio-padrão - DP=0,025) removeram larvas de tamanho médio em *Camponotus rufipes*. Já em *Pachycondyla striata* e *Holcoponera striatula* indivíduos de comprimentos da mandíbula com valores médios de 0,506 (DP=0,059); 0,395 (DP=0,046) removeram as larvas de tamanho médio (Tabela 5).

Tabela 4 - Média de medidas das características morfológicas de espécies e/ou morfoespécies de formigas observadas removendo larvas de Tenébrio.

Espécies/morfoespécies	WL	TL	SL	EL	FL	EW	PL	ML	MG	MW	MM W
<i>Camponotus ager</i> (Smith,1858)	4,350	1,126	0,983	0,142	1,065	0,111	0,165	0,295	0,346	0,100	0,171
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	3,217	0,861	0,799	0,169	0,912	0,128	0,182	0,312	0,421	0,126	0,168
<i>Camponotus</i> sp2	3,467	0,798	0,808	0,175	0,900	0,138	0,160	0,267	0,359	0,114	0,155
<i>Camponotus</i> sp5	3,160	0,905	0,725	0,171	0,962	0,149	0,152	0,301	0,396	0,095	0,146
<i>Holcoponera striatula</i> (Mayr,1884)	1,468	0,510	0,643	0,091	0,753	0,061	0,378	0,387	0,431	0,151	0,179
<i>Odontomachus chelifer</i> (Latreille,1802)	5,330	0,664	0,764	0,116	0,908	0,083	0,195	0,452	0,193	0,118	0,116
<i>Odontomachus</i> sp1	2,725	0,566	0,773	0,155	0,768	0,104	0,207	0,492	0,211	0,130	0,134
<i>Pachycondyla striata</i> (Smith,1858)	4,517	0,581	0,640	0,126	0,771	0,096	0,390	0,494	0,490	0,168	0,190
<i>Pheidole bucculenta</i> (Forel,1908)	1,114	0,647	0,861	0,117	0,953	0,087	0,363	0,572	0,646	0,217	0,277
<i>Pheidole gertrudae</i> (Forel,1886)	0,860	0,708	0,876	0,155	0,948	0,120	0,411	0,574	0,609	0,194	0,252
<i>Pheidole</i> sp10	0,900	0,700	0,833	0,156	0,944	0,122	0,278	0,478	0,567	0,167	0,222
<i>Pheidole</i> sp11	0,880	0,807	0,943	0,170	1,000	0,125	0,466	0,648	0,625	0,205	0,261
<i>Pheidole</i> sp2	1,180	0,843	1,034	0,133	1,016	0,104	0,395	0,381	0,416	0,151	0,165
<i>Pheidole</i> sp5	0,870	0,776	0,948	0,155	1,029	0,115	0,437	0,581	0,649	0,184	0,276
<i>Pheidole</i> sp6	0,880	0,607	0,901	0,132	0,860	0,098	0,245	0,492	0,555	0,164	0,216
<i>Pheidole</i> sp7	0,870	0,721	0,903	0,161	1,047	0,127	0,371	0,552	0,598	0,173	0,253
<i>Pheidole</i> sp8	1,015	0,638	0,806	0,162	0,928	0,107	0,448	0,536	0,664	0,218	0,315
<i>Pheidole</i> sp9	0,910	0,747	0,923	0,154	0,923	0,110	0,363	0,462	0,549	0,176	0,253
Total Geral	2,952	0,734	0,771	0,146	0,875	0,110	0,285	0,401	0,459	0,148	0,186

WL-comprimento de Weber; TL-comprimento da tíbia; SL- comprimento do escapo; EL- comprimento do olho; FL- comprimento do fêmur; EW- largura do olho; PL- comprimento do pecíolo; ML- comprimento da mandíbula; MG- distância entre pontos de inserção da mandíbula; MW- largura da mandíbula; MMW- comprimento máximo da mandíbula.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 5 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequeno, médio e grande) e espécie que removeu o recurso.

Característica morfológica	Espécie		Est	SE	T	p
		intercepto	2,872	0,340	8,448	< 2e-16
Comprimento da mandíbula (ML)	<i>Camponotus rufipes</i>	médio	-0,687	0,271	-2,533	0,011
	<i>Holcaponera striatula</i>	médio	-0,604	0,292	-2,064	0,039
	<i>Pachycondyla striata</i>	médio	-0,599	0,282	-2,124	0,033

Est - estimativa do modelo: que demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; SE - erro padrão: estima a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; T - valor de test t: mede o tamanho da diferença em relação à variação nos dados de sua amostra; p - valor de significância.

Fonte: Do autor (2022).

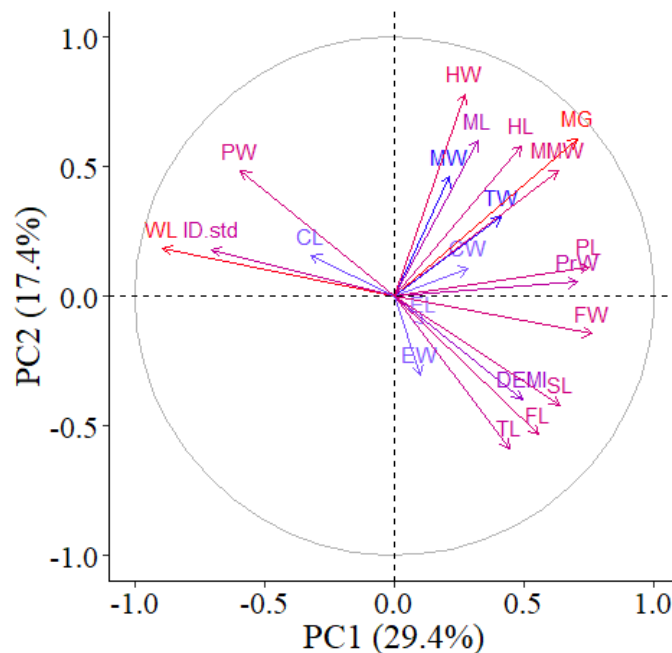
3.2 Remoção

Morfologia

Considerando a análise de PCA gerada a partir dos dados de remoção de sementes (matriz de remoção), identificamos no espaço morfológico um grupo de 11 características que contribuíram com variação morfológica dos dois primeiros componentes. Os dois componentes selecionados representam juntos 46,8% da variância dos dados (Figura 3). No primeiro quadrante foi selecionado comprimento de Weber (WL) e largura do pecíolo (PW); no segundo quadrante selecionamos largura da cabeça (HW), comprimento da cabeça (HL), distância entre pontos de inserção da mandíbula (gap- MG), comprimento do pecíolo (PL), comprimento máximo da mandíbula (horizontal) (MMW); e no quarto quadrante selecionamos largura do fêmur (FW), comprimento do escapo (SL), comprimento do fêmur (FL) e comprimento da tíbia (TL) (Tabela 4 do material suplementar).

O comprimento do pecíolo está associado com o comprimento de Weber, ambos tiveram relação oposta das medidas das pernas e escapo associados entre si. Medidas da cabeça e mandíbula estão associadas entre si.

Figura 3 - A análise de componentes principais (PCA) do processo de remoção de sementes artificiais.



Fonte: Do autor (2022).

Legenda: PCA demonstrando a proporção da variância das características morfológicas (MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizantal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça) de formigas que participaram da remoção de sementes, explicada pelos primeiros dois eixos da PCA. Variáveis mais próximas do centro são menos importantes para a composição dos dois eixos (azul). Variáveis com alta representatividade no componente principal está afastada do centro do círculo (vermelha).

Modelos estatísticos

Nenhuma das características morfológicas apresentaram diferença significativa na relação entre variáveis morfológicas e tamanho do recurso. A variabilidade dos dados explicada pelos parâmetros aleatórios dos modelos (espécies e subcasta) foi de 0,081 a 0,248. O R² marginal dos modelos indicou que morfologia, não explica a remoção de sementes discriminadas pelo tamanho. A proporção de explicação pelas variáveis aleatórias no modelo é alta, variando entre 0,54 a 0,97 (Tabela 6). Observamos nos modelos que a variabilidade dos dados tem grande contribuição da identidade das espécies, indicando uma possível relação de cada espécie com o recurso.

Tabela 6 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequena, média e grande). (continua)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	T	p
Distância entre pontos de inserção da mandíbula (MG)		intercepto	3,301	1,209	2,729	
	Efeito fixos	média	-0,035	0,050	-0,707	0,479
		pequena	-0,014	0,058	-0,243	0,808
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,314	0,098		
		espécies	0,419	0,175		
Comprimento máximo da mandíbula (MMW)		intercepto	6,066	1,206	5,026	
	Efeito fixos	média	-0,010	0,198	-0,053	0,958
		pequena	0,102	0,220	0,464	0,643
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,494	0,244		
		espécies	0,680	0,463		
Largura do pecíolo (PW)		intercepto	11,602	1,121	10,349	
	Efeito fixos	média	0,152	0,320	0,474	0,636
		pequena	-0,034	0,390	-0,088	0,930
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,000	1e-07		
		espécies	1,641	2e+00		
Largura da cabeça (HW)		intercepto	1,603	0,271	5,903	
	Efeito fixos	média	-0,044	0,041	-1,079	0,281
		pequena	-0,024	0,050	-0,483	0,629
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,114	0,013		
		espécies	0,173	0,030		
Comprimento da cabeça (HL)		intercepto	1,273	0,092	13,798	
	Efeito fixos	média	-0,010	0,026	-0,412	0,680
		pequena	-0,029	0,031	-0,935	0,350
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,023	0,000		
		espécies	0,106	0,011		

Legenda: **Est** - estimativa do modelo: demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; **SE** - erro padrão: estima a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; **T** - valor do teste t: mede o tamanho da diferença em relação à variação nos dados de sua amostra; **p** - valor de significância; **var** - variância da variável randômica; **DP** - desvio padrão da variável randômica.

Tabela 6 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequena, média e grande). (conclusão)

Característica morfológica	Efeitos do modelo		Est	SE	T	p
Comprimento do escapo (SL)		intercepto	1,428	0,117	12,188	
	Efeito fixos	média	-0,042	0,051	-0,820	0,412
		pequena	0,058	0,058	1,004	0,315
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	1e-05	3e-10		
		espécies	1e-01	1e-02		
			intercepto	1,505	0,227	6,621
Comprimento de Weber (WL)	Efeito fixos	média	0,001	0,008	0,138	0,890
		pequena	0,022	0,013	1,590	0,112
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,042	0,001		
		espécies	0,407	0,166		
			intercepto	3,073	0,528	5,820
	Comprimento do pecíolo (PL)	Efeito fixos	média	-0,004	0,201	-0,021
pequena			-0,050	0,215	-0,232	0,816
			DP	var		
Efeitos randômicos		subcastas	0,126	0,016		
		espécies	0,626	0,392		
			intercepto	1,779	0,167	10,634
Comprimento da tibia (TL)		Efeito fixos	média	-0,025	0,041	-0,611
	pequena		-0,044	0,049	-0,897	0,370
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	6e-06	4e-11		
		espécies	2e-01	5e-02		
			intercepto	1,320	0,115	11,482
	Comprimento do fêmur (FL)	Efeito fixos	média	-0,039	0,027	-1,440
pequena			-0,004	0,032	-0,125	0,901
			DP	var		
Efeitos randômicos		subcastas	6e-06	4e-11		
		espécies	1e-01	2e-02		
			intercepto	9,115	1,004	9,073
Largura do fêmur (FW)		Efeito fixos	média	-0,201	0,212	-0,951
	pequena		-0,322	0,226	-1,423	0,155
			DP	var		
	Efeitos randômicos	subcastas	0,427	0,182		
		espécies	0,664	0,441		

Fonte: Do autor (2022).

3.2.1 Relação entre espécies e tamanho dos recursos

Em *Pachycondyla striata*, o comprimento de Weber (WL) com valor médio de 4,680 (DP= 0,351) e 4,591 (DP=0,338) removeram sementes de tamanho médio e pequeno, respectivamente.

Em *Pachycondyla striata*, indivíduos com 0,472 (DP=0,017) de valor médio de distância entre pontos de inserção da mandíbula (MG) removeram sementes de tamanho pequeno e indivíduos com valor médio de 0,473 (DP=0,062) removeram sementes de tamanho médio. E indivíduos com valor médio de 0,551 (DP=0,062) de comprimento da tíbia (TL) e indivíduos com valor médio de 0,173 (DP=0,027) de comprimento máximo da mandíbula (horizontal) (MMW) removeram sementes médias. A média das características morfológicas está descrita na tabela 7. Indivíduos com valor médio de 1,115 (DP=0,068) de comprimento de escapo removeram sementes de tamanho médio, em *Pheidole* sp2.

Tabela 7 - Média de medidas das características morfológicas de espécies e/ou morfoespécies de formigas observadas removendo larvas de tenebrio.

Espécies/morfoespécies	WL	HL	MG	HW	SL	TL	PW	FW	MM W	FL	PL
<i>Holcoponera striatula</i> (Mayr,1884)	1,489	0,685	0,415	0,595	0,650	0,540	0,079	0,117	0,178	0,736	0,383
<i>Acromyrmex</i> sp1	3,555	0,638	0,497	0,708	0,705	0,908	0,105	0,118	0,202	1,149	0,295
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	3,290	0,704	0,393	0,525	0,816	0,861	0,129	0,119	0,136	0,871	0,191
<i>Odontomachus chelifer</i>	4,620	0,742	0,184	0,409	0,513	0,673	0,091	0,108	0,100	0,911	0,208
<i>Pachycondyla striata</i> (Smith,1858)	4,646	0,703	0,476	0,600	0,621	0,549	0,098	0,119	0,176	0,733	0,246
<i>Pheidole bucculenta</i> (Forel,1908)	1,128	0,704	0,555	0,553	0,815	0,646	0,102	0,184	0,220	0,882	0,372
<i>Pheidole flavens</i> ,group	0,506	0,870	0,649	0,752	0,799	0,506	0,118	0,178	0,233	0,753	0,490
<i>Pheidole</i> sp2	1,088	0,651	0,448	0,475	1,000	0,866	0,109	0,154	0,176	1,161	0,396
<i>Pheidole</i> sp5	1,522	0,953	0,715	0,855	0,792	0,759	0,113	0,146	0,313	0,983	0,401
<i>Pheidole</i> sp7	0,827	0,778	0,492	0,580	0,992	0,698	0,113	0,157	0,145	0,972	0,411
<i>Solenopsis</i> sp1	0,627	0,821	0,577	0,687	0,681	0,628	0,056	0,149	0,182	0,777	0,607
<i>Solenopsis</i> sp2	0,490	0,939	0,633	0,776	0,612	0,429	0,061	0,143	0,184	0,694	0,592
<i>Solenopsis</i> sp3	0,430	1,047	0,605	0,744	0,465	0,419	0,093	0,116	0,163	0,488	0,581
<i>Solenopsis</i> sp6	1,034	0,849	0,617	0,644	0,726	0,733	0,099	0,133	0,181	0,878	0,534
Total Geral	2,775	0,728	0,507	0,600	0,720	0,624	0,100	0,140	0,190	0,823	0,330

Legenda: WL-comprimento de Weber; HL-comprimento da cabeça; MG- distância entre pontos de inserção da mandíbula; HW- largura da cabeça; SL- comprimento do escapo; TL- comprimento da tíbia; PW- largura do pecíolo; FW- largura do fêmur; MMW- comprimento máximo da mandíbula; FL- comprimento do fêmur; PL- comprimento do pecíolo.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 8 - Coeficientes dos modelos lineares mistos generalizados verificando a relação entre as características morfológicas e tamanho do recurso (pequeno, médio e grande-intercepto) e espécie que removeu as sementes artificiais.

Característica morfológica	Espécie		Est	SE	T	p
comprimento máximo da mandíbula (MMW)	<i>Pachycondyla striata</i>	intercepto	5,657	3,747	1,510	0,131
		médio	1,178	0,564	2,086	0,036
comprimento de Weber (WL)	<i>Pachycondyla striata</i>	intercepto	0,320	0,054	5,851	4,87e-09
		médio	-0,239	0,091	-2,635	0,008
		pequeno	-0,349	0,047	-7,345	2,06e-13
distância entre pontos de inserção da mandíbula (gap) (MG)	<i>Pachycondyla striata</i>	intercepto	2,646	0,125	21,152	<2e-16
		médio	0,347	0,161	2,147	0,031
		pequeno	0,271	0,127	2,126	0,033
comprimento de escapo (SL)	<i>Pheidole sp2</i>	intercepto	1,514	0,110	13,770	<2e-16
		médio	-0,683	0,209	-3,269	0,001
comprimento da tíbia (TL)	<i>Pachycondyla striata</i>	intercepto	2,011	0,106	18,961	<2e-16
		médio	0,328	0,154	2,132	0,032

Legenda: **Est** - Estimativa do modelo: demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; **SE** - erro padrão: estima a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; **T** - valor de t: mede o tamanho da diferença em relação à variação nos dados de sua amostra; **p** - valor de significância.

Fonte: Do autor (2022).

4 DISCUSSÃO

Investigamos a relação entre as características morfológicas de formigas de solo associadas a processos ecológicos (remoção de sementes e larvas) e o tamanho do recurso alimentar. Exploramos a possibilidade de obtenção de características semelhantes entre os dois processos, assim como diferenças na relação entre características e tamanho de recursos alimentar de acordo com as espécies de formigas que participam dessas interações. Com base na nossa amostragem, medidas das mandíbulas estão associadas com ambos os processos dependendo da espécie participante. Grande parte das características morfológicas não estão relacionadas ao tamanho do recurso alimentar coletado, no entanto, essa relação sofre mudanças ao considerarmos as variações de remoção interespecíficas. A nossa interpretação sobre a relação entre características morfológicas das formigas e o processo de remover larvas e sementes se mostra dependente da espécie.

Registramos 18 espécies de formigas realizando predação de larvas (isso é, *Tenebrio molitor*, representando cinco gêneros) e 14 espécies de formigas interagindo com as sementes

artificiais (em sete gêneros). A riqueza de espécies se equipara com estudos sobre relação semente-formiga (BEAUMONT; MACKAY; WHALEN, 2011; MATOS; SANTANA; BACCARO, 2020) ou com interação formiga-presa (HELMS et al., 2020).

Por meio do modelo da matriz total (dados de predação e remoção) verificamos diferenças entre 10 características morfológicas nos processos de predação e remoção de sementes, corroborando a primeira hipótese. Essas características representam um conjunto abrangente, incluindo cabeça, tórax e apêndices locomotores. Nosso trabalho sugere que existem variações morfológicas associadas aos diversos processos ecossistêmicos que as formigas participam. Alguns autores verificaram essas variações (LATIFIAN, 2018; OHKAWARA et al., 2017; PENN; CRIST, 2018), como também modificações adaptativas que permitem a ocupação de um novo nicho (KHALIFE et al., 2018), reconhecendo a importância de algumas características em estratégias ecológicas ou atributos funcionais (HOUADRIA; MENZEL, 2017).

Não encontramos um grupo de características morfológicas que poderiam ser utilizadas como atributos funcionais para cada processo, refutando a segunda hipótese; pois somente o tamanho da mandíbula mostrou relação com o processo de predação de larvas e de tamanho médio. Contudo, nossos resultados também indicam que essa interpretação precisa considerar a variação morfológica entre as espécies que participam do processo. A variação morfológica entre espécies parece ser um fator essencial para essa elucidar importância da morfologia nas interações com presas e sementes. A identidade da formiga é primordial na relação semente-formiga, como observado em fragmentos florestais (MATOS; SANTANA; BACCARO, 2020) e, portanto, a diversidade biológica nos processos ecossistêmicos. Além da necessidade de avaliação de vários processos ecossistêmicos ao se estudar comunidades, uma vez que, uma única espécie pode ter um grande impacto para um processo específico (HOUADRIA; MENZEL, 2017).

Em processos ecossistêmicos, o tamanho do recurso alimentar é um fator apontado para caracterizar a escolha (PENN; CRIST, 2018). No entanto, nossos resultados não demonstram essa relação, o que pode ser relacionado ao comportamento de forrageamento flexível das formigas, onde ocorre um ajuste dependente das características físicas do ambiente, entre outros fatores. Essa flexibilidade pode ser exemplificada pelo aumento do número de formigas durante o carregamento do recurso dependendo do seu tamanho, ou o tempo gasto no seu transporte (DUSSUTOUR et al., 2009), entre outros elementos, o que diminuiria a importância do tamanho dos recursos.

As operárias que desempenham a tarefa de forragear são, muitas vezes, as de maiores tamanhos para espécies cultivadoras de fungo polimórficas (HÖLLDOBLER; WILSON, 1990) o que é descrito como aloetismo (FORTI et al., 2004). Em espécies polimórficas, pode ocorrer ajustes de comportamento de forrageamento tanto individual quanto coletivo. Cada espécie busca sua própria estratégia de forrageamento que potencializa a entrada energética no ninho (DUSSUTOUR et al., 2009). Há também outros estímulos que podem orientar algumas tribos e gêneros, com potencial de influenciar a escolha do alimento pela formiga, como por exemplo, a cor, forma, palatabilidade e odor (VIANA-BAILEZ; ENDRINGER, 2016).

No processo de remoção das larvas somente o tamanho da mandíbula apresentou relação com a predação de larvas com tamanho médio. Essa associação indica que a mandíbula é uma peça chave no processo de predação (BARDEN; PERRICHOT; WANG, 2020). Enquanto que, o processo de remoção de sementes artificiais nenhuma das características morfológicas demonstrou ter relação com os tamanhos das sementes.

Corroboramos a terceira hipótese, pois observamos a remoção desempenhada por cada espécie, verificamos que quatro espécies, a *Camponotus rufipes* Fabricius, 1775; *Holcaponera striatula* Mayr, 1884 e *Pachycondyla striata* F. Smith, 1858; pertencentes a gêneros diferentes, teve o tamanho da mandíbula relacionado a remoção das larvas de tamanho médio. As características ecológicas (nicho, comportamento, ciclo de vida) das espécies podem indicar que a larva média poderia ser um recurso que possibilita o balanço entre o gasto e ganho energético. Por exemplo, *Pachycondyla striata* tem indivíduos entre 13,2 e 16,7 mm de comprimento, são predadoras generalistas e também dispersoras de sementes no solo de florestas (SUGUITURU et al., 2015). *Camponotus rufipes* é uma espécie altamente generalista, onívora, que constrói ninhos na serapilheira ou no estrato arbóreo, tem atividade de forrageio patrulheira, com recrutamento massivo e possui em média > 3mm com pouca agilidade (SILVESTRE; BRANDÃO; SILVA, 2003). *Holcaponera striatula* presente em habitat florestal e também campos, constrói seus pequenos ninhos em madeiras em decomposição no solo, predadoras e forrageamento solitário, colônias poligínicas e tamanho das operárias variando de médio a grande (4,08-5,91mm) (CAMACHO, 2013). O gênero *Pheidole* presente nos estados de Minas Gerais e São Paulo (FEITOSA et al., 2021), com gênero é hiperdiverso, espécies dimórficas (operárias maiores e menores), nidificam no solo, são onívoras e oportunistas (BACCARO et al., 2015).

As espécies encontradas interagindo com a semente e as larvas pertence ao mesmo substrato de forrageamento, fazendo com que algumas características morfológicas estejam

relacionadas com as variáveis do habitat que estão inseridas. *Pachycondyla striata* constroem ninhos em áreas sombreadas, geralmente entre as raízes de arbóreas, com 20 a 400 operárias (SUGUITURU et al., 2015) e são encontradas em ambientes antropizados, como em paisagens com plantios de eucalipto (APOLINÁRIO et al., 2019). Assim como, a espécie *Camponotus rufipes* que é frequentemente encontrada em ambientes antropizados (LASMAR et al., 2021; RIBAS et al., 2012; SOUZA-CAMPANA et al., 2017). Essas duas espécies tiveram o comprimento do tórax, denominado de comprimento de Weber, relacionados a remoção de sementes médias. Essa medida tem sido utilizada como representativa para o tamanho corporal de formigas e correlacionada com a complexidade do habitat e funções metabólicas (SIQUEIRA; SILVA, 2021; WEISER; KASPARI, 2006).

Em *Pheidole* sp2 o tamanho do escapo (SL) está relacionado à remoção de sementes de tamanho médio. Para o processo de remoção essa característica morfológica é muito importante, pois está associada com a localização do recurso e comunicação. O comprimento do escapo está relacionado com os mecanismos de quimiorrecepção, podendo influenciar o comportamento de forrageio (WEISER; KASPARI, 2006).

Este estudo direciona novas pesquisas ao demonstrar que as características morfológicas diferem entre processos ecossistêmicos. Essas características morfológicas de formigas de solo se correlacionam com o tamanho do recurso somente quando se considera o a espécie que participa dos processos de remoção de larvas e sementes. Observamos que as larvas e sementes médias se destacaram na associação com as espécies, o que pode ser um indicativo sobre o retorno energético ao se remover esse tamanho de recurso alimentar durante o forrageamento.

REFERÊNCIAS

- ANGOTTI, M. A. et al. Seed removal by ants in Brazilian savanna: optimizing fieldwork. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 155–161, 2018.
- APOLINÁRIO, L. DA C. M. H. et al. Diversity and guilds of ants in different land-use systems in Rio de Janeiro State, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, 2019.
- ARCILA, A. M.; LOZANO-ZAMBRANO., F. H. Hormigas como herramienta para la bioindicación y el monitoreo. In: F. FERNÁNDEZ (Ed.). **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 398p, p. 159–166, 2003.
- BACCARO, F. B. et al. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Editora IN ed. Manaus-AM, Brasil, 2015.
- BARDEN, P.; PERRICHOT, V.; WANG, B. Specialized Predation Drives Aberrant Morphological Integration and Diversity in the Earliest Ants. **Current Biology**, p. 1–7, 2020.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **J Stat Softw**, v. 67, p. 1–48, 2015.
- BEAUMONT, K. P.; MACKAY, D. A.; WHALEN, M. A. Interactions between ants and seeds of two myrmecochorous plant species in recently burnt and long-unburnt forest sites. **Austral Ecology**, v. 36, n. 7, p. 767–778, 2011.
- BIEBER, A. G. D.; SILVA, P. S. D.; OLIVEIRA, P. S. Attractiveness of fallen fleshy fruits to ants depends on previous handling by frugivores. **Ecoscience**, v. 20, n. 1, p. 85–89, 2013.
- BOLOGNA, A. et al. An automated method for large-scale monitoring of seed dispersal by ants. **Scientific Reports**, v. 7, n. July 2016, p. 40143, 2017.
- BOTTCHER, C. et al. Drivers of Spatial Variation in the Role of Ants as Secondary Seed Dispersers. **Environmental Entomology**, v. 45, n. 4, p. 930–937, 2016.
- BOULAY, R. et al. Geographic variations in seed dispersal by ants: Are plant and seed traits decisive? **Naturwissenschaften**, v. 94, n. 3, p. 242–246, 2007.
- BREHENY, P.; BURCHETT, W. visreg: Visualization of Regression Models Using. **The R Journal**, v. 9, n. 2, p. 56–71, 2017.

- CAMACHO, G. P. **Estudo taxonômico do grupo striatula de gnamptogenys roger (hymenoptera: formicidae: ectatomminae) para o brasil.** (Mestrado). Departamento de Entomologia. Viçosa, MG, 19 ago. 2013.
- CANEDO-JÚNIOR, E. O. et al. Isolated and community contexts produce distinct responses by host plants to the presence of ant-aphid interaction: Plant productivity and seed viability. **PLoS ONE**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 2017.
- DALERUM, F. Phylogenetic and functional diversity in large carnivore assemblages. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 280, n. 1760, 2013.
- DEL TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 17, n. March 2014, p. 133–146, 2012.
- DUSSUTOUR, A. et al. Individual and collective problem-solving in a foraging context in the leaf-cutting ant *Atta colombica*. **Animal Cognition**, v. 12, n. 1, p. 21–30, 2009.
- ELIZALDE, L. et al. The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. **Biological Reviews**, v. 95, n. 5, p. 1418–1441, 2020.
- ENNIS, K. K.; PHILPOTT, S. M. Seasonal and microhabitat differences alter ant predation of a globally disruptive coffee pest. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, n. June, p. 106597, nov. 2019.
- FARNESE, F. DOS S.; CAMPOS, R. B. F.; FONSECA, G. A. Non myrmecochorus diaspores dispersion by ants : type and. **Revista Árvore, Viçosa-MG**, v. 35, n. 1, p. 125–130, 2011.
- FEITOSA, R. M. et al. **Social Insects of the Atlantic Forest.** The Atlantic Forest. Springer International Publishing, p. 151-183, 2021.
- FOLKE, C. et al. Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, n. 1, p. 557–581, 2004.
- FORTI, L. C. et al. Aloetismo em *Acromyrmex subterraneus brunneus* Forel (Hymenoptera, Formicidae), durante o forrageamento, cultivo do jardim de fungo e devolução dos materiais forrageados. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 1, p. 59–63, 2004.
- HELMS, J. A. et al. Ant biodiversity and ecosystem services in bioenergy landscapes.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 290, n. April 2019, p. 106780, 2020.

HILLEBRAND, H.; MATTHIESSEN, B. Biodiversity in a complex world: Consolidation and progress in functional biodiversity research. **Ecology Letters**, v. 12, n. 12, p. 1405–1419, 2009.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The Ants** Cambridge, Harvard University Press, 1990. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=R-7TaridBX0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Hölldobler,+B.+%26+Wilson,+E.O.+1990.+The+ants&ots=sM-WfezR7f&sig=ha9dBwNMpthkJ3zQlGYjN5J-Dac#v=onepage&q=Hölldobler%2C+B.%26+Wilson%2C+E.O.+1990.+The+ants&f=false>>. Acesso em: 2019-2022.

HOUADRIA, M.; MENZEL, F. What determines the importance of a species for ecosystem processes? Insights from tropical ant assemblages. **Oecologia**, v. 184, n. 4, p. 885–899, 2017.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. **CRAN**, v. GPL-2, p. 1.0.7, 2020.

KHALIFE, A. et al. Skeletomuscular adaptations of head and legs of *Melissotarsus* ants for tunnelling through living wood. **Frontiers in Zoology**, v. 15, n. 1, p. 1–11, 2018.

LASMAR, C. J. et al. Contrasting edge and pasture matrix effects on ant diversity from fragmented landscapes across multiple spatial scales. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 9, p. 2583–2597, 2021.

LATIFIAN, M. Predator Ants of the Date Palm Termite *Microcerotermes diversus* Silvestri and Effects of ant Morphometric Characteristics on ant Functional Response. **American Journal of Entomology**, v. 2, n. 2, p. 16, 2018.

LEMOS FILHO, L. C. D. A.; FERREIRA, L. L. N.; DE LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 1, p. 11, 31 mar. 2017.

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

MARTELLO, F. et al. Homogenization and impoverishment of taxonomic and functional diversity of ants in Eucalyptus plantations. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018.

- MATOS, L. C. N. DE; SANTANA, F. D.; BACCARO, F. B. Relações alométricas entre os tamanhos de sementes artificiais removidas e de formigas em um fragmento florestal na Amazônia Central. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 15, n. 1, p. 155–164, 2020.
- MORRIS, J. R.; PERFECTO, I. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 233, p. 224–228, 2016.
- NAKAZAWA, M. fmsb: Functions for Medical Statistics Book with some Demographic Data. **CRAN**, v. GPL-2, p. 0.7.3, 2022.
- OHKAWARA, K. et al. Geographical variation in mandible morphologies specialised for collembolan predation depend on prey size in the ant *Strumigenys lewisi*. **Ecological Entomology**, v. 42, n. 2, p. 156–163, 2017.
- PENN, H. J.; CRIST, T. O. From dispersal to predation: A global synthesis of ant-seed interactions. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 18, p. 9122–9138, set. 2018.
- PINHEIRO, J. et al. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-144. [https://CRAN.R-project.org/package=nlme.](https://CRAN.R-project.org/package=nlme), 2019.
- QUEIROZ, A. C. M.; RIBAS, C. R.; FRANÇA, F. M. Microhabitat characteristics that regulate ant richness patterns: The importance of leaf litter for epigaeic ants. **Sociobiology**, v. 60, n. 4, p. 367–373, 2013.
- RABELLO, A. M. et al. When is the best period to sample ants in tropical areas impacted by mining and in rehabilitation process? **Insectes Sociaux**, v. 62, n. 2, p. 227–236, 2015.
- RABELLO, A. M.; BERNARDI, L. F. DE O.; RIBAS, C. R. Testing an artificial aril as a new ant-attractant. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 86–90, 2014.
- REZENDE, J. B.; PEREIRA, J. R.; BOTELHO, D. DE O. Expansion of eucalyptus culture in the municipalities of minas gerais and territorial management. **Cerne, Lavras**, v. 19, n. 1, p. 1–7, 2013.
- RIBAS, C. R. et al. Ants as Indicators of the Success of Rehabilitation Efforts in Deposits of Gold Mining Tailings. **Restoration Ecology**, v. 20, n. 6, p. 712–720, 2012.
- RODELA, L. G.; TARIFA, J. R. O clima da Serra do Ibitipoca. **GEOUSP - Espaço e**

Tempo, v. 11, p. 101–113, 2002.

SCHMIDT, F. A.; SCHOEREDER, J. H.; CAETANO, M. D. N. Ant assemblage and morphological traits differ in response to soil compaction. **Insectes Sociaux**, v. 64, n. 2, p. 219–225, 2017.

SCHOFIELD, S. F.; BISHOP, T. R.; PARR, C. L. Morphological characteristics of ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) differ among contrasting biomes. **Myrmecological News**, v. 23, n. September, p. 129–137, 2016.

SEIFERT, C. L. et al. Day vs. night predation on artificial caterpillars in primary rainforest habitats - an experimental approach. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 158, n. 1, p. 54–59, 2016.

SILVA, R. R.; BRANDÃO, C. R. F. Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 1, p. 107–124, 2010.

SILVA, R. R.; BRANDÃO, C. R. F. Ecosystem-wide morphological structure of leaf-litter ant communities along a tropical latitudinal gradient. **PLoS ONE**, v. 9, n. 3, 2014.

SILVESTRE, R.; BRANDÃO, C. R. F.; SILVA, R. R. DA. Grupos funcionales de hormigas : El caso de los gremios del Cerrado. In: FERNANDEZ, F. (Ed.). . **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. [s.l.] Instituto Humboldt Bogotá, 2003. v. 1964p. 101–136, 2003.

SIQUEIRA, E. L. S.; SILVA, R. R. Taxonomic and morphological diversity of the ground-dwelling ant fauna in Eastern Amazonian grasslands. **Acta Oecologica**, v. 110, n. 103693, November 2020, 2021.

SOUZA-CAMPANA, D. R. et al. Twigs in the Leaf Litter as Ant Habitats in Different Vegetation Habitats in Southeastern Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 194008291771061, 5 jan. 2017.

SUGUITURU, S. S. et al. **Formigas do alto tietê**. [s.l.] Bauru, SP: Canal 6, 2015.

TIEDE, Y. et al. Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 527–537, 2017.

TURNER, K. M.; FREDERICKSON, M. E. Signals Can Trump Rewards in Attracting Seed-Dispersing Ants. **PLoS ONE**, v. 8, n. 8, 2013.

VIANA-BAILEZ, A. M.; ENDRINGER, F. B. Plasticidade do comportamento de forrageamento em formigas cortadeiras. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 3Specialissue, p. 11–19, 2016.

WEISER, M. D.; KASPARI, M. Ecological morphospace of New World ants. **Ecological Entomology**, v. 31, n. 2, p. 131–142, 2006.

WICKHAM. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag New York**, p. ISBN 978-3-319-24277-4, 2016.

ANEXO A - material suplementar

1 Pré-teste da função de predação e processo de remoção - modelo cafeteria

Antes da execução do experimento foi realizado um pré-teste para estabelecer se as categorias de tamanhos e peso de larvas e sementes seriam carregadas pelas formigas.

Realizamos uma avaliação visual para distinguir as categorias das larvas e sementes. As larvas foram categorizadas observando seus estágios de desenvolvimento, sendo separadas em: tamanho pequeno (as larvas de primeiro e segundo instar), tamanho médio (as larvas terceiro e quarto instar) e tamanho grande (do quinto ao último instar larval). As categorias de tamanho de sementes foram determinadas utilizando o trabalho de Pizo & Oliveira (2001) e a descrição de peso de Pizo et al, (2005).

Para a classificação dos recursos em: pequeno, médio e grande, uma amostra de 30 larvas e sementes de cada categoria foram medidas com auxílio de um paquímetro digital (Paquímetro Universal Digital 150mm -MTX-) e pesadas utilizando uma balança analítica (Balança Analítica M 214AI), Em seguida executamos um teste para observar a presença de variação entre as medidas de largura (mm), comprimento (mm) e peso (g) de acordo com as categorias pretendidas (Tabela 1).

Para a verificação se as dimensões dos recursos previamente escolhidos seriam removidas pelas formigas, estabelecemos um transecto com três pontos em um fragmento florestal dentro da instituição (UFLA). Em cada ponto foram dispostas cinco larvas de cada categoria (modelo cafeteria), assim como dez sementes artificiais, alternando os dias para cada teste. Os recursos foram observados por 4 horas, permanecendo dez minutos em cada ponto. Os pré-testes entre 07:00 e 11:00 horas ao longo de três dias no mesmo período de execução do experimento (janeiro-período chuvoso). Foi verificado se houve ou não carregamento dos recursos ofertados.

Tabela 1 - Classificação das larvas de *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera:Tenebrionidae) e sementes (artificiais) de acordo com o valor médio das dimensões corporais: peso (g), largura (mm) e comprimento (mm).

	Peso (g)		Largura (mm)		Comprimento (mm)	
	Larva	Semente	Larva	Semente	Larva	Semente
Pequeno	0,047±0,02	0,009±0,001	2,011±0,44	1,436±0,21	16,417±2,37	2,111±0,12
Médio	0,094±0,01	0,093±0,02	2,607±0,24	3,449±0,52	22,681±3,11	4,316±0,39
Grande	0,138±0,01	0,381±0,06	2,936±0,21	7,298±0,47	23,269±3,32	8,354±0,53

Fonte: Do autor (2022).

2 Resultados da PCA

Tabela 2 - Resultados da análise de componentes principais das características morfológicas das formigas de ambos os processos, fornecendo os autovalores e as cargas fatoriais dos três primeiros eixos (PC1, PC2 e PC3) de análise de componentes principais.

Característica	PC1	PC2	PC3
Autovalor	6,071	28,913	28,913
Variância	4,729	22,520	51,434
Variância acumulada	2,405	11,454	62,888
			Autovetores
WL	-0,122	0,317	-0,286
PrW	0,041	-0,276	-0,083
MW	0,288	-0,067	-0,152
ID	-0,217	0,048	-0,425
ML	0,336	-0,019	-0,049
MMW	0,272	-0,226	-0,165
MG	0,319	-0,202	-0,124
EL	-0,209	-0,226	-0,281
EW	-0,209	-0,230	-0,234
DEMI	-0,222	-0,255	-0,117
FL	-0,102	-0,339	0,154
FW	-0,009	-0,341	0,110
TL	-0,248	-0,294	-0,011
TW	0,309	-0,002	0,150
CL	0,006	0,049	-0,233
CW	0,208	-0,026	0,023
PL	0,292	-0,097	0,216
PW	0,125	0,230	-0,291
SL	-0,087	-0,344	0,164
HL	0,224	-0,176	-0,297
HW	0,241	-0,148	-0,393

Legenda: MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizontal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça.

Fonte: Do Autor (2022).

Tabela 3 - Resultados da análise de componentes principais das características morfológicas das formigas removedoras de larvas (predação) fornecendo os autovalores e as cargas fatoriais dos três primeiros eixos (PC1, PC2 e PC3) de análise de componentes principais.

Característica	PC1	PC2	PC3
Autovalor	7,536	4,512	2,073
Variância	35,888	21,488	9,871
Variância acumulada	35,888	57,377	67,249
			Autovetores
WL	-0,101	0,213	-0,361
PrW	-0,059	-0,188	-0,282
MW	0,271	-0,193	0,005
ID	-0,222	-0,009	-0,358
ML	0,313	-0,125	0,053
MMW	0,217	-0,305	0,057
MG	0,230	-0,302	-0,012
EL	-0,253	-0,249	-0,129
EW	-0,244	-0,246	-0,100
DEMI	-0,257	-0,127	-0,126
FL	-0,151	-0,347	0,220
FW	-0,163	-0,299	-0,009
TL	-0,294	-0,226	0,031
TW	0,292	-0,066	-0,050
CL	0,037	-0,155	-0,370
CW	0,210	-0,139	-0,137
PL	0,326	-0,018	0,089
PW	0,154	0,065	-0,459
SL	-0,133	-0,337	0,301
HL	0,124	-0,225	-0,255
HW	0,215	-0,257	-0,177

Legenda: MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizontal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 4 - Resultados da análise de componentes principais das características morfológicas das formigas removedoras de sementes, fornecendo os autovalores e as cargas fatoriais dos três primeiros eixos (PC1, PC2 e PC3) de análise de componentes principais.

	PC1	PC2	PC3
Autovalor	6,177	29,414	29,414
Variância	3,649	17,377	46,791
Variância acumulada	2,243	10,682	57,473
			Autovetores
WL	-0.357	0.076	-0.184
PrW	0.285	0.023	0.098
MW	0.085	0.246	-0.144
ID	-0.283	0.102	-0.089
ML	0.129	0.306	-0.193
MMW	0.254	0.253	-0.186
MG	0.282	0.318	-0.113
EL	0.041	-0.060	-0.520
EW	0.037	-0.160	-0.534
DEMI	0.202	-0.212	0.037
FL	0.223	-0.280	-0.133
FW	0.310	-0.081	0.003
TL	0.176	-0.308	-0.159
TW	0.170	0.164	0.245
CL	-0.128	0.084	-0.281
CW	0.116	0.053	0.009
PL	0.307	0.055	0.261
PW	-0.238	0.262	0.050
SL	0.254	-0.201	-0.131
HL	0.194	0.302	-0.075
HW	0.102	0.413	-0.108

Legenda: MW: largura da mandíbula; WL: comprimento de Weber; ID: posição do olho na cabeça; ML: comprimento da mandíbula; MMW: comprimento máximo da mandíbula-horizontal; MG: distância entre pontos de inserção da mandíbula; EL: comprimento do olho; EW: largura do olho; DEMI: distância entre os olhos; FL: comprimento do fêmur; TL: comprimento da tíbia; TW: largura da tíbia; FW: largura do fêmur; CL: comprimento da coxa; CW: largura da coxa; PL: comprimento do pecíolo; PW: largura do pecíolo; PrW: largura do pronoto torácico; SL: comprimento do escapo; HL: comprimento da cabeça; HW: largura da cabeça.

Fonte: Do autor (2022).

3 Número de indivíduos de cada espécie e a classificação das subcastas

Tabela 5 - Tabela com número de indivíduos observados predando larvas, classificadas em subcastas (maior, media e menor) de acordo com a literatura sobre os gêneros.

Gêneros: espécies/morfoespécies	Subcastas			Total geral
	maior	media	menor	
Camponotus	6	53	1	60
<i>Camponotus ager</i> (Smith,1858)		2		2
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	6	48		54
<i>Camponotus</i> sp2		2	1	3
<i>Camponotus</i> sp5		1		1
Holcoperera			13	13
<i>Holcoperera striatula</i> (Mayr,1884)			13	13
Odontomachus			3	3
<i>Odontomachus chelifer</i> (Latreille,1802)			1	1
<i>Odontomachus</i> sp1			2	2
Pachycondyla			29	29
<i>Pachycondyla striata</i> (Smith,1858)			29	29
Pheidole	1	23		24
<i>Pheidole bucculenta</i> (Forel,1908)		5		5
<i>Pheidole gertrudae</i> (Forel,1886)		3		3
<i>Pheidole</i> sp10		1		1
<i>Pheidole</i> sp11		1		1
<i>Pheidole</i> sp2		5		5
<i>Pheidole</i> sp5		2		2
<i>Pheidole</i> sp6		2		2
<i>Pheidole</i> sp7		2		2
<i>Pheidole</i> sp8	1	1		2
<i>Pheidole</i> sp9		1		1
Total Geral	7	76	46	129

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 6 - Tabela com número de indivíduos observados removendo sementes, classificadas em subcastas (maior, média e menor) de acordo com a literatura sobre os gêneros. (continua)

Gêneros: espécies/morfoespécies	Subcastas			Total Geral
	maior	media	menor	
Acromyrmex		2		2
<i>Acromyrmex</i> sp1		2		2
Camponotus	1	5		6
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)	1	5		6
Holcoperera			8	8
<i>Holcoperera striatula</i> (Mayr,1884)			8	8
Odontomachus			1	1
<i>Odontomachus chelifer</i> (Latreille,1802)			1	1

Tabela 6 - Tabela com número de indivíduos observados removendo sementes, classificadas em subcastas de acordo com a literatura sobre os gêneros. (conclusão)

Gêneros: espécies/morfoespécies	Subcasta			Total Geral
	maior	media	menor	
Pachycondyla			59	59
<i>Pachycondyla striata</i> (Smith,1858)			59	59
Pheidole	5	45		50
<i>Pheidole bucculenta</i> (Forel,1908)		29		29
<i>Pheidole flavens</i> group		5		5
<i>Pheidole</i> sp2		8		8
<i>Pheidole</i> sp5	5			5
<i>Pheidole</i> sp7		3		3
Solenopsis	2	9		11
<i>Solenopsis</i> sp1		4		4
<i>Solenopsis</i> sp2		1		1
<i>Solenopsis</i> sp3		1		1
<i>Solenopsis</i> sp6	2	3		5
Total Geral	8	61	68	137

Fonte: Do autor (2022).

ARTIGO II

**RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE ESPÉCIES DE
FORMIGAS REMOVEDORAS DE LARVAS E SEMENTES COM VARIÁVEIS
AMBIENTAIS**

Versão preliminar elaborado de acordo com a NBR 6022 (ABNT,2003)

Relação entre as características morfológicas de espécies de formigas removedoras de larvas e sementes com variáveis ambientais

Kênia Aparecida dos Santos¹; Carla R. Ribas²; Rogério, R. da Silva³; Ronald Zanetti ¹

1 Universidade Federal de Lavras - UFLA. Departamento de Entomologia - UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-900 Lavras, MG, Brasil. Autor correspondente: keniasantos.mf@gmail.com, (35)998416042.

2 Departamento de Ecologia e Conservação, Laboratório de Ecologia de Formigas, Universidade Federal de Lavras, PO Box 3037, Lavras, MG CEP 37200- 000, Brasil.

3 Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, Av. Perimetral 1901, 66077-830, Belém, Pará, Brasil.

RESUMO

A relação entre organismo e processos ecossistêmicos é mediada, dentre outros, pelas características morfológicas, comportamentais e fisiológicas deste organismo e variáveis ambientais. Utilizamos formigas como objeto de estudo para entender essa relação de associação entre características morfológicas e variáveis ambientais nos processos ecossistêmicos de remoção de larvas e de sementes. Para isso, coletamos formigas que removeram larvas de *Tenebrio molitor* e sementes artificiais em cinco áreas de fragmentos florestais de Floresta Atlântica e fitofisionomias de Cerrado. Nesses ambientes coletamos as variáveis abertura de dossel, peso seco de serrapilheira e circunferência a altura da base das árvores e relacionamos com as características morfológicas das formigas coletadas nos processos descritos. A relação entre morfologia e variáveis ambientais nos processos de predação e remoção de sementes tem uma resposta efetiva em nível de espécie. Cada espécie teve uma associação diferente para cada variável do microclima. As medidas da mandíbula se destacaram no processo de remoção das larvas (predação). Sugerimos que análises morfométricas de formigas sejam realizadas a nível de espécie, devido à grande amplitude de características morfológicas do grupo Formicidae. Nossos resultados apontam para a utilização de características morfológicas das espécies como um parâmetro para o estudo da relação organismo-ambiente.

Palavras-chave: processos ecossistêmicos, variáveis ambientais, peso seco de serrapilheira, predação, remoção de sementes

ABSTRACT

Among others, by morphological characteristics, configurations and physiological configurations of this organism and environmental variables. We use forms of object of study to understand this relationship of association between morphological and environmental characteristics in the ecosystem processes of larval and seed removal. For this, we collected forms that removed *Tenebrio molitor* larvae and artificial seeds in five areas of Atlantic Forest fragments and Cerrado phytophysionomies. In these sets of collections, we have canopy opening, litter weight and tree base height as variables, and we relate them to the morphological characteristics of the forms collected in the described processes. The relationship between morphology and environmental variables in the processes of predation and seed removal has an effective response in species. Each species had a different association for each microclimate variable. The jaw measurements stood out in the larval removal process (predation). We suggest that morphometric proposals of forms presented at species level be proposed, due to the wide range of morphological characteristics of the Formicidae group. Our results point to the use of morphological characteristics of the species as a parameter for the study of the organism-environment relationship.

Keywords: ecosystem processes, environmental variables, litter dry weight, predation, seed removal

1 INTRODUÇÃO

As interações bióticas que ocorrem de forma dinâmica em um ecossistema, podem ser direcionadas por características funcionais, entre elas, características morfológicas, comportamentais e fisiológicas do organismo (SCHMIDT; SCHOEREDER; CAETANO, 2017). Neste contexto, as formigas, envolvidas em muitos processos ecossistêmicos, reaperceptam um importante grupo para a exploração de relações entre morfologia e processos ecossistêmicos. Tais interações estão condicionadas ao desenvolvimento de medidas de tamanho relativas que podem ser diferentes entre colônias e até mesmo dentro de uma única colônia de formiga (PERL; NIVEN, 2016). Essa variação fenotípica é o resultado de fatores genéticos e ambientais (ALVARADO et al., 2015).

Na relação entre elementos da funcionalidade dos ecossistemas e as formigas envolvidas, pode-se analisar as múltiplas interações formiga-planta sob a perspectiva das características morfológicas. Por exemplo, o tamanho das operárias do gênero *Azteca* em uma colônia se relaciona com as características físicas de *Cecropia* (MARTING et al., 2018). Na interação formiga-semente a dispersão, a predação, o parasitismo, o tamanho da semente e da formiga, assim como o habitat são importantes indicadores para entendermos como ocorrem os processos (PENN; CRIST, 2018). E nessa interação, o tamanho das operárias podem determinar o carregamento ou somente manipulação das sementes (MATOS; SANTANA; BACCARO, 2020). Esse conhecimento ecológico pode ajudar a prever o que acontece após modificações por atividades humanas. Como, por exemplo, entender que as formigas podem atuar como fator limitante na abundância de ervas daninhas em campos de cereais, ao predação as sementes dessas ervas (EVANS; GLEESON, 2016), tendo a possibilidade de incluí-las em planos de controle em plantios.

As formigas participam também de interações presa-predador, as quais dependem também de dimensões relativas de caracteres funcionais, como tamanho do corpo, assim como, outros fatores, tais como: mobilidade, comportamento e personalidade da presa, entre outros. Sendo assim, as características morfológicas podem ser um dos fatores para fornecer informações sobre como o tamanho de corpo das espécies afetam interações ecológicas (OLIVEIRA et al., 2020). Como exemplo disto, o comprimento da mandíbula no gênero *Strumigenys* foi positivamente correlacionado com o tamanho médio do corpo dos colêmbolos predados e essa relação foi possivelmente influenciada pela variação morfológicas de mandíbula em diferentes locais geográficos (OHKAWARA et al., 2017). A variação sazonal e o micro-habitat podem, também, influenciar a atividade de predação de pragas por formigas, em agroecossistemas de café (ENNIS; PHILPOTT, 2019). Essas interações estão

condicionadas à adaptação das características dos envolvidos, por meio de respostas evolutivas fenotípicas plásticas ou rápidas, sendo importante observar pela perspectiva ecológica-evolutiva em diferentes contextos (SCHMITZ, 2017).

Esses fatores ambientais são determinantes em processos como a dispersão secundária desenvolvida pelas formigas, que ocorre em sementes previamente dispersas por vertebrados. Sendo assim, a perda da vegetação pode afetar diretamente essa relação mutualística, afetando a comunidade de vertebrados e conseqüentemente o sucesso de germinação das sementes (BIEBER et al., 2014; BIEBER; SILVA; OLIVEIRA, 2013). Tais distúrbios antropogênicos, como a perda da vegetação, influenciam também as interações predatórias das formigas (PACHECO et al., 2017). Em escala local ambientes que proporcionam recursos, como habitat, são determinantes para as comunidades de formigas (SOUZA-CAMPANA et al., 2017). Essa influência pode se relacionar com a diversidade morfológica de formigas presentes nesses ambientes, estando associada à complexidade da vegetação (SIQUEIRA; SILVA, 2021).

As variações na estrutura da comunidade e nos processos ecossistêmicos que as formigas participam são explicadas pelo ambiente, faz-se necessário entender a relação de disponibilidade de recursos para diferentes espécies (SALAS-LOPEZ et al., 2017). A fragmentação florestal afeta múltiplos processos, levando a homogeneização biótica (ROLO et al., 2018). As características de micro-habitat estão associadas as características morfológicas em nível de espécies, quanto à dieta e preferência de habitat, sendo importante observar o cenário morfológico e filogenético (GIBB et al., 2015).

O meio abiótico e a distribuição das características funcionais nas comunidades de formigas indicam que essas características podem modular a resposta das espécies ao ambiente. Nesse caso, funcionam como um elo entre a distribuição das espécies e ambiente, o que pode ajudar a prever o efeito de mudanças globais (ARNAN; CERDÁ; RETANA, 2014). Algumas características podem ser usadas para prever a alternância de espécies, mudanças na estratégia de forrageamento, em larga escala espacial e temporal, e a evolução em resposta a mudanças na estrutura do habitat (GIBB; PARR, 2013). Pensando nisso, este estudo direciona essa relação em dois processos que as formigas participam: remoção de sementes e larvas (predação).

Nesse trabalho, avaliamos a relação entre caracteres morfológicos de formigas em processos de remoção de sementes e predação e variáveis ambientais locais, como circunferência na altura da base das plantas, peso seco de serapilheira e abertura de dossel. Como hipótese temos: peso seco de serapilheira será a variável com maior influência na

relação entre características morfológicas e variáveis ambientais. Essa variável está relacionada intimamente com a disponibilidade de recursos utilizados pelas formigas, sendo assim, poderá ter uma relação com a aquisição e locação dos recursos alimentares. Visto que as formigas foco deste estudo possuem hábito epigeico, as características do micro-habitat impactarão a sobrevivência e busca por recursos alimentares.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área e desenho amostral

A pesquisa foi desenvolvida em cinco áreas de vegetação nativa composta por Florestas Estacionais Semidecíduas - Mata Atlântica- (RODELA; TARIFA, 2002) e Cerrado no município de Andrelândia, no sudoeste de Minas Gerais (21° 44' 23" S, 44° 18' 33" W). Essa região está classificada como clima Cwb (classificação de Köppen-Geiger), com temperatura média em torno de 20°C (amplitude média de 13,1° a 25,5°) e média anual de precipitação pluvial de 1,200 mm (LEMOS FILHO; FERREIRA; DE LYRA, 2017).

Essas áreas selecionadas respeitavam 500 metros de distância mínima entre si, onde em cada uma foi estabelecido um transecto de 100 metros com cinco pontos de coleta, espaçados 20 metros entre si (CANEDO-JÚNIOR et al., 2017; RABELLO et al., 2015).

2.3 Coleta das formigas - experimento em campo

Para coletar as formigas associadas ao processo de remoção de larvas e sementes artificiais desenvolvemos dois experimentos em campo de observação de cada um desses processos separadamente. Essa observação ocorreu por 4 horas, entre 07:00 e 11:00 horas, permanecendo dez minutos em cada ponto. As coletas foram realizadas no período chuvoso (janeiro e fevereiro).

Disponibilizamos 15 larvas de *Tenebrio molitor* em cada ponto de observação, cujas as pernas foram amarradas dificultando assim, sua locomoção (ANGOTTI, 2018). Durante um período de quatro horas, em cada ponto observou-se as formigas que carregavam as larvas ou retiravam suas partes, sendo estas colocadas em potes etiquetados contendo álcool 70%.

Disponibilizamos em cada ponto de observação 60 sementes artificiais, que consistem em miçangas de plástico coberta por substância atrativa para as formigas (BIEBER; SILVA; OLIVEIRA, 2013) que simula o elaiossoma (baseado em - (RABELLO; BERNARDI; RIBAS, 2014)). As formigas que deslocavam as sementes, distanciando-as das demais sementes, foram coletadas e transferidas para recipientes com álcool 70% com etiquetas.

Em laboratório as formigas foram dispostas sob triângulos na posição dorsoventral e morfoespeciadas utilizando chaves e sites atualizados (ANTIWIKI, [s.d.]; ANTWEB, [s.d.]; BACCARO et al., 2015; FERNÁNDEZ, 2003a). Posteriormente foram identificadas pela pesquisadora Lívia Pires de Prado. O material encontra depositado no Laboratório de Entomologia Florestal da Universidade Federal de Lavras.

2.4 Obtenção das características morfológicas

Para a obtenção das características morfológicas, todas as formigas coletadas foram fotografadas por meio de uma câmera Refoco-Mod.UA1000CA-10MP acoplada à um microscópio estereoscópico Zeiss Stemi 2000-C. Cada espécime foi fotografado em vários ângulos e com o aumento específico para melhor obtenção das medidas relativas à comprimento e largura, utilizando o software Image View x64, 3.7.11330.

Mensuramos as medidas de cada indivíduo relacionado aos processos que desempenharam. Para a remoção das larvas foram medidas: i) o comprimento da mandíbula (linha reta considerando a extensão do dente apical à região proximal da base margem externa); ii) a distância entre pontos de inserção da mandíbula (linha reta considerando a região proximal da base margem externa da mandíbula direita à região proximal da base margem externa da mandíbula direita); iii) o comprimento de Weber (medida em linha reta considerando-se a extensão da base occipital (junção entre a cabeça e o mesossoma); iv) a largura da mandíbula (linha reta considerando a extensão do ângulo basal à margem externa) e v) o comprimento do pecíolo. E para a remoção das sementes temos como medidas i) o comprimento de Weber; ii) a distância entre pontos de inserção da mandíbula; iii) o comprimento do escapo (linha reta considerando a extensão máxima entre o lobo basal e a região de contato com o flagelo basal); iv) o comprimento máximo da mandíbula (linha reta considerando a extensão do dente basal à região da margem externa) e v) o comprimento da cabeça (linha reta considerando a extensão entre a região central do occipício à região central da margem anterior do clipeo).

2.5 Coleta das variáveis ambientais locais

Amostramos variáveis de vegetação que representam a complexidade ambiental em cada ponto de amostragem (DE QUEIROZ et al., 2017; QUEIROZ; RIBAS; FRANÇA, 2013; RIBAS et al., 2003; SCHMIDT; SCHOEREDER; CAETANO, 2017). No entorno de cada ponto de coleta demarcamos quadrantes de 6x6m e mensuramos:

1) circunferência à altura da base (CAB -cm): considerando todas as plantas que apresentaram circunferência da base mínima de 5 cm medidas a 30 cm de altura do solo. Utilizamos como dados a média de cada transecto assim como o valor total da circunferência à altura da base (DE QUEIROZ et al., 2017).

2) peso seco de serrapilheira (PSE - g): para a coleta de serrapilheira foi delimitada em uma área de 25x25 cm. O material recolhido foi levado ao laboratório e colocado na estufa por um período de 96 horas, para obtenção do peso seco através da pesagem em balança de precisão (DE QUEIROZ et al., 2017).

3) abertura de dossel (ADO - %): fotografias foram obtidas com o auxílio de uma câmera fotográfica com uma lente olho-de-peixe 0,20x, posicionada a 1,5 m de altura próxima ao ponto amostral (ENGELBRECHT; HERZ, 2001). As análises das imagens foram realizadas através do software Gap Light Analyser 2,0 (GLA) que fornece o percentual de abertura do dossel (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999).

2.6 Análises estatísticas

Para determinar se as características morfológicas estão correlacionadas com as variáveis ambientais utilizamos um modelo misto linear generalizado (GLMM). As características morfológicas foram utilizadas como variáveis respostas e as variáveis ambientais locais (abertura de dossel, peso seco de serrapilheira e circunferência à altura da base) como variáveis preditoras. Incluímos como o termo aleatório no modelo a espécie. A identidade das espécies apresentou um alto poder explicativo ao ser utilizada no modelo acima citado como variável aleatória. Um segundo modelo foi ajustado considerando a interação entre as variáveis ambientais e espécies como variáveis preditoras.

Ajustamos os modelos GLMM usando a função *lmer* (pacote 'lme4', BATES et al., 2015). A seleção do modelo foi realizada avaliando a importância das variáveis e com base nos valores AICc (BOLKER et al., 2009). Calculamos pseudo-R-quadrado para modelos usando o pacote 'performance' (LÜDECKE DANIEL et al., 2021), representando a variância explicada por fatores fixos (R-quadrado marginal). Todas as análises foram realizadas com 4.0.2 (R Development Core Team 2021).

3 RESULTADOS

Amostramos 266 formigas, sendo que 129 destas removeram as larvas de *Tenebrio molitor* e 137 removeram as sementes artificiais. As formigas coletadas pertencem a 13

gêneros no total, sendo 5 (18 espécies) associados à predação e 7 (14 espécies) à remoção de sementes.

No processo de remoção de larvas, nenhuma das características morfológicas demonstrou relação com as variáveis locais. Igualmente, as características morfológicas das formigas que removeram sementes não têm relação com as variáveis locais (Tabela 1). A variável aleatória do modelo (espécies) é altamente preditiva para o modelo (R²-condicional: 0,839 a 0,975).

Tabela 1 - Sumário dos modelos mistos lineares generalizados da relação entre características morfológicas e variáveis locais. (continua).

Processo	Característica morfológica		Est	SE	F	P	R
Predação	CW	intercepto	0,949	0,355		0,009	0,001
		CAB	0,134	0,074	3,241	0,075	
		PS	0,008	0,025	0,115	0,734	
		AD	-0,021	0,065	0,100	0,751	
	CP	intercepto	0,240	0,427		0,575	0,003
		CAB	-0,038	0,096	0,155	0,694	
		PS	0,021	0,032	0,410	0,523	
		AD	0,012	0,084	0,020	0,886	
	CM	intercepto	0,864	0,384		0,027	0,001
		CAB	0,009	0,085	0,012	0,913	
		PS	-0,010	0,028	0,120	0,729	
		AD	-0,057	0,074	0,584	0,446	
	GAP	intercepto	0,743	0,334		0,028	0,000
		CAB	0,010	0,074	0,016	0,898	
		PS	-0,000	0,025	0,000	0,997	
		AD	-0,029	0,065	0,196	0,659	
	LM	intercepto	-0,091	0,580		0,875	0,007
		CAB	0,057	0,133	0,184	0,669	
		PS	-0,018	0,045	0,158	0,692	
			AD	-0,129	0,115	1,241	0,268

Legenda: Características morfológicas: comprimento de Weber-CW; comprimento do pecíolo-CP; comprimento mandíbula- CM; distância entre pontos de inserção da mandíbula- GAP; largura da mandíbula- LM; comprimento do escapo- CE; comprimento máximo da mandíbula-CMM; comprimento da cabeça- CC.

Variáveis locais: média da circunferência a altura da base -CAB; peso seco de serapilheira- PS; abertura de dossel- AD).

Estimativa do modelo (Est): demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; erro padrão (SE): estima a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; valor do teste F (F): uma razão de duas variâncias; valor de significância (P); Pseudo-R-quadrado (R²): marginal representa a variância explicada por fatores fixos no melhor modelo; Df=1.

Tabela 1 - Sumário dos modelos mistos lineares generalizados da relação entre características morfológicas e variáveis locais. (conclusão).

Processo	Característica morfológica		Est	SE	F	P	R
Remoção	CW	intercepto	1,887	0,701		0,008	0,001
		CAB	-0,163	0,114	2,042	0,156	
		PS	-0,004	0,042	0,013	0,909	
		AD	0,025	0,138	0,033	0,855	
	GAP	intercepto	1,369	0,588		0,022	0,003
		CAB	-0,149	0,096	2,402	0,125	
		PS	-0,007	0,035	0,038	0,844	
		AD	-0,043	0,117	0,139	0,709	
	CE	intercepto	1,517	0,791		0,058	0,001
		CAB	-0,152	0,130	1,373	0,245	
		PS	-0,012	0,048	0,061	0,805	
		AD	0,010	0,158	0,004	0,945	
	CMM	intercepto	0,220	0,865		0,800	0,002
		CAB	-0,137	0,144	0,902	0,345	
		PS	-0,001	0,054	0,000	0,990	
		AD	-0,024	0,175	0,018	0,891	
	CC	intercepto	1,608	0,488		0,001	0,001
		CAB	-0,071	0,076	0,858	0,357	
		PS	-0,009	0,028	0,090	0,764	
		AD	-0,066	0,093	0,510	0,477	

Fonte: Do autor (2022).

3.1 Espécies do processo de predação

Em *Pachycondyla striata* Smith, 1858 maiores valores de tamanho de corpo se relacionam com o aumento da abertura do dossel (R²: 0,918). Para *Pheidole bucculenta* Forel, 1908, menores valores de tamanho do pecíolo estão associados com aumento da circunferência à altura da base das árvores (CAB) e ao aumento do peso seco de serapilheira (R²: 0,133) (Sumário dos modelos na tabela 2).

3.2 Espécies do processo de remoção de sementes

Para a espécie *Camponotus rufipes* Fabricius, 1775 a circunferência a altura da base aumentou (CAB) a medida que a distância entre pontos de inserção da mandíbula (R²: 0,218), o comprimento máximo da mandíbula e o comprimento da cabeça (R²: 0,143) tinham menores valores. Indivíduos com menores comprimento da cabeça mostrou relação com o aumento de CAB e peso seco de serapilheira em *Pachycondyla striata* Smith, 1858; com o aumento de

CAB e peso seco de serapilheira em *Pheidole bucculenta* Forel,1908; com aumento de CAB em *Pheidole* sp5 (R2: 0.913) (Sumário dos modelos na tabela 2).

Tabela 2 - Sumário do modelo misto linear generalizado das características morfológicas que mostraram relação com variáveis ambientais nas espécies que removem larvas e sementes.

Remoção	Característica morfológica	variável ambiental	espécies/ morfoespécie	Est	SE	df	T	p
Larvas	CW	AD	intercepto	2,29E+03	5,19E-01	8,56E-06	4,413	
			<i>Pachycondyla striata</i>	4,15E-01	1,74E-01	9,30E+01	2,379	0,019
	CP	CAB	intercepto	0,596	1,473	93	0,404	
			<i>Pheidole bucculenta</i>	-2,838	1,263	93	-2,247	0,027
			<i>Pheidole bucculenta</i>	-1,523	0,397	93	-3,830	0,000
Sementes	GAP	CAB	intercepto	-2,718	2,681	69	-1,014	
			<i>Camponotus rufipes</i>	-1,871	0,721	69	-2,595	0,012
	CMM	CAB	intercepto	-3,993	3,634	69	-1,099	
			<i>Camponotus rufipes</i>	-4,540	0,975	69	-4,652	0,000
	CC	CAB	intercepto	-2,56E+00	1,82E+00	5,07E-04	-1,406	
			<i>Camponotus rufipes</i>	-1,40E+00	5,59E-01	6,90E+01	-2,495	0,015
			<i>Pachycondyla striata</i>	-9,01E-01	3,54E-01	6,90E+01	-2,546	0,013
			<i>Pheidole bucculenta</i>	-7,60E-01	3,70E-01	6,90E+01	-2,054	0,044
			<i>Pheidole</i> sp5	-8,96E-01	3,54E-01	6,90E+01	-2,534	0,014
			<i>Pachycondyla striata</i>	-3,73E-01	1,74E-01	6,90E+01	-2,141	0,036
	PS	<i>Pheidole bucculenta</i>	-4,14E-01	1,70E-01	6,90E+01	-2,427	0,018	

Legenda: Característica morfológica: comprimento de Weber-CW; comprimento do pecíolo -CP; distância entre pontos de inserção da mandíbula- GAP; comprimento máximo da mandíbula-CMM; comprimento da cabeça- CC; média da circunferência a altura da base -CAB; peso seco de serapilheira- PS; abertura de dossel- AD).

Estimativa do modelo (Est): demonstra o quanto cada outro nível difere deste nível base; erro padrão (SE): a variabilidade entre a estimativa de parâmetro que seria obtida caso fossem extraídas amostras da mesma população por vezes seguidas; graus de liberdade (df): é o número de parâmetros desconhecidos sendo usado para medir a complexidade do modelo - usa estimadores de máxima verossimilhança ou mínimos quadrados para os parâmetros de regressão; valor do teste t (T): distribuição das variâncias dos parâmetros do modelo; valor de significância do modelo (P).

Fonte: Do autor (2022).

4 DISCUSSÃO

Nós investigamos a relação entre as características morfológicas de formigas de solo associadas à processos ecológicos (remoção de sementes e larvas) e variáveis ambientais. Verificamos essa relação de acordo com as espécies encontradas removendo as larvas e também as sementes. Sendo assim, com base no nosso delineamento algumas características morfológicas respondem as variáveis ambientais de micro-habitat nas áreas coletadas, somente ao considerarmos a identidade das espécies.

A nossa hipótese não foi corroborada, a variável peso seco de serapilheira apresentou três associações com características morfológicas das espécies *Pheidole bucculenta* e *Pachycondyla striata*. Nossa observação dos processos de remoção (larvas e sementes) teve como foco as formigas epigeicas, que utilizam a serapilheira para obter os recursos e condições abióticas propícias para a comunidade. Dentre as características da serrapilheira importantes para as formigas, a morfologia dos galhos presentes nela podem aumentar a riqueza do grupo (FERNANDES et al., 2019). Sendo assim, a medida de peso seco de serapilheira pode indicar a disponibilidade de recursos no ambiente possibilitando estratégias de sobrevivência (SILVA; BRANDÃO, 2010). Além disso, as formigas podem afetar a composição do chorume da serapilheira e atividade microbiana, acelerando a decomposição (STADLER; SCHRAMM; KALBITZ, 2006), o que demonstra influencia indireta importante desse grupo. A serrapilheira tem ainda, grande importância para a comunidade de formigas ao influenciar sua composição (QUEIROZ et al. 2017).

No processo de remoção de sementes, os indivíduos da espécie *Camponotus rufipes* com cabeças menores e mandíbulas finas estão presentes em ambientes com árvores de maiores diâmetros na base. Espécies menores são encontradas em ambientes com maior complexidade ambiental (SCHOFIELD; BISHOP; PARR, 2016). Consequentemente, as variáveis ambientais nesses sistemas podem prever a comunidade presente, ao determinar a convergência de estratégias adaptativas através de seus traços morfológicos, comportamentais ou fisiológicos (SWENSON et al., 2012). Ou podem apontar para algum distúrbio na área, como por exemplo, em locais com solo mais compactado estão presentes espécies menores (SCHMIDT; SCHOEREDER; CAETANO, 2017).

O mesmo padrão se repete para as espécies *Pachycondyla striata*, *Pheidole bucculenta* e *Pheidole* sp5, onde indivíduos com a cabeça menor estão em ambientes com maiores valores de circunferência da base de árvores e peso seco de serapilheira. Assim também, no processo de remoção das larvas indivíduos da espécie *Pheidole bucculenta* com menores pecíolos estão em ambientes com maior peso seco e CAB. Maiores valores dessas variáveis ambientais podem indicar ambientes mais diversos em relação a estrutura da vegetação. Sendo assim, espécies com dimensões morfológicas menores forrageiam com mais eficiência nesses ambientes (GIBB; PARR, 2013). Essa relação nem sempre é verdadeira, pois indivíduos maiores podem estar em ambientes mais complexos (i.e., estrutura da vegetação heterogênea) dependendo da sua função no ambiente (LIU et al., 2019).

No processo de remoção das larvas, indivíduos da espécie *Pachycondyla striata* maiores (maiores comprimentos de Weber) estão em ambientes com dossel mais aberto. Essa

abertura de dossel influencia na entrada de luz no ambiente, e pode ser resultado de maior espaçamento entre árvores, ou indício de alguma perturbação simplificando o micro-habitat temporariamente. O dossel mais fechado está associado a maior umidade, e conseqüentemente maior riqueza de formigas (FERNANDES et al., 2019). No entanto, dependendo do tempo após perturbação, o dossel aberto pode propiciar um crescimento do sub-bosque, aumento da complexidade do ambiente, favorecendo espécies predadoras, como no caso da *P. striata*, ao ter um aumento de recursos temporariamente. Esse resultado pode estar associado à função de predação, pois formigas com corpo e com mandíbulas maiores podem fornecer grandes chances de capturar presas ainda vivas, obtendo o retorno energético gasto no forrageamento. Esse padrão também foi encontrado destacando que as características morfológicas descritas para formigas predadoras prevalecem em locais com maior heterogeneidade (LIU et al., 2019). Reconhecendo que a morfologia de um organismo pode expressar seu habitat (FICHAUX et al., 2019) e sua função dentro de um ambiente (SOSIAK; BARDEN, 2021).

A espécie *Pachycondyla striata* é descrita na literatura como predadora (FERNÁNDEZ, 2003) com forrageamento epigeico, com olhos amplamente separados, com longas mandíbulas e tamanho corporal >10mm (CASTRO-SOUZA et al., 2019). Mas também é descrita como dispersora de sementes na Floresta Atlântica (SUGUITURU et al., 2015). Neste trabalho, essas formigas foram encontradas removendo larvas e sementes artificiais, no entanto, no último caso os indivíduos tinham cabeças menores. Formigas que forrageiam o mesmo estrato podem responder de maneira similar a mudanças na complexidade estrutural, podendo conduzi-las a participarem de processos diferentes, como verificado aqui. Percebemos que no mesmo ambiente essa espécie pode participar de processos diferentes de acordo com variações das características morfológicas.

A espécie *Pheidole bucculenta* também participa de ambos os processos, sendo que indivíduos com menores cabeças e pecíolos estão associados a ambientes com maiores valores de PSE e CAB. Na literatura não temos muitas informações sobre a espécie.

Já a espécie *Camponotus rufipes* mostrou associações com as variáveis ambientais somente do processo de remoção de sementes, o que corrobora a literatura ao apontá-la como principal removedora de ambientes florestais (SANTO, 2007). Essa espécie é descrita como onívora, saprófaga, granívora com forrageamento epigeico, com olhos bem desenvolvidos e amplamente separados, com tamanho corporal variando entre 2-10mm (CASTRO-SOUZA et al., 2019). Demonstramos uma relação de indivíduos com cabeça menores e mandíbula fina e pequena em ambientes com valores de CAB alto, o que aponta para a sua relação com as estruturas da vegetação mais diversas. Mas é encontrada também, em ambientes perturbados

(RIBAS et al., 2012; TIBCHERANI et al., 2018; WINK et al., 2005) e em fragmentos florestais de Floresta Atlântica (GOMES et al., 2013).

Neste estudo a relação entre as características morfológicas associadas com cada variável ambiental, corrobora a literatura, ao se destacar que espécies maiores e com maiores mandíbulas são predadoras. E também, destacamos que espécies com menores cabeças, pecíolo e mandíbula são selecionadas em ambientes com maior complexidade da vegetação (maiores valores de circunferência a altura da base, peso seco de serrapilheira). Essas associações ocorrem principalmente no processo de remoção de sementes. E espécies maiores estão em ambientes mais abertos, no entanto essa condição é encontrada somente no processo de remoção de larvas (predação). Demonstramos que essas associações podem ser utilizadas para avaliar mudanças na estrutura de habitats em escala local, indicando a provável ocorrência dos processos de remoção de larvas e sementes. Assim como, para entender a diversidade de espécies de um local. Nossos dados reforçam a hipótese tamanho-grão (KASPARI; WEISER, 1999), onde temos cabeça menores e mandíbula fina e pequena em habitats de alta complexidade.

O resultado obtido aqui pode ajudar no acompanhamento da diversidade em áreas impactadas, onde essa associação pode ser utilizada como um parâmetro de avaliação para restauração de áreas impactadas com viés bioindicador, pois une o desenvolvimento de um processo no ambiente com suas variáveis ambientais locais e morfologia de um grupo que participa de inúmeros processos ecossistêmicos.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, S. et al. Epigenetic variation in the *Egfr* gene generates quantitative variation in a complex trait in ants. **Nature Communications**, v. 6:6513, 2015.
- ANGOTTI, M. A. et al. Seed removal by ants in Brazilian savanna: optimizing fieldwork. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 155–161, 2018.
- ANTIWIKI. Disponível em: <https://www.antwiki.org/wiki/Brazil>. Acesso em: 2019- 2022.
- ANTWEB. Disponível em: <https://www.antweb.org/taxonomicPage.do?rank=genus&countryName=Brazil&images=true>. Acesso em: 2019-2022.
- ARNAN, X.; CERDÁ, X.; RETANA, J. Ant functional responses along environmental gradients. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 6, p. 1398–1408, nov. 2014.
- BACCARO, F. B. et al. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Editora IN ed. Manaus-AM, Brasil, 2015.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **J Stat Softw**, v. 67, p. 1–48, 2015.
- BIEBER, A. G. D. et al. Assessing the impact of deforestation of the Atlantic rainforest on ant-fruit interactions: A field experiment using synthetic fruits. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, p. 1–9, 2014.
- BIEBER, A. G. D.; SILVA, P. S. D.; OLIVEIRA, P. S. Attractiveness of fallen fleshy fruits to ants depends on previous handling by frugivores. **Ecoscience**, v. 20, n. 1, p. 85–89, 2013.
- BOLKER, B. M. et al. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 3, p. 127–135, 2009.
- CANEDO-JÚNIOR, E. O. et al. Isolated and community contexts produce distinct responses by host plants to the presence of ant-aphid interaction: Plant productivity and seed viability. **PLoS ONE**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 2017.
- CASTRO-SOUZA, R. A. et al. Drivers of ant composition, richness, and trophic guilds in neotropical iron ore cavities. **International Journal of Speleology**, v. 48, n. 3, p. 279–293, 2019.
- DE QUEIROZ, A. C. M. et al. Cerrado vegetation types determine how land use impacts ant biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 6, 12 maio 2017.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; HERZ, H. M. Evaluation of different methods to estimate understorey light conditions in tropical forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, n. 2, p. 207–224, 2001.
- ENNIS, K. K.; PHILPOTT, S. M. Seasonal and microhabitat differences alter ant predation of a globally disruptive coffee pest. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, n. June, p. 106597, nov. 2019.
- EVANS, T. A.; GLEESON, P. V. Direct measurement of ant predation of weed seeds in

wheat cropping. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 4, p. 1177–1185, 2016.

FERNANDES, T. T. et al. Ant Occupation of Twigs in the Leaf Litter of the Atlantic Forest: Influence of the Environment and External Twig Structure. **Tropical Conservation Science**, v. 12, 2019.

FERNÁNDEZ, F. **Introducción a las hormigas de la región Neotropical**. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia. v. 19, n. 5, p. 398, 2003.

FICHAUX, M. et al. Habitats shape taxonomic and functional composition of Neotropical ant assemblages. **Oecologia**, v. 189, n. 2, p. 501–513, 2019.

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. **Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.**, n. Copyright © 1999, 1999.

GIBB, H. et al. Does morphology predict trophic position and habitat use of ant species and assemblages? **Oecologia**, v. 177, n. 2, p. 519–531, 2015.

GIBB, H.; PARR, C. L. Does Structural Complexity Determine the Morphology of Assemblages? An Experimental Test on Three Continents. **PLoS ONE**, v. 8, n. 5, p. 1–7, 2013.

GOMES, D. S. et al. Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. v. 103, n. 2, p. 104–109, 2013.

KASPARI, M.; WEISER, M. D. The size-grain hypothesis and interspecific scaling in ants. **Functional Ecology**, v. 13, n. 4, p. 530–538, 1999.

LEMOS FILHO, L. C. D. A.; FERREIRA, L. L. N.; DE LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista agro@mbiente on-line**, v. 11, n. 1, p. 11, 31 mar. 2017.

LIU, S. P. et al. The mesosomal anatomy of *Myrmecia nigrocincta* workers and evolutionary transformations in Formicidae (Hymenoptera). **Arthropod Systematics and Phylogeny**, v. 77, n. 1, p. 1–19, 2019.

LÜDECKE DANIEL et al. performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 60, p. 3139, 2021.

MARTING, P. R. et al. Ant-plant sociometry in the Azteca-Cecropia mutualism. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2018.

MATOS, L. C. N. DE; SANTANA, F. D.; BACCARO, F. B. Relações alométricas entre os tamanhos de sementes artificiais removidas e de formigas em um fragmento florestal na Amazônia Central. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 15, n. 1, p. 155–164, 2020.

OHKAWARA, K. et al. Geographical variation in mandible morphologies specialised for collembolan predation depend on prey size in the ant *Strumigenys lewisi*. **Ecological Entomology**, v. 42, n. 2, p. 156–163, 2017.

- OLIVEIRA, T. C. T. DE et al. Multitrophic interactions drive body size variations in seed-feeding insects. **Ecological Entomology**, v. 45, n. 3, p. 538–546, 3 jun. 2020.
- PACHECO, R. et al. Effects of land-use changes on ecosystem services: decrease in ant predation in human-dominated landscapes in central Brazil. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 162, n. 3, p. 302–308, 2017.
- PENN, H. J.; CRIST, T. O. From dispersal to predation: A global synthesis of ant-seed interactions. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 18, p. 9122–9138, set. 2018.
- PERL, C. D.; NIVEN, J. E. Colony-level differences in the scaling rules governing wood ant compound eye structure. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1–8, 2016.
- QUEIROZ, A. C. M.; RIBAS, C. R.; FRANÇA, F. M. Microhabitat characteristics that regulate ant richness patterns: The importance of leaf litter for epigeic ants. **Sociobiology**, v. 60, n. 4, p. 367–373, 2013.
- RABELLO, A. M. et al. When is the best period to sample ants in tropical areas impacted by mining and in rehabilitation process? **Insectes Sociaux**, v. 62, n. 2, p. 227–236, 2015.
- RABELLO, A. M.; BERNARDI, L. F. DE O.; RIBAS, C. R. Testing an artificial aril as a new ant-attractant. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 86–90, 2014.
- RIBAS, C. R. et al. Tree heterogeneity, resource availability, and larger scale processes regulating arboreal ant species richness. **Austral Ecology**, v. 28, n. 3, p. 305–314, 2003.
- RIBAS, C. R. et al. Ants as Indicators of the Success of Rehabilitation Efforts in Deposits of Gold Mining Tailings. **Restoration Ecology**, v. 20, n. 6, p. 712–720, 2012.
- RODELA, L. G.; TARIFA, J. R. O clima da Serra do Ibitipoca. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 11, p. 101–113, 2002.
- ROLO, V. et al. Functional diversity mediates contrasting direct and indirect effects of fragmentation on below- and above-ground carbon stocks of coastal dune forests. **Forest Ecology and Management**, v. 407, n. September 2017, p. 174–183, 2018.
- SALAS-LOPEZ, A. et al. Ant-mediated ecosystem processes are driven by trophic community structure but mainly by the environment. **Oecologia**, v. 183, n. 1, p. 249–261, 2017.
- SANTO, M. M. D. E. Secondary seed dispersal of *Ricinus communis* Linnaeus (Euphorbiaceae) by ants in secondary growth vegetation in Minas Gerais. **Revista Arvore**, v. 31, n. 6, p. 1013–1018, 2007.
- SCHMIDT, F. A.; SCHOEREDER, J. H.; CAETANO, M. D. N. Ant assemblage and morphological traits differ in response to soil compaction. **Insectes Sociaux**, v. 64, n. 2, p. 219–225, 2017.
- SCHMITZ, O. Predator and prey functional traits: understanding the adaptive machinery driving predator–prey interactions. **F1000Research**, v. 6, n. 0, p. 1767, 27 set. 2017.
- SCHOFIELD, S. F.; BISHOP, T. R.; PARR, C. L. Morphological characteristics of ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) differ among contrasting biomes. **Myrmecological News**, v. 23, n. September, p. 129–137, 2016.

- SILVA, R. R.; BRANDÃO, C. R. F. Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 1, p. 107–124, 2010.
- SIQUEIRA, E. L. S.; SILVA, R. R. Taxonomic and morphological diversity of the ground-dwelling ant fauna in Eastern Amazonian grasslands. **Acta Oecologica**, v. 110, n. November 2020, p. 103693, maio 2021.
- SOSIAK, C. E.; BARDEN, P. Multidimensional trait morphology predicts ecology across ant lineages. **Functional Ecology**, v. 35, n. 1, p. 139–152, 2021.
- SOUZA-CAMPANA, D. R. et al. Twigs in the Leaf Litter as Ant Habitats in Different Vegetation Habitats in Southeastern Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 194008291771061, 5 jan. 2017.
- STADLER, B.; SCHRAMM, A.; KALBITZ, K. Ant-mediated effects on spruce litter decomposition, solution chemistry, and microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 3, p. 561–572, 2006.
- SUGUITURU, S. S. et al. **Formigas do alto tietê**. [s.l.] Bauru, SP: Canal 6, 2015.
- SWENSON, N. G. et al. Temporal turnover in the composition of tropical tree communities: Functional determinism and phylogenetic stochasticity. **Ecology**, v. 93, n. 3, p. 490–499, 2012.
- TIBCHERANI, M. et al. Review of Ants (Hymenoptera: Formicidae) as bioindicators in the Brazilian Savanna. **Sociobiology**, v. 65, n. 2, p. 112, 9 jul. 2018.
- WINK, C. et al. Insetos Edáficos Como Indicadores Da Qualidade Ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60–71, 2005.