UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

“Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica?”

Bárbara Nobrega Rodrigues

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia,
Ciências e Letras de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo, como parte das
exigências para obtenção do título de Doutor em
Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação
em Entomologia

Ribeirão Preto – SP

(2020)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENTOMOLOGIA

“Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica?”

Bárbara Nobrega Rodrigues

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências, obtido no Programa de Pós-Graduação em Entomologia.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Boscolo
Coorientadora: Dra. Patrícia Alves Ferreira

Ribeirão Preto – SP

(2020)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Rodrigues, Bárbara Nobrega

Paisagem e redes de polinização: Como manter a polinização na Mata Atlântica? Ribeirão Preto, 2020.

210 p.

Tese apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Orientador: Boscolo, Danilo.

Coorientação: Ferreira, Patrícia Alves

1. Polinizadores. 2. Visitante floral. 3. Redes de interação. 4. Agrupamento. 5. Processo ecológico. 6. Abelhas.

Folha de avaliação

Janus

Universidade de São Paulo

ATA DE DEFESA

Aluno: 59131 - 7513186 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa de Tese do(a) Senhor(a) Bárbara Nobrega Rodrigues no Programa: Entomologia, do(a) Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Aos 22 dias do mês de outubro de 2020, no(a) Auditório da Entomologia realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Bárbara Nobrega Rodrigues, apresentada para a obtenção do título de Doutora intitulada:

"Paisagem e redes de polinização: como manter a polinização na Mata Atlântica?"

Apos declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Danilo Boscolo	Presidente	FFCLRP - USP	Não Votante
Kleber Del Claro	Titular	UFU(FFCLRP)	<u>APROVADA</u>
Rodrigo Augusto Santinelo Pereira	Titular	FFCLRP - USP	<u>APROVADA</u>
Kate Pereira Maia	Titular	Externo	<u>APROVADA</u>
Carolina Reigada Montoya	Titular	UFSCar(ESALQ)	<u>APROVADA</u>
Jana Magaly Tesseroli de Souza	Titular	UTFP - Externo	<u>APROVADA</u>

Resultado Final: APROVADA.

Parecer da Comissão Julgadora *

Parecer no verso desta página.

Eu, Cesar Pereira Brites Cesar Brites, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as): Ribeirão Preto, aos 22 dias do mês de outubro de 2020.

Kleber Del Claro
Kleber Del Claro

Rodrigo Augusto Santinelo Pereira
Rodrigo Augusto Santinelo Pereira

Kate Pereira Maia
Kate Pereira Maia

Carolina Reigada Montoya
Carolina Reigada Montoya

Jana Magaly Tesseroli de Souza
Jana Magaly Tesseroli de Souza

Danilo Boscolo
Danilo Boscolo

Presidente da Comissão Julgadora

* OBS.: Se o candidato não tiver nenhum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 05/11/2020, portanto, o(a) aluno(a) FAZ jus ao título de Doutora em Ciências obtido no Programa Entomologia.

Christie Ramos Andrade Leite Panissi

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Profa. Dra. Christie Ramos Andrade Leite Panissi
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Dedicatória

A todos que me ajudaram a concluí-lo.

Agradecimentos

Agradeço a oportunidade

Agradeço a Tatiana Machado Souza por me colocar em contato com o orientador dela, o qual seria meu futuro orientador, o prof. dr. Danilo Boscolo. Agradeço também ao orientador prof. dr. Danilo Boscolo pelas oportunidades que me proporcionou, do doutorado em si, eventos e contatos, como o da minha coorientadora, dr. Patrícia Ferreira. Agradeço também a pós-graduação em Entomologia pelas disciplinas e demais experiências.

Agradeço a orientação

Do Professor Doutor Danilo Boscolo (Dan) durante esses quatro anos. Do Rafael Covre durante todas as minhas etapas acadêmicas. Da Dr. Tatiana Machado Souza (Tati), da Dra. Patrícia Ferreira (Paty), do Prof. Dr. Carlos Garófalo, do Prof. Dr. Paulo Guimarães Jr. e as demais orientações que amigos e colegas me deram ao longo do curso. Da Juliana Bissoli sobre como entender e administrar a mim mesma. Da Profa. Dra. Favízia Freitas de Oliveira, por toda ajuda, trabalho e por me acolher por uma semana em seu laboratório.

Agradeço a companhia

Dos colegas e amigos do programa, dos demais programas e da graduação. Mesmo idas ao mercado com Nanda e Jaque foram ótimas. Da Paty e das conversas agradáveis e inspiradoras com Paty e Lu. Com o pessoal do campo que aliviava a tensão, como Laura (Recruta), Juliana (Ju), Jéssica (Jé), Maiara (Ma), Bruna (Bombus), Guilherme (Gui), Maurício, Paola, Gabriela e Gabriel. No laboratório, com pessoal da graduação, Juliana Takata, Laura Nery, Karoline Lima, Jéssica Perozi, Isabela Santos e Juliana Lima. Do Sidnei Mateus, que me ensinou um pouco do seu vasto conhecimento sobre abelhas e me ajudou, sempre disposto e animado.

Agradeço o apoio e amizade

Do pessoal da graduação, em especial Jéssica Perozi e Isabela Santos que aceitaram minha coorientação, tendo paciência com minha inexperiência. Da Ana Nieves que tínhamos conversas muito boas e relaxantes. Da Aline que, que embora conversamos esporadicamente, sempre nos mantermos atualizadas uma da outra e apoiando uma a outra. Do Rafael Pereira (Pera), Paulo Henrique pelos momentos de descontração e conversas. Do Thiago Abreu (Ogat) pelos desabafos e até revisões de textos. Do apoio dos meus pais, que foi da forma que eles puderam e conseguiram, com muito amor e carinho. Da Tati pelos muitos anos de amizade e amor, sempre uma apoiando a outra. Do Rafael Covre, que fazemos um ótimo time, para enfrentar tudo que a vida pode pôr na nossa frente, que mesmo que estejamos fisicamente separados, estamos sempre torcendo pela felicidade e sucesso um do outro, da maneira mais positiva e cheia de amor que conseguimos.

Agradeço o apoio financeiro

Do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) que possibilitaram a existência desse trabalho e de muitos outros. O presente trabalho recebeu apoio direto do CNPq pelo processo de número 147894/2016-6, e contou com dados coletados sob o financiamento dos projetos “Redes de interação planta-polinizador em paisagens heterogêneas de Mata Atlântica” (CNPq - processo número 449740/2014-5) e “New Sampling Methods and Statistical Tools for Biodiversity Research: Integrating Animal Movement Ecology with Population and Community Ecology ” (FAPESP – número do processo: 2013/50421-2).

Epígrafe

*“Comece onde você está,
use o que você tem e
faça o que você pode.”*

Arthur Ashe

Resumo

Em um cenário de ambientes naturais ameaçados e, ao mesmo tempo, de dependência dos serviços ecossistêmicos providos por esses ambientes, ferramentas que auxiliem a geração de diretrizes para planejamento e uso da terra são uma demanda constante. Uma das formas de gerar diretrizes é através da construção de modelos, que permitam realizar predições razoáveis para cenários futuros. Porém, para construir esses modelos, é necessário saber quais serão os fatores e agentes a serem considerados como relevantes para o modelo. Para o processo de polinização, modelos utilizando redes bipartidas de plantas e animais visitantes florais vem sendo amplamente utilizadas nos estudos de redes de interação plantas-animais visitantes florais para entender o processo de polinização. A estrutura dessas redes podem ser um indicativo de qualidade ambiental, porém as comparações e projeções de cenários futuros demandam alguma generalização na representação do sistema. O sistema é composto por polinizadores e plantas com flores, representados usualmente como espécies, porém a composição das espécies varia com o tempo e com o espaço. Exploramos como as formas de representar os organismos interagindo afetam a estrutura das redes de polinização e as respostas dessas interações com relação a variáveis da paisagem, usando as interações planta-abelha devido as abelhas serem os principais polinizadores de Angiospermas. Observamos que para redes de interações entre plantas e insetos visitantes florais a representação em nível de gênero ainda mantém a estrutura da rede original, representada com espécies ou subdivisões dentro de espécies. O estabelecimento de uma interação planta-inseto é vinculado à correspondência das características entre a flor e o visitante floral, dessa forma, abelhas que visitam uma determinada flor tenderiam a apresentar um mesmo conjunto de características. Observamos esse padrão na relação abelha-abelha (par de abelhas visitando uma mesma flor) apenas quando consideramos todas as interações ocorrendo em diferentes escalas (por coleta, ponto e paisagem de 5 km). Isso indica que o padrão de abelhas do mesmo grupo funcional interagindo com uma espécie de planta ocorre considerando diferentes dados entre áreas. Ao agruparmos tanto as abelhas como as plantas em grupos funcionais obtemos pares de interações que são responsivos às variáveis da paisagem, sendo que o agrupamento por combinação foi o que melhor representou a relação com a paisagem. As métricas da paisagem mais importantes para essas interações foram a porcentagem de floresta e densidade de borda. Uma abordagem funcional é recomendada para a construção de modelos que busquem respostas dos efeitos de fatores ambientais ou fatores da paisagem.

Abstract

In the scenarios of threatened natural environments and, at the same time, dependence of its ecosystem services, there is a constant demand for tools to help generate guidelines to plan the land use. One way to generate these guidelines is building models that can deliver reliable predictions for future scenarios. However, in order to build these models, we need to know which factors and entities are relevant to the models. In the pollination systems, the bipartite network representation and analysis are widely used in articles about flower visitor animals-plant networks to understand the pollination process. The network structure is an indicator of environmental quality, but comparisons and projections of future scenarios require a more generalized system representation. The system contains pollinators and plants, usually represented as species, with the species composition varying through space and time. We explored how the ways of representing the interacting organisms affect the pollination network structure and the responses of this interaction to landscape variables, using flower-bee interactions because bees are major Angiosperm' pollinators. We found that for networks of flower and insect-visitor the representation of nodes grouped in genus still keeps the original network structure, when the nodes were represented in species or subgroups of species. The occurrence of an interaction in flower visitation networks is related to the traits matching between flower and flower-visitor animal. In this way, bees searching for food in the same flower would have very similar profiles. We see this pattern in the bee-bee relation (pair of bees visiting the same flower) only when we consider all interacting pairs from all scales. This indicates that the pattern of the same bee groups interacting with the same flower species only occur with data from different areas. When we grouped both plants and bees in functional groups, we showed that interaction pairs of functional groups of plants and bees responded to landscape and environment variables, being that the functional grouping by combination had the best representation of the landscape effects. We highlight that the most important landscape factor for the functional groups interaction were the percentage of forest coverage and edge density. We recommend a functional approach to the construction of models that aim answers related to environments and landscape factors.

Sumário

1. Introdução.....	13
2. Contextualização	16
2.1. Grupos taxonômicos	16
2.2. Grupos funcionais	17
2.3. Modelagem.....	18
2.4. Redes de interação	19
2.4.1. Matrizes	21
2.4.2. <i>Projeção de redes bipartidas</i>	23
3. Objetivos	25
3.1. Geral.....	25
3.2. Específicos.....	25
4. Capítulos	26
4.1. Capítulo 1 – Redes bipartidas binárias antagônicas e mutualísticas têm diferentes respostas à resolução taxonômica dos nós?	26
4.2. Capítulo 2 – Abelhas com o mesmo perfil funcional visitando um mesmo recurso: uma relação emergente.....	26
4.3. Capítulo 3 – É possível identificar fatores da paisagem que afetam a ocorrência dos pares de interação abelha-flor?.....	27
5. Capítulo 1	28
5.1. Introdução	30
5.2. Material e métodos.....	32
5.2.1. <i>Dados-fonte e seu processamento</i>	32
5.2.2. <i>Análise dos dados</i>	35
5.3. Resultados	38
5.4. Discussão.....	39
6. Capítulo 2	44
6.1. Introdução	46
6.2. Material e métodos.....	47
6.2.1. <i>Área de estudo</i>	47
6.2.2. <i>Dados de interação observados</i>	48
6.2.3. <i>Características das espécies de abelhas</i>	49
6.2.4. <i>Grupos funcionais</i>	52
6.2.5. <i>Análise das interações</i>	54
6.3. Resultados	56
6.4. Discussão.....	59
7. Capítulo 3	62
7.1. Introdução	64
7.2. Material e métodos.....	65
7.2.1. <i>Área de estudo</i>	65
7.2.2. <i>Características da paisagem</i>	66
7.2.3. <i>Características relacionadas à interação</i>	69
7.2.4. <i>Agrupamento</i>	70
7.2.5. <i>Aplicação do modelo</i>	71
7.3. Resultados	73
7.3.1. <i>Agrupamento</i>	73
7.3.2. <i>Contribuição das variáveis na ocorrência de interação</i>	74
7.4. Discussão.....	76
8. Considerações finais.....	80

Apêndices 94
Anexos 203

1. Introdução

A polinização realizada por animais, em especial por abelhas, tem grande importância para o fluxo gênico entre plantas, chegando a ser responsável por até 98% da polinização em alguns ecossistemas (BAWA, 1990). Devido ao benefício que as pessoas obtêm da polinização (FU et al., 2013), o processo de polinização realizado em cultivares é denominado serviço de polinização. Trata-se de um serviço de grande importância para a produção agrícola (KULL; SARTRE; CASTRO-LARRAÑAGA, 2015), que impacta positivamente 85% dos cultivares mundiais e é essencial para 12% deles (KLEIN et al., 2007). Dentro desses 12% encontram-se 13 cultivares, com destaque para o maracujá, a acerola e a baunilha, que dependem totalmente da polinização animal (KLEIN et al., 2007; LIMA; ALENCAR, 2012), e as cucurbitáceas, o mamão e o cacau, que apresentam uma redução de mais de 90% na produção quando não há polinização animal (KLEIN et al., 2007; VALK; KOOMEN, 2013).

Devido a essa relação do sucesso reprodutivo de cultivares com a produção agrícola, a polinização animal contribui para 35% do volume de produção mundial, fazendo com que o déficit de polinização resulte em implicações econômicas diretas capazes de ameaçar a economia de países (LAUTENBACH et al., 2012). O déficit de polinização é atribuído à redução dos polinizadores, principalmente das abelhas, tanto as nativas quanto as domesticadas. O declínio desses polinizadores, por sua vez, é atribuído a uma série de causas, como a perda de habitat, parasitas, doenças, pesticidas, dieta pouco variada, competição e mudanças climáticas (GOULSON et al., 2015). Esses fatores podem interagir entre si de forma diferente no espaço e no tempo, sendo difícil de se avaliar os efeitos dessas interações e suas consequências para as abelhas (GOULSON et al., 2015).

É necessário entender a dinâmica do serviço de polinização para buscar maneiras de manter esse serviço, evitando assim as consequências negativas de sua deficiência. A dinâmica nesse processo se refere a quem interage com quem, a identidade dos organismos envolvidos, estrutura dessas interações e suas alterações. Um dos focos para entender essa dinâmica é encontrar os possíveis fatores que a influenciam e observar como a polinização está estruturada. Para estudar como estão estruturadas as interações entre plantas e polinizadores de uma determinada região, pode-se recorrer à construção de uma rede. Na rede, cada espécie envolvida é representada como um ponto/nó e a linha ligando dois pontos representa a existência de uma interação. Todo esse modelo representativo, construído por linhas e nós é denominado rede de polinização (MONTROYA; PIMM; SOLÉ, 2006). O início dos estudos das redes de polinização

foi em 1974 (Olesen et al. 2012) e atualmente existem iniciativas para disponibilizar os dados de redes de interação, como a iniciativa do IWDB – Interaction Web DataBase (VÁZQUEZ; GOLDBERG; NAIK, 2003), Web of Life (ORTEGA; FORTUNA; BASCOMPTE, 2018) e Mangal (POISOT, 2018), apresentando dados de interação por todas as latitudes em que ocorrem plantas com flores que dependem da polinização animal.

A partir das redes de polinização é possível analisar o que afeta a estrutura das interações polinizador-planta, quais padrões podem ser reconhecidos, e fazer inferências sobre sua dinâmica (LABAR et al., 2014; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). Por exemplo, a densidade de um recurso floral e condições ambientais são fatores capazes de afetar a interação planta-polinizador (BARTOMEUS, 2013; MUSTAJÄRVI et al., 2001). O clima também altera a importância de grupos de plantas para determinados polinizadores (RAMOS-JILIBERTO et al., 2009) levando a alterações na rede de polinização. Alterações nessas redes também podem estar relacionadas a características da paisagem, como o aumento da fragmentação e a redução de manchas de habitats naturais com efeitos negativos sobre a polinização (VIANA et al., 2012).

Alterações na paisagem podem levar ao aumento da distância entre os cultivares e as áreas naturais, que reduz a taxa de visitação dos cultivares (RICKETTS et al., 2008), possivelmente devido a resposta dos polinizadores de acordo com características como a distância de vôo das espécies de polinizadores, os locais que escolhem para nidificar e a disponibilidade de recursos florais (DORCHIN et al., 2013; GARIBALDI et al., 2011; NATTERO et al., 2011; RICKETTS et al., 2008). Ademais, a presença de uma espécie exótica pode alterar a relação entre a paisagem e a estrutura das redes de polinização (SUGIURA; TAKI, 2012).

Há um aumento da dependência da abelha *Apis mellifera* para a polinização de cultivares, que é uma espécie que não é afetada pela distância de áreas naturais (GARIBALDI et al., 2011) e é utilizada comercialmente para realizar a polinização (VALK; KOOMEN, 2013). A polinização realizada pela *A. mellifera* pode explicar porque há apenas um pequeno impacto sobre a frutificação de cultivares com o aumento da distância de áreas naturais, mesmo com uma redução considerável da riqueza e diversidade de polinizadores (RICKETTS et al., 2008). Embora alguns estudos indiquem uma maior frutificação da maçã (MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015; VIANA et al., 2014) e do café (HIPÓLITO; BOSCOLO; VIANA, 2018) com uma maior participação de abelhas nativas, ainda são necessários estudos que considerem em conjunto os tipos de cultivares, o tamanho e qualidade dos fragmentos, e sua relação com a frutificação e os polinizadores presentes (RICKETTS et al., 2008).

As redes de polinização sofrem efeitos de diferentes contextos da paisagem que as interações ocorrem, com fatores da paisagem alterando a robustez e estrutura da rede (FERREIRA et al., 2020; SUGIURA; TAKI, 2012), sendo que a robustez é a capacidade da rede se manter sem colapsar (frente à extinção de alguma espécie) e a estrutura representa como são as relações entre as espécies e quantas relações por espécie (EVANS; POCOCK; MEMMOTT, 2013; NEWMAN, 2003). Em uma revisão realizada por Ferreira e colaboradores (2013), de 155 artigos, 92% descreveram mudanças no sucesso reprodutivo de plantas em resposta à mudanças na diversidade de polinizadores que podem ser decorrentes de mudanças na paisagem, como a intensificação da agricultura, a conversão de áreas naturais em áreas urbanas ou agrícolas, e as mudanças de características dos ambientes naturais.

A informação de quais são os fatores da paisagem que atuam sobre as redes de polinização possibilitaria então propor estratégias de conservação e recuperação dessas redes, importantes tanto para a manutenção da diversidade genética das plantas nativas, quanto para a produtividade dos cultivares. Uma das formas de identificar quais são esses fatores é através da construção de modelos representando a relação da paisagem com a rede de polinização, uma vez que modelos são capazes de transpor o que foi observado em uma escala local para uma mais ampla e avaliar impactos de alterações sem afetar negativamente a área de estudo (METZGER, 2001). Então, os modelos possibilitam extrapolar as informações para uma amplitude maior que a presente nos estudos atuais sobre redes de polinização, restritos à área de estudo e ao tempo em que os dados foram coletados.

No presente trabalho 1) caracterizamos as interações planta-visitante floral para identificar o efeito da representação taxonômica; 2) caracterizamos as interações abelha-abelha mediadas pela visitação de uma mesma flor; e 3) caracterizamos as interações planta-visitante floral para identificar quais os principais fatores da paisagem e como eles atuam sobre as redes de polinização da região de Mata Atlântica do estado de São Paulo através da construção de modelos com os dados que se têm a respeito de redes de polinização. Para esses modelos, buscou-se uma maneira de representar essas redes de interação de forma que traduza melhor as relações entre as plantas e os polinizadores, com foco nas abelhas. Esses modelos forneceram informações de como se manter ou recuperar redes de polinização com base em diferentes características da paisagem, possibilitando gerar diretrizes para auxiliar o planejamento de uso e ocupação do solo visando assegurar a disponibilidade deste serviço.

2. Contextualização

Esta contextualização tem como intuito descrever e exemplificar os termos e conceitos principais que serão abordados dentro de cada um dos capítulos seguintes. Por tratar de conceitos como grupos taxonômicos, grupos funcionais, modelagem e redes de interação, alguns com mais de uma definição possível, colocamos o que consideramos como base para a construção das argumentações dos capítulos.

2.1. Grupos taxonômicos

Agrupamentos taxonômicos são formas de agrupar os organismos seguindo uma classificação taxonômica. Algumas redes tróficas podem apresentar grupos taxonômicos como “insetos”, “patos” e “gaivotas” em uma mesma rede (HALL; RAFFAELLI, 1991). No caso das bactérias, os agrupamentos taxonômicos reúnem bactérias com dietas similares e com a presença ou ausência de cílios (ABARCA-ARENAS; ULANOWICZ, 2002). Alguns grupos funcionais podem apresentar relação com os grupos taxonômicos. Como por exemplo, estudos consideram como grupos taxonômicos o agrupamento de herbívoros de acordo com os diferentes tipos de injúrias que eles causam na planta, como mastigadores, perfuradores e endófagos (CORCKET; GIFFARD; SFORZA, 2016; DASHIELL et al., 2017), a maioria dos besouros, gafanhotos, Lepidoptera e alguns Hymenoptera são mastigadores, Hemiptera e Thysanoptera são perfuradores e assim por diante.

No caso dos polinizadores ou visitantes florais, a diversidade funcional parece estar fortemente relacionada à informação taxonômica (GARIBALDI et al., 2015). As diferentes formas de organizar os polinizadores em grupos funcionais (HOEHN et al., 2008; MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015) podem representar características relacionadas à taxonomia. Na presente tese, buscamos construir grupos de espécies unidos por taxonomias mais abrangentes e avaliamos a sua capacidade de manter os aspectos gerais da rede e de melhor representar a rede com os dados originais. O objetivo foi verificar se olhando para os grupos taxonômicos de menor resolução (gênero, família e ordem) seria possível chegar às mesmas conclusões de conservação da polinização que se teria construindo as redes a partir das espécies. As conclusões nesse contexto são aquelas referentes à robustez e resiliência da rede a partir de

métricas como: aninhamento, conectância, número de links por espécie, número de compartimentos, assimetria da rede, robustez e sobreposição de nicho.

2.2. Grupos funcionais

Segundo Wilson (1999) os tipos de agrupamento podem ser divididos em dois grandes grupos, onde alfa se refere aos grupos que consideram o uso de recursos, principalmente alimentares, e o beta se refere a condições ambientais. O autor salienta a importância de se construir grupos que apresentem significado ecológico e sejam contínuos no espaço funcional, não bastando ter uma estrutura clara. Ainda segundo o autor, os termos guilda, tipo funcional, grupo funcional, grupo ecológico são equivalentes e utilizados para descrever agrupamentos ecológicos de espécies. O uso de grupos funcionais bem como o propósito da construção dos agrupamentos varia desde estudos da teoria ecológica até a construção de modelos (de simulação e descritivos). A construção de grupos funcionais visa reunir entidades com a mesma função para o sistema e permitir análises sem considerar a identidade de cada elemento, permitindo comparar comunidades inclusive entre continentes (WILSON, 1999).

Cada organismo apresenta um conjunto de funções no ecossistema em que ocorre (DÍAZ; CABIDO, 2001) e as características desses organismos estão relacionadas a essas funções, afetando o funcionamento do ecossistema (TILMAN, 2001). Dessa forma, os grupos funcionais são construídos com base nas características presentes nos organismos, sendo que a seleção de quais características a serem utilizadas para a construção dos grupos depende do processo ecossistêmico foco do estudo, a relevância da característica para esse processo, da capacidade de mensurar e representar matematicamente a característica (PETCHEY; GASTON, 2006). Por exemplo, para determinar se era possível gerar grupos funcionais que refletiam os nichos tróficos de aves ao redor do mundo, as características selecionadas foram as que os autores relacionaram a obtenção de alimento (PIGOT et al., 2020), como comprimento do bico e das pernas. Os autores selecionaram oito características morfométricas das aves, com preditibilidade de 78%.

Para o processo de polinização, o formato da flor é associado a polinizadores diferentes, quando se considera abelhas, borboletas e moscas, por exemplo, existe um padrão de interação (VÁZQUEZ et al., 2009), por vezes relacionado a síndromes de polinização, embora não exista uma relação clara entre as características das plantas e os polinizadores para determinar uma

definição confiável de síndromes de polinização (OLLERTON et al., 2015). Dentro dos insetos que são visitantes florais (KRENN; PLANT; SZUCSICH, 2005), o foco do presente estudo são as abelhas, em que não se tem uma relação clara entre grupos funcionais de abelhas e as flores.

Para a relação abelha-flor, o tipo de acesso ao pólen (por exemplo por *buzzpollination*) (NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010) ou a posição da antera (CAMPBELL, 2009) tem influência na visitação. A ocorrência dessa visitação é relacionada à correspondência de características (GARIBALDI et al., 2015), havendo um aumento no sucesso reprodutivo de plantas com relação à produção de sementes com o aumento da diversidade de espécies de abelhas visitantes (FRÜND et al., 2013) e a especialização não está relacionada a um melhor sucesso reprodutivo das plantas, com relações especialistas sendo exceções (ARMBRUSTER, 2014).

Uma alternativa abordada na presente tese foi, a partir da seleção de características com potencial para representar a relação planta-visitante floral e a paisagem, construir os grupos funcionais utilizando as dimensões da Análise de Coordenadas Principais (*Principal Coordinate Analysis* – PCoA). As características foram selecionadas considerando a proposta de Weiss e Rai (2019) para a escolha de características funcionais, consistindo de características morfológicas e comportamentais. Elas pertencem a quatro das 29 características presentes no trabalho de Moretti et al. (2017), que apresenta uma padronização para a medida de características funcionais de invertebrados terrestres, acrescidas de dados da morfologia do aparelho bucal e do comportamento de polinização por vibração. Seguindo a descrição de Wilson (1999), seriam grupos funcionais alfa para análise da relação abelha-abelha (capítulo 2) e para análise envolvendo as interações abelha-flor (capítulo 3).

2.3. Modelagem

Modelos permitem avaliar quais fatores e o quanto esses fatores podem afetar uma variável de interesse. Além disso, alguns modelos permitem estudos em que não é possível ter controle, réplicas ou alterações no ambiente, como em estudos de ecologia de paisagem (METZGER, 2001). Porém, modelos ecológicos geralmente se limitam a projeções de como populações e ecossistemas respondem a alterações e distúrbios ambientais. Eles não costumam lidar com: falta de séries temporais longas e acuradas, escalas grandes e pequenas

simultaneamente, comportamento e interações entre indivíduos com as dinâmicas observadas no sistema.

A maioria das modelagens envolve tentativa e erro, demandando muito esforço e gerando uma metodologia dificilmente replicável (GRIMM; RAILSBACK, 2012). Algumas metodologias propõem níveis hierárquicos para resolver esses problemas, trabalhando com problemas de escala espacial e temporal, e com interações e dinâmicas observadas no sistema. Como exemplo de metodologias existem a Modelagem orientada a padrões (*Pattern-Oriented Modelling* – POM) (GRIMM; RAILSBACK, 2012), a Modelagem hierárquica de comunidade de espécies (*Hierarchical Modelling of Species Communities* – HMSC) (OVASKAINEN et al., 2017) e outras modelagens multivariadas (KLEYER et al., 2012) (Anexo 1).

2.4. Redes de interação

Os três capítulos de desenvolvimento da tese abordam o conceito de rede e os diferentes termos e formas de representar as redes de interação. Redes de interação são representações das interações ecológicas, sendo que as interações são responsáveis por manter a funcionalidade dos ecossistemas (ANDRESEN; ARROYO-RODRÍGUEZ; ESCOBAR, 2018). As interações ecológicas podem estar ameaçadas mesmo quando a riqueza de espécies permanece, pois a perda de uma interação pode ocorrer antes da perda de uma espécie (VALIENTE-BANUET et al., 2014). Assim, o foco na conservação da diversidade de espécies sozinho não necessariamente conservará a estrutura da rede, mas a estrutura da rede pode contribuir para a manutenção da biodiversidade (BASCOMPTE; JORDANO; OLESEN, 2006).

O conceito de redes vem da teoria dos grafos desenvolvido por Leonhard Euler em 1736. Grafos são uma representação em que os nós são os elementos interagindo e as arestas representam as interações. O termo rede é utilizado como sinônimo de grafo, embora possa haver uma separação entre a representação gráfica sendo designada como grafo e o conjunto de interações do mundo real como rede (Figura 4.1). Essa teoria foi aplicada, por exemplo, para análise de topologias das redes de internet para garantir a comunicação, mesmo com a perda de alguns nós, levando ao desenvolvimento da topologia da rede atual de internet, que é descentralizada (BARABÁSI, 2016). Além da topologia, os grafos podem ser binários, orientados e ponderados, dependendo de como as interações são representadas.

Figura 4.1 – Exemplo de interações que ocorrem no mundo real representada na forma de um grafo (Bristow, 1991). Através desse grafo é possível passar a ideia de quais organismos interagem, o quanto eles interagem, como eles interagem e a abundância de cada organismo (Barabási, 2016).

As formas de representar esse grafo variam com o escopo do estudo e as informações representadas. Além da representação gráfica, a informação presente em uma rede pode ser representada por matrizes adjacentes, matrizes de incidência e lista de interações (BARABÁSI, 2016). Em inglês as redes são chamadas de “network” ou “web”, sendo a primeira a designação mais comum como uma representação da realidade e a segunda mais comumente utilizada para definir as interações do mundo real. Também há uma designação para grafo em inglês, “graph”.

As formas de dispor os pontos e as linhas auxiliam na observação de características das interações estudadas. Os tipos de representação das interações também afetam a forma como estudamos as redes. Para estudarmos e analisarmos as redes recorremos ao cálculo de métricas que representem características das redes que estamos interessados em analisar (Anexo 2). Por exemplo, Soares et al. (2017) observaram que as métricas de assimetria e especialização das interações apresentam relação direta com a degradação ambiental. Redes mutualísticas tendem a ser mais aninhadas e antagônicas mais modulares (THÉBAULT; FONTAINE, 2010). A figura 4.2 mostra alguns exemplos de representações de redes e algumas definições com base em Barabási (2016) e Newman (2010):

Tipo	Definição
Unipartida	Monomodal ou “ <i>one-mode networks</i> ”: Todos os vértices são equivalentes, podendo apresentar ligações com qualquer outro vértice (todos os vértices e ligações ocorrem em uma mesma camada).
Bipartida	Duomodal ou “ <i>two-mode networks</i> ”: Há dois tipos de nós, sendo que nós do mesmo tipo não apresentam interações entre si. Podem ser utilizadas para representar relações de mutualismo, parasitismo e predação.
Multipartida	Os nós são de mais de dois tipos, sendo que nós do mesmo tipo não interagem entre si e interagem apenas com os tipos vizinhos. Uma das aplicações dessas redes são estudos multitróficos.

Figura 4.2 – Tipos de representação de redes e as definições segundo Barabási (2016) e Newman (2010). Em redes unipartidas qualquer nó pode interagir entre si. Em representações bipartidas e multipartidas, os nós de uma camada não podem interagir com nós da camada a que pertencem.

2.4.1. Matrizes

Matriz adjacente (matriz de interações):

As entidades que interagem estão representadas nas linhas e nas colunas e cada elemento da matriz representa a presença de interação (valor diferente de 0) ou a ausência de interação (valor igual a 0). Em matrizes binárias, os valores da célula só podem assumir dois valores, 0 ou 1 (Equação 4.1). Matrizes binárias também são chamadas de matrizes de presença-ausência (*presence-absence*), pois representam apenas esses dois estados da interação (se ela ocorre ou não). Em matrizes ponderadas os valores da célula podem assumir valores que representam a intensidade das interações (representação quantitativa, como frequência das interações, número de interações ou taxa de interações). O tipo das interações pode ser representado através do sinal da interação. O sinal da interação pode ser, por exemplo, positivo para ambos os organismos envolvidos quando se trata de interações mutualísticas, ou em que relação de predação são positivas para os organismos predadores e negativos para as presas. O sinal pode representar, portanto, o sentido de um fluxo de energia (Figura 4.3). O pacote “bipartite” (DORMANN; GRUBER; FRUEND, 2008) do R (R CORE TEAM, 2017) utiliza matrizes adjacentes como dado de entrada para as funcionalidades do pacote.

$$\begin{array}{cc}
 \text{Ponderada} & \text{Binária} \\
 A_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{se não há interações} \\ < 0 & \text{se há interações} \end{cases} & A_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{se não há interações} \\ 1 & \text{se há interações} \end{cases}
 \end{array} \quad (4.1)$$

Onde A é um elemento da matriz, i é a linha e j é a coluna.

		Qualitativa (binária)				Quantitativa (ponderada)				
Sem sinal	A	1	2	3	4	B	1	2	3	4
	1	0	1	0	0	1	0	10	0	0
	2	1	0	1	1	2	10	0	5	6
	3	0	1	0	1	3	0	5	0	1
	4	0	1	1	1	4	0	6	1	3
Com sinal	C	1	2	3	4	D	1	2	3	4
	1	0	1	0	0	1	0	10	0	0
	2	-1	0	1	1	2	-10	0	5	6
	3	0	-1	0	1	3	0	-5	0	1
	4	0	1	-1	1	4	0	6	-1	3

Figura 4.3 - Exemplos de matrizes adjacentes com base no exemplo da Figura 1.1. Exemplos de matrizes representando interações de maneira qualitativa (A e C), quantitativa (B e D), com sinal e sem sinal seguindo o exemplo de rede unipartida presente na Figura 1.1.

Lista de interações:

Os pares de interações são representados em cada linha e os atributos das interações estão nas colunas. Dessa forma podem ser apresentados diversos atributos (como descritores de qualidades, cores, ocorrência, etc) para uma mesma interação. O pacote “igraph” (CSARDI; NEPUSZ, 2006) do R (R CORE TEAM, 2017) utiliza lista de interações, matriz adjacente e outros formatos como dado de entrada para as funcionalidades do pacote.

De	Para	N. interações	Tipo	Sinal
1	2	10	Herbivoria	-
2	1	10	Herbivoria	+
2	4	6	Mutualismo	+
4	2	6	Mutualismo	+
2	3	5	Predação	-
3	2	5	Predação	+
3	4	1	Agressão	-
4	3	1	Agressão	+
4	4	3	Comunicação	+

Figura 4.4 – Exemplo de lista de interações com três atributos. Atributos: Número de interações, tipo e sinal.

Matriz incidente (matriz de incidência):

As entidades que interagem estão representadas nas linhas e as interações nas colunas, na forma de pares de interação (Figura 4.5). É uma representação mais comum para circuitos. Também permite a representação de forma binária, ponderada e qualitativa.

	1 - 2	2 - 4	2 - 3	3 - 4	4 - 4
1	10	0	0	0	0
2	-10	5	6	0	0
3	0	-5	6	1	0
4	0	0	0	-1	3

Figura 4.5 - Exemplos de matriz de incidência (com a mesma informação presente nas matrizes adjacentes da Figura 4.3).

2.4.2. *Projeção de redes bipartidas*

Realizada quando se tem interesse em apenas umas das camadas da rede bipartida, pode-se recorrer a projeção das interações dessa camada. A rede resultante de uma projeção representa as interações indiretas dos nós de interesse. Por exemplo, no caso de uma rede bipartida planta-polinizador, a rede projetada para as plantas apenas apresentará duas plantas interagindo se elas compartilharem ao menos um polinizador. A projeção apresenta uma perda de informação, sendo que seu uso deve ser realizado com cautela (ZHOU et al., 2007). Ao se realizar uma projeção, os pesos das interações na rede bipartida e a magnitude das sobreposições são alterados. O pacote “igraph” (CSARDI; NEPUSZ, 2006) do R na função “bipartite.projection” lida apenas com a segunda questão (parâmetro “multiplicity”), em que o peso entre dois nós projetados é proporcional ao número de nós da outra camada que esses dois nós interagiram em comum (Figura 4.6). Representar os pesos das interações das redes bipartidas na projeção não é um procedimento trivial e até o momento existem alguns algoritmos para realizar o processo, mas sem implementação em R (STRAM; REUSS; ALTHOFF, 2017; ZHOU et al., 2007).

Projeção de interações

Projeção de interação compartilhadas

Figura 4.6 – Projeção de interações, segundo o pacote “igraph” do R. A projeção de uma rede bipartida pode ser realizada tanto da camada I quanto da II. Os pesos das interações são perdidos, mas é possível gerar projeções que representem quantos nós em comum da camada II os elementos de uma camada I interagem e vice-versa.

3. Objetivos

3.1. Geral

Compreender quais são as formas de representar as redes de visitação floral envolvendo abelhas e plantas que permitam representar o sistema de maneira informativa, lidando com endemismos e a alta diversidade da Mata Atlântica, incluindo dados espacialmente explícitos, para subsidiar abordagens para estudar a recuperação e manutenção do serviço de polinização na paisagem.

3.2. Específicos

- a) Explorar como diferentes resoluções taxonômicas dos nós podem influenciar na estrutura resultante de redes bipartidas binárias, comparando interações mutualísticas e antagônicas e discutindo suas consequências para a interpretação e entendimento ecológico dessas interações;
- b) Verificar se as abelhas de diferentes espécies com um mesmo conjunto de características tendem a visitar as mesmas flores mais que o esperado pela abundância e tentamos entender quais os fatores relacionados a isso (métricas da estrutura do fragmento, cobertura florestal, e o número de grupos, de indivíduos e de interações) em diferentes escalas (por coleta, ponto e paisagem);
- c) Determinar as variáveis da paisagem importantes para a ocorrência de um par de interações entre grupos de flores e abelhas visitantes florais.

4. Capítulos

4.1. Capítulo 1 – Redes bipartidas binárias antagonicas e mutualísticas têm diferentes respostas à resolução taxonômica dos nós?

Capítulo na forma de artigo publicado pela revista *Ecological Entomology* (DOI: 10.1111/een.12844) sob o título “*Do bipartite binary antagonistic and mutualistic networks have different responses to the taxonomic resolution of nodes?*”. Trata de como a resolução taxonômica dos nós em redes de interação inseto-planta afeta as métricas que utilizamos para analisar a estrutura das redes. Calculamos as mesmas métricas para as mesmas redes em diferentes níveis de resolução taxonômica e construímos dois modelos nulos para separar o efeito da taxonomia do efeito da redução do número de nós. As comparações foram dos valores das métricas na rede sem agrupamento taxonômico em função das métricas com agrupamento e com os modelos nulos. A partir dos resultados discutimos com base nas características dos sistemas observados as implicações práticas de se trabalhar com uma rede com menor resolução taxonômica.

4.2. Capítulo 2 – Abelhas com o mesmo perfil funcional visitando um mesmo recurso: uma relação emergente.

Buscamos investigar se há algum padrão entre as abelhas que visitam um determinado recurso floral, analisando se elas tenderiam a ser do mesmo grupo ou de grupos diferentes. Construímos redes bipartidas com os dados coletados nos anos de 2015-2017 e a projeção unipartida das abelhas (apresentando a ligação indireta através da planta que visitam).

Analizamos as frequências dos pares de interação com relação ao que se espera ao acaso e a influência de métricas da estrutura do fragmento, cobertura florestal, e o número de grupos, de indivíduos e de interações, considerando diferentes escalas (por coleta, ponto e paisagem). A discussão é pautada nas características do sistema abelha-flor, abelha-abelha e grupos funcionais.

4.3. Capítulo 3 – É possível identificar fatores da paisagem que afetam a ocorrência dos pares de interação abelha-flor?

Através de uma adaptação da Modelagem hierárquica de comunidade de espécies (*Hierarchical Modelling of Species Communities* – HMSC) (OVASKAINEN et al., 2017), buscamos avaliar quais fatores afetam a ocorrência ou não de uma interação entre uma abelha e uma flor. Dentre os fatores temos as características da paisagem, as características dos organismos envolvidos e as características locais do ambiente. Através de uma reorganização dos dados de entrada e das etapas de processamento adaptamos o HMSC, originalmente desenvolvido para análises de ocorrência e coocorrência de espécies, para tratar da ocorrência de interações (o que pode levar a abelha visitar uma determinada flor). Tratamos de pares de interação entre gêneros de abelhas e plantas (conforme avaliado como possível segundo o primeiro capítulo) e com os grupos de características que apresentaram alguma relação com os padrões de visitação (conforme avaliado no segundo capítulo). A discussão foi guiada pelos fatores que afetam as redes desse tipo de interação, buscando estabelecer um paralelo entre o que foi observado para as redes e para as interações.

5. Capítulo 1

Redes bipartidas binárias antagônicas e mutualísticas têm diferentes respostas à resolução taxonômica dos nós? (*Ecological Entomology* 2020. 45: 709-717 DOI: 10.1111/een.12844)

Bárbara Nobrega Rodrigues¹ and Danilo Boscolo¹

¹ Laboratório de Ecologia e Análise de Paisagens, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (USP).

Redes bipartidas binárias antagônicas e mutualísticas têm diferentes respostas à resolução taxonômica dos nós?

Resumo

Introdução: Redes bipartidas vêm cada vez mais sendo usadas para o entendimento das interações planta-inseto no nível de comunidade. Devido a limitações taxonômicas, geralmente é muito difícil identificar todos os nós de uma rede com a resolução de espécie e muitos estudos deixam alguns espécimes identificados com resoluções taxonômicas menores. Como resultado, nós não sabemos o quanto uma representação com baixa resolução taxonômica é capaz de representar as mudanças na estrutura da rede, quando comparada à representação com todos os nós em nível de espécie.

Objetivo: testar se as redes de interação construídas usando diferentes combinações de níveis taxonômicos ainda são capazes de representar a mesma estrutura básica das redes construídas apenas com espécies.

Métodos: Nós selecionamos 73 redes de interação bipartidas publicadas (mutualísticas e antagônicas), que foram transformadas em binárias e reconstruídas usando nós classificados como espécies, gênero, família ou ordem (representando diferentes níveis de dificuldade de classificação). Nós comparamos as estruturas das redes usando suas representações binárias principalmente utilizando conectância, aninhamento e modularidade.

Resultados: A estrutura das redes mutualísticas foi forte e linearmente relacionada à estrutura da rede original se todos os nós fossem agrupados até gênero. Em redes antagônicas, a estrutura foi relacionada à rede original apenas se os nós forem agrupados até espécie.

Conclusão: Nossas descobertas são especialmente importantes para estudos comparativos, tais como os que acessam o efeito de gradientes ambientais. Para redes mutualísticas, programas de Ciência Cidadã são capazes de prover indicadores ecológicos úteis, mesmo com as limitações taxonômicas.

Palavras-chave

Identificação do nó; redes bipartidas; redes inseto-planta; conectância; NODF; modularidade.

5.1. Introdução

A teoria de redes tem avançado no campo da ecologia de comunidades, porque ela permite trabalhar com a quantidade massiva de dados acumulados nos últimos anos e trás novas perspectivas para os sistemas de interações ecológicas (BARABÁSI, 2015). O uso da abordagem de redes permite acessar a estrutura das interações biológicas, fornecendo mais informações sobre os sistemas ecológicos e robustez dos processos do que apenas as medidas de diversidade e de abundância (VALIENTE-BANUET et al., 2014). Consequentemente, há um crescente interesse e desenvolvimento de estudos usando análises de rede, seja comparando a estrutura de redes ou apenas descrevendo a estrutura da rede de um sistema, levando a um aumento no número de citações de artigos em ecologia relacionados a redes (BARABÁSI, 2015).

Entender a estrutura das redes é importante quando isso envolve serviços ecológicos importantes, tais como as interações mutualísticas e antagônicas inseto-planta, que podem gerar tanto benefícios quanto perdas para a produção de alimentos (SCHOWALTER; NORIEGA; TSCHARNTKE, 2018), que também são estudadas utilizando redes. Para acessar a estrutura de uma rede ecológica, nós precisamos fazer um levantamento das interações (links da rede) através do registro dos espécimes interagindo (os nós). Isso normalmente demanda que esses espécimes tenham uma identificação taxonômica correta até ao menos nível de espécie. Identificar cada espécie é algo necessário para a maioria dos estudos com diversidade biológica e abundância. Porém, para muito grupos taxonômicos, e dependendo da região geográfica, a correta identificação de muitas espécies é inviável (OLIVEIRA et al., 2012). Esse impedimento taxonômico pode ser um problema para muitos estudos (OLIVER; BEATTIE, 1996), mas os estudos usando a abordagem de redes algumas vezes agrupam espécies em grupos taxonômicos mais abrangentes ou usam agrupamentos funcionais para amenizar esse problema. Por exemplo, alguns estudos representam os nós que não estão identificados em espécie, mas através de um critério não-taxonômico, tais como grupos funcionais baseados em redes tróficas (POCOCK; EVANS; MEMMOTT, 2012), síndromes de polinização (ROSAS-GUERRERO et al., 2014) ou em guildas de herbívoros com base na forma de se alimentar e que parte da planta é consumida (CORCKET; GIFFARD; SFORZA, 2016).

Alguns autores constroem grupos seguindo nível taxonômicos, tais como famílias e ordens, pela forma similar que espécies pertencendo a essas famílias e ordens exploram ou oferecem recursos. Uma vez que o foco das redes ecológicas é na estrutura das interações

biológicas, os nós das redes estudadas podem ser constituídos de grupos de organismos, seja por espécie ou outro nível de resolução taxonômica (ex. BALLANTYNE; BALDOCK; WILLMER, 2015; DICKS; CORBET; PYWELL, 2002; POCOCK; EVANS; MEMMOTT, 2012). Por exemplo, Pacheco Filho et al. (2015) agrupou plantas com flores que secretam óleo por família, seguindo a ideia dos recursos que são ofertados ao polinizador. Os polinizadores, por sua vez, podem ser agrupados em grupos funcionais construídos com informações taxonômicas (HOEHN et al., 2008; MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015). Estudos com herbívoros podem agrupá-los de acordo com os diferentes tipos de injúrias que eles causam na planta, como mastigadores, perfuradores e endófagos (CORCKET; GIFFARD; SFORZA, 2016; DASHIELL et al., 2017). No entanto, estes grupos funcionais têm alguma relação com os grupos taxonômicos. Exemplificando, a maioria dos Lepidoptera, gafanhotos, besouros e alguns Hymenoptera são mastigadores, Hemiptera e Thysanoptera são perfuradores e assim por diante.

Porém, embora a abordagem de realizar esses agrupamentos não seja rara em estudos ecológicos, nós sabemos muito pouco sobre as consequências e impactos que estas representações simplificadas dos nós têm na estrutura das redes bipartidas. É possível que a estrutura resultante leve a um entendimento diferente das interações se os nós são identificados por espécie ou por grupos de espécies. Para as redes de interações tróficas apresentando dois ou mais níveis tróficos, realizar agrupamentos não parece resultar em diferenças significativas das redes com maior resolução possível (MARTINEZ, 1991). Porém nesses estudos o grupo “inseto” pode aparecer como agrupamento taxonômico (HALL; RAFFAELLI, 1991), bactérias podem ser agrupadas de acordo com similaridades da dieta (ABARCA-ARENAS; ULANOWICZ, 2002) ou o estudo pode focar em encontrar métricas robustas a agregação de nós (SUGIHARA; BERSIER; SCHOENLY, 1997). Para teias alimentares de parasitismo (também com mais que dois níveis tróficos), a resolução mais fina provida através do DNA *barcoding* possibilitou um entendimento melhor dos impactos antropogênicos (KAARTINEN et al., 2010).

No presente estudo nós investigamos o impacto da resolução taxonômica nas redes bipartidas inseto-planta compostas de dois níveis tróficos. Essas redes são compostas de nós que podem interagir de modo mutualístico (redes mutualísticas) ou antagônico (redes antagônicas), no entanto, nós não sabemos o quanto a resolução taxonômica das espécies interagindo afeta a estrutura desses dois tipos de redes. Dessa forma, nosso objetivo foi explorar como diferentes resoluções taxonômicas dos nós podem influenciar na estrutura resultante de redes bipartidas binárias, comparando interações mutualísticas e antagônicas e discutindo suas consequências

para a interpretação e entendimento ecológico dessas interações. Para a presente análise, nós identificamos os nós (plantas e insetos) em nível de espécie, gênero, família e ordem, para construir redes com todos os pares de combinações possíveis dessas classificações taxonômicas. Nossa hipótese é de que as redes mutualísticas seriam mais sensíveis à redução da resolução taxonômica dos nós do que as redes antagônicas, uma vez que as interações de polinização tendem a ser mais aninhadas e generalistas enquanto que as redes antagônicas são menos aninhadas (POISOT et al., 2015; THÉBAULT; FONTAINE, 2010) mais modulares e com relações filogenéticas e coevolutivas mais fortes (FORISTER et al., 2015; IBANEZ; ARÈNE; LAVERGNE, 2016; PEARSE; ALTERMATT, 2013; PONISIO; M'GONIGLE, 2017).

5.2. Material e métodos

5.2.1. Dados-fonte e seu processamento

Nós selecionamos redes bipartidas mutualísticas e antagônicas das bases de dados *Interaction Web Database* (IWDB) (VÁZQUEZ; GOLDBERG; NAIK, 2003) e *Web of Life* (ORTEGA; FORTUNA; BASCOMPTE, 2018). Para as interações antagônicas, nós selecionamos redes de Caterpillars.org (DYER; MILLER; GENTRY, 2018) e do material suplementar de Thébault and Fontaine (2010) (Table S1-S2). Uma vez que nós buscamos analisar o efeito da agregação taxonômica nos nós das redes, nós selecionamos rede com a informação de mais que um (ao menos dois) espécimes de plantas e insetos identificados em nível de espécie (ou gêneros identificados como “sp.1”, “sp.2”, etc). Como resultado, nós acabamos não selecionando redes restritas a grupos específicos, como por exemplo, em estudos utilizando observação focal (foco em um inseto ou planta e os organismos que interagem com ele) ou em estudos que não tem foco na comunidade. Se os nós de um nível da rede bipartida já pertencessem a uma mesma espécie, não seria possível observar os efeitos na estrutura da rede dos diferentes agrupamentos por níveis taxonômicos. A lista com as fontes utilizadas e os detalhes de cada rede podem ser encontrados nas Tabelas S1 e S2 do Apêndice 1.

As redes utilizadas foram apenas as que estavam presentes em trabalhos publicados ou utilizadas por trabalhos publicados e que estavam disponibilizadas on-line, para permitir a

reprodutibilidade e para assumirmos que nós podemos confiar (ou ao menos verificar) a identificação taxonômica e a metodologia de coleta dos dados. Transformamos todas as redes em binárias para evitar os possíveis efeitos de diferentes métodos de amostragem, esforço amostral e representação (uma vez que é possível transformar uma rede com informação de frequência em binária, mas o contrário é impossível), enquanto mantemos a representação básica do sistema (CORSO et al., 2015). Dessa forma, valores similares ou diferentes das métricas resultaram diretamente do agrupamento dos nós, sem os efeitos da magnitude das abundâncias. Em alguns trabalhos foram encontradas séries temporais; nesses casos nós selecionamos apenas uma rede (uma rede da série temporal) para evitar representar excessivamente uma área amostral e os resultados serem muito relacionados a essa área amostral.

Seguindo nosso critério de seleção, nós encontramos 47 redes mutualísticas representando apenas interações de visitação floral por insetos. Para as interações antagônicas, nós encontramos 26 redes de diferentes artigos das bases de dados descritas acima. Nós trabalhamos com todas as redes (73 somando mutualísticas e antagônicas) como matrizes adjacentes binárias, com animais nas colunas (nível trófico superior) e as plantas nas linhas (nível trófico inferior). Nós buscamos todas as classificações taxonômicas para todos os nós utilizando a função “gnr_resolve” do pacote “taxize” (CHAMBERLAIN et al., 2017) do R 3.4 (R CORE TEAM, 2017). Esse pacote permite lidar com sinônimos de nomes científicos, recuperando nomes científicos aceitos e as classificações taxonômicas superiores a partir de bases de dados on-line. Para o presente estudo utilizamos as bases de dados ITIS (*the Integrated Taxonomic Information System*) (ROSKOV et al., 2018) e GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) (GBIF.ORG, 2018) porque elas retornam um único nome aceito. Para os casos em que a função não retornou taxonomias mais abrangentes, por exemplo, retornou o gênero ou espécie, mas não a família, nós buscamos pela informação online nas bases de dados GBIF (GBIF.org 2018) ou NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) (U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, 2018).

Alguns nós foram removidos das redes-fonte se um dos critérios a seguir foi satisfeito:

- a) quando não houve correspondência do nome fornecido com as bases de dados utilizados na função “gnr_resolve”;
- b) quando não pertencem aos organismos envolvidos na interação inseto-planta, no caso insetos (classe Insecta) e plantas com flores (classes Magnoliopsida e Liliopsida); e
- c) nós com classificação mais abrangente que espécies ou morfoespécie (ex. família, ordem, etc); e

- d) nós sem interação (ex. nós que interagiam apenas com nós removidos nas etapas “a” e “b”).

Qualquer nó com resolução taxonômica de espécie foi incluído, assim como gêneros com sp.1, sp.2 e demais numerações. Esse processo de remoção dos nós resultou em redes com menos nós (designadas neste texto como redes originais) do que as redes na forma que foram disponibilizadas (designadas nesse texto como redes-fonte) (Figura 5.1, Figura 1 e 2 do Apêndice 2). As redes originais são sutilmente diferentes das com os nós agregados por espécie porque nós representando a mesma espécie ainda não foram agrupados (como nós da mesma espécie, mas de sexos, subgêneros ou subespécies diferentes), mas as conclusões gerais não se alteram mesmo se utilizássemos essas redes já agrupadas em espécie para as análises (Figura S3 do Apêndice 2).

Figura 5.1 – Porcentagem do número de nós das redes como elas estavam disponíveis (redes-fonte, 100% equivalente a rede disponibilizada on-line) e a média da porcentagem dos nós mantidos após nossa padronização (sem agregação dos nós, chamadas no presente trabalho de redes originais) e cada média da porcentagem no número de nós de cada um dos 16 tipos de agregação taxonômica. As linhas representam o desvio padrão para as médias. As duas letras representam “agrupado por”, onde *sp* é espécie, *ge* é gênero, *fa* é família e *or* é ordem.

Construímos redes com nós seguindo as diferentes combinações de classificações taxonômicas para cada rede original. Com isso construímos 16 redes para cada uma das 73 redes, seguindo todas as possíveis combinações taxonômicas (Figura 5.1). Utilizamos a classificação taxonômica para agrupar os nós em cada nível para cada combinação (Figura S4 do Apêndice 2). O número de nós de cada rede e o seu respectivo número de nós para cada uma das 16 formas de agrupar está presente nas Figuras S1 e S2 do Apêndice 2.

5.2.2. Análise dos dados

Nós selecionamos as métricas que atendem o critério de estar relacionadas à robustez da rede (BARTOMEUS, 2013; BURKLE; MARTIN; KNIGHT, 2013) e que estavam presentes em vários artigos de redes mutualísticas e antagônicas (BLÜTHGEN et al., 2008; POISOT et al., 2015; VÁZQUEZ et al., 2009), indicando que são comumente usadas como descritores das redes em estudos ecológicos (POISOT et al., 2015; THÉBAULT; FONTAINE, 2010). As métricas selecionadas foram as métricas globais de conectância, aninhamento e modularidade. A conectância é uma métrica independente de escala e pode ser usada para comparar estrutura de redes ao longo de gradientes (CHAGNON, 2015). As redes mutualísticas tendem a ser mais aninhadas e menos modulares que as redes antagônicas (THÉBAULT; FONTAINE, 2010), essas métricas foram a base para avaliar se o perfil das redes foi mantido.

Utilizamos a função “networklevel” (DORMANN et al., 2009) do pacote “bipartite” (DORMANN; GRUBER; FRUEND, 2008) do R para calcular as métricas de conectância (taxa de interações registradas dividido pelas interações possíveis em uma rede bipartida) e o aninhamento pelo NODF (*Nestedness metric based on Overlap and Decreasing Fill*, que representa a proporção de interações aninhadas em uma rede) e o programa Modular (MARQUITTI et al., 2014) para calcular a modularidade (representa a proporção de subconjuntos na rede e o quanto esses subconjuntos tendem a interagir mais entre si do que com o restante da rede). Os parâmetros passados para o programa Modular calcular os módulos (através do algoritmo *Simulation annealing*, que permite encontrar arranjos com menor energia) foram: 2 como temperatura inicial, 1.05 como fator de resfriamento (*cooling* – velocidade de redução da temperatura) e 1 como número de interações em cada temperatura (*annealing*). Calculamos as métricas para cada rede (73) e para cada tipo de agrupamento (16 combinações mais as redes originais, resultando em 1601 redes).

Comparamos cada valor de métrica das 16 formas de representar a rede (combinações de agrupamentos taxonômicos) com a rede original. Sendo as 16 redes derivadas da rede original, consideramos os valores das métricas dos 16 tipos de agrupamento como amostras dependentes da rede original. Dessa forma calculamos as regressões lineares para estimar como as redes taxonomicamente agrupadas representam a rede original. Consideramos que os modelos foram significativos quando os valores de p foram menores que 0,05 e o r^2 ajustado foi maior que 0,7. Nós usamos a função “lm” do R para construir os modelos representando a relação entre o valor da métrica na rede original e na versão agrupada.

Para testar se as diferenças observadas resultam do agrupamento taxonômico da rede e não da mera redução do número de nós, construímos dois tipos de redes aleatórias (modelo nulo) e realizamos a Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* – PCA) entre os valores das métricas agrupadas taxonomicamente e os modelos nulos para comparar com o PCA dos valores das métricas originais. Os dois modelos nulos foram construídos: pela junção aleatória de pares de nós; e pelo método de Patefield (modelo nulo que mantém os totais marginais e aleatoriza as interações). As redes pela junção aleatória de pares de nós e pelo método de Patefield foram criadas para representar as redes agrupadas taxonomicamente que tiveram relação significativa ($p < 0,05$) e r^2 ajustado foi maior que 0,7 para ao menos duas das métricas testadas seja para as redes mutualísticas ou antagonísticas. Seguindo esse critério, quatro tipo de agrupamento foram selecionados: espécies de insetos e espécies de planta, gênero de insetos e espécies de planta, espécies de insetos e gênero de planta, gênero de insetos e gênero de planta (Figura 5.2 e 5.3).

Figure 5.2 - Boxplot das métricas de conectância, NODF e modularidade para cada um dos 16 tipos de agrupamentos das redes (interações antagonísticas). As duas letras representam “agrupado por”, onde *sp* é espécie, *ge* é gênero, *fa* é família e *or* é ordem. A sigla *Ori* representa os valores das redes originais. Caixas em cinza escuro são os agrupamentos relacionados significativamente com os dados originais ($p < 0,05$) e r^2 ajustado foi maior que 0,7. Caixas cinza claro são os agrupamentos relacionados significativamente com os dados originais ($p < 0,05$), mas com r^2 ajustado foi menor que 0,7. Caixas brancas indicam que não houve relação significativa ($p > 0,05$).

Figure 6.3 - Boxplot das métricas de conectância, NODF e modularidade para cada um dos 16 tipos de agrupamentos das redes (interações mutualísticas). As duas letras representam “agrupado por”, onde *sp* é espécie, *ge* é gênero, *fa* é família e *or* é ordem. A sigla *Ori* representa os valores das redes originais. Caixas em cinza escuro são os agrupamentos relacionados significativamente com os dados originais ($p < 0,05$) e r^2 ajustado foi maior que 0,7. Caixas cinza claro são os agrupamentos relacionados significativamente com os dados originais ($p < 0,05$), mas com r^2 ajustado foi menor que 0,7. Caixas brancas indicam que não houve relação significativa ($p > 0,05$).

Para todo agrupamento taxonômico que resultou em um número de nós diferente da rede original (quando existiu uma redução do número de nós em decorrência do agrupamento taxonômico), construímos 100 redes pela junção aleatória de pares de nós. Quando o número de nós não diferiu da rede original, manteve-se o número presente na rede original (como ocorreu quando o agrupamento taxonômico não diferiu da rede original). Para construir as redes pela junção aleatória de pares de nós, pares de nós foram unidos aleatoriamente até atingir o número de nós correspondente à rede agrupada taxonomicamente para ambos os níveis tróficos. Para todo agrupamento taxonômico, construímos 100 redes pelo método de Patefield.

Comparamos as redes pelo pareamento aleatório e pelo método de Patefield com as redes originais através de uma regressão linear da média da métrica de cada 100 redes aleatorizadas. Esse procedimento mascara a variação que a aleatorização pode gerar, mas nos permite ter uma perspectiva geral dos resultados das redes aleatórias. Nós calculamos as diferenças (delta) de cada métrica de cada rede resultante (pela agregação taxonômica, pela junção aleatória de pares de nós e pelo método de Patefield) com cada métrica das redes originais para observar como e quanto elas diferem das métricas das redes originais (Figura S5 do Apêndice 2).

Para o PCA, calculamos a regressão linear para estimar como o primeiro componente principal (PC1) de cada representação da rede (agregação taxonômica, junção aleatória de pares de nós e método de Patefield) representa o PC1 das redes originais. Também calculamos a média das métricas de cada uma das 100 aleatorizações para calcular o PC1, para poder parear com o PC1 das redes originais. O PCA também nos permite lidar com a correlação entre as métricas (Figuras S6 e S7 do Apêndice 2), porque representa as fontes de variação dos dados como um todo.

5.3. Resultados

Dos conjuntos de dados selecionamos um total de 2653 espécies de insetos e 2086 espécies de plantas. As redes apresentaram distribuição global, com artigos de 1929 até 2017, representando mais de 20 tipos de ambientes (como agricultura, montanha, xérico, floresta, ártico, campos, etc). A maior rede foi uma rede antagônica com 1588 espécies (724 plantas e 864 insetos), de Pearse e Altermatt (2013) (2013), e a menor foi uma mutualística com 10 espécies (4 plantas e 6 insetos), de Kaiser-Bunbury et al. (2014) (2014) (Tabela S1 e S2, e Figura S1 e S2 do Apêndice 2).

Esses números também refletem o número dos níveis taxonômicos maiores. O número de gêneros foi 1203 para insetos e 997 para plantas. A maior diferença entre insetos e plantas foi para ordens, em que tivemos 16 ordens de insetos contra 46 ordens de plantas (Tabela 5.1) (Figura S8 e S9). As classificações taxonômicas maiores e com maior número de espécies foram a ordem Asterales e a família Asteraceae para as plantas para ambas as redes mutualísticas e antagônicas. Para os insetos nas redes mutualísticas, as ordens Hymenoptera e Diptera e as famílias Syrphidae e Apidae tiveram o maior número de espécies. Para os insetos em redes antagônicas, a ordem com o maior número de espécies foi a Lepidoptera e as famílias com o maior número de espécies foram Noctuidae e Geometridae.

Tabela 5.1 Número de espécies por gênero, família e ordem em redes mutualísticas e antagônicas.

Organismo	Rede	Espécies	Gênero	Família	Ordem
Insectos	Mutualística	1549	677	138	10
	Antagônica	1135	571	49	7
	Total ¹	2653	1203	165	11
Plantas	Mutualística	1244	703	158	44
	Antagônica	934	504	113	35
	Total ¹	2086	997	180	44

¹ Sem repetições.

A variância dos valores, média e outliers podem ser observadas no boxplot da Figura 5.2 e 5.3. O boxplot e regressão (Figuras 5.2 e 5.3 e Figuras S10 até S16 do Apêndice 2 para outras métricas e gráficos de regressão) mostraram que os nós dos insetos podem ser agrupados até gênero com relação significativa ($p < 0,05$) e r^2 ajustado foi maior que 0,7 em redes mutualísticas, mas não para as redes antagônicas (Figura 5.2 e 5.3, Figura S11 à S15 do Apêndice 2 para os gráficos de regressão). Nos boxplots, os valores das métricas originais apresentam distribuição mais estreita (menor variância) e menor número de outliers que os valores das métricas agrupadas taxonomicamente (Figura 5.2 e 5.3) ou que as métricas das redes aleatórias (Figuras S10, S11 e S17 do Apêndice 2).

À medida que se reduziu a resolução taxonômica dos nós da rede, a conectância e o NODF foram superestimados e a modularidade foi subestimada (Figura 5.2 e 5.3 e Figura S12). Não houve relação significativa entre os dados originais e os dos nós agrupados aleatoriamente para as redes mutualísticas, mas para as redes antagônicas houve relação significativa. A PCA também ilustrou que para as redes mutualísticas, o PC1 do agrupamento taxonômico tende a explicar mais do PC1 das redes originais através dos quatro tipos de agrupamento taxonômico (variância dos dados e r^2 ajustado) do que as redes formadas pela junção aleatória de pares de nós e pelo método de Patefield (Figuras S18 e S19). O delta das redes agrupadas taxonomicamente teve um desvio padrão menor que o das redes aleatórias (Figura S5 do Apêndice 2), que foi um efeito não visto nas redes antagônicas.

5.4. Discussão

No presente estudo consideramos ambas as redes bipartidas mutualísticas e antagônicas e exploramos a prática usual de representar alguns nós da rede com uma identificação taxonômica mais abrangente que espécie (ex. BALLANTYNE et al., 2017; DICKS; CORBET;

PYWELL, 2002; PACHECO FILHO et al., 2015), mas diferente de trabalhos prévios, expandimos isso para todos os nós de um nível trófico para destacar os efeitos dessa prática. A estrutura das redes com menor resolução taxonômica não foi apenas uma consequência da redução da quantidade de nós. Essas redes com menor resolução taxonômica tem padrões diferentes quando comparados com padrões dos modelos nulos, aparentando representar a estrutura da rede original com menor resolução. Por exemplo, a conectância foi superestimada com a redução na resolução taxonômica dos nós. Todos os padrões observados (sub ou superestimativa das métricas, relações significativas, r^2 ajustado, comparação com modelos nulos, etc.) indicam o que pode acontecer quando alguns nós com menor resolução taxonômica são inseridos nas redes de interação.

Os resultados do presente trabalho diferem dos encontrados para outras redes tróficas (SUGIHARA; BERSIER; SCHOENLY, 1997), em que as métricas de rede foram diferentes das que utilizamos, se mostraram robustas a redução da resolução e tiveram uma relação previsível com a redução da resolução dos nós. Para as nossas redes bipartidas, para manter a relação com a estrutura das redes originais, pode-se apenas agrupar os nós das redes mutualísticas em gênero de planta (r^2 ajustado > 0,7).

As diferenças entre as redes mutualísticas e antagônicas podem estar relacionadas a especificidades de cada tipo de rede. A modularidade e o número de compartimentos nas redes antagônicas foi maior que nas mutualísticas, o que era esperado com base na literatura (POISOT et al., 2015; THÉBAULT; FONTAINE, 2010). Interações mutualísticas são mais aninhadas que as antagônicas, com espécies generalistas tendendo a interagir com especialistas e vice-versa. As interações antagônicas mostraram características de herbivoria, como aninhamento (representado pelo NODF) com valores menores que 50 e conectância menor que 0,4. Essas interações não mostraram características de redes de parasitas (POISOT et al., 2015), consistente com o fato de estarmos trabalhando com interações inseto-planta.

O papel da identidade das espécies e dos gêneros parece ter diferentes significados para cada tipo de rede e mudanças na resolução taxonômica tiveram efeitos diferentes em cada uma. Uma explicação potencial é de que as redes antagônicas representam uma relação mais estreita entre insetos e plantas, em que a diversidade de plantas controla a diversidade de insetos (FORISTER et al., 2015). Consequentemente, as unidades interativas em gênero seriam abrangentes demais para permitir alcançar as mesmas conclusões que se teria com as redes com maior resolução taxonômica. Alguns autores sustentam que os gêneros são uma classificação arbitrária de um grupo de organismos (ATRAN, 1987) e que a classificação em espécie agrupa

os organismos seguindo uma mistura de diferentes características como reprodução, morfologia, genética e ecologia (DE QUEIROZ, 1998; MEIRI; MACE, 2007).

Especialmente para polinização, relações reciprocamente especialistas entre plantas e animais são exceções (VÁZQUEZ et al., 2009). Polinizadores tendem a apresentar nichos flexíveis e dinâmicos, que variam seguindo os recursos disponíveis e competição (FRÜND et al., 2013). Para as plantas, a possibilidade de ser polinizada por mais de um polinizador pode representar uma vantagem em decorrência da complementaridade comportamental e morfológica dos diferentes polinizadores. Uma alta diversidade de polinizadores visitando flores de certas espécies de planta estaria relacionada há uma melhor adaptabilidade em decorrência do aumento na deposição de pólen (ARMBRUSTER, 2014; HOEHN et al., 2008), e esse aumento na diversidade de polinizadores pode levar a um aumento no sucesso reprodutivo (ex. aumento na formação de sementes) (FRÜND et al., 2013). Essa redundância e flexibilidade do sistema pode explicar por que redes de polinização são menos dependentes dos nós identificados em espécie para manter sua estrutura.

Os organismos em relações antagônicas acabam formando módulos distintos dentro das redes de interação (LEWINSOHN; PRADO, 2006). Esta compartimentalização acontece em resposta a pressões ocorrendo diretamente sobre os indivíduos envolvidos em interações antagônicas. No que diz respeito às plantas, defesas químicas e físicas têm evoluído em resposta aos herbívoros, que atuam como mecanismos para prevenir ou restringir a ação deles (ERB, 2018). Por outro lado, essas estratégias das plantas podem selecionar herbívoros capazes de superar esses mecanismos (VOLF et al., 2017). Esse processo tende a gerar relações mais especializadas que mutualismos, como polinização, com até mesmo herbívoros polípagos (herbívoros generalistas) tendo uma fidelidade de 90% a certas espécies de plantas (VOLF et al., 2017).

Contrariamente às nossas expectativas, as redes antagônicas apresentaram uma relação significativa para plantas agrupadas em família. Pearse e Altermatt (2013) também observaram uma relação da família entre plantas e herbívoros. Esses autores mostraram que a família de planta foi um bom preditor de interações de espécies sem história coevolutiva. Utilizando redes simuladas, Ponisio e M'Gonigle (2017) descreveram que comunidades em coespeciação tiveram interação com elevado sinal filogenético, mas não apresentam um sinal claro de coevolução (relação filogenética foi resultado de evolução na mesma região). Ambos os estudos mostraram correspondência da filogenia com as interações, mostrando uma clara correspondência com as características da planta, uma vez que o grau de conservadorismo

filogenético em interações ecológicas antagônicas é frequentemente maior nos níveis tróficos mais baixos (BERGAMINI et al., 2016).

Semelhante a outros estudos (HELENO; DEVOTO; POCOOCK, 2012; POISOT et al., 2015; THÉBAULT; FONTAINE, 2010), nossas redes mutualísticas e antagônicas são predominantemente baseadas em polinização pela interação inseto-flor e em herbivoria por lagartas, respectivamente. Consequentemente, nós tivemos um grande número de espécies de poucas ordens de insetos, devido estas ordens serem as principais de polinizadores e herbívoros. Para as redes antagônicas, a ordem Lepidoptera teve o maior número de espécies, para as mutualísticas, as ordens Hymenoptera e Diptera tiveram o maior número de espécies. Para as plantas, a ordem com o maior número de espécies para ambos os tipos de redes foi a Asterales, a ordem de plantas mais diversa. Da mesma maneira, algumas famílias dessas ordens também foram as mais diversas e com maior número de espécies nas redes, provavelmente em decorrência da alta diversidade de espécies desses táxons, que aumenta as chances de eles aparecerem nessas redes.

Na medida em que reduzimos a resolução taxonômica das redes, os nós representando as ordens ou famílias mais abundantes tendem a concentrar mais conexões que outros nós de outras ordens ou famílias. Quando a redução da resolução taxonômica agrupa o conjunto de organismos em um único nó, as redes não atingem uma estrutura compreensiva e, consequentemente, a mesma interpretação dos valores das métricas das redes originais. A resolução taxonômica mais baixa (ordem) também não apresenta uma relação clara com as métricas da rede original. A classificação em ordem deve ser cuidadosamente considerada quando for incluída nas redes pois não apresenta uma relação significativa com as métricas das redes originais para ambos os tipos de redes.

No entanto, os efeitos específicos precisam ser testados em estudos futuros, questionando por exemplo, se nós pertencentes às ordens mais representativas nas redes são responsáveis pela estrutura da rede (se apenas com os nós pertencentes a essas ordens a estrutura da rede é mantida). Nós também podemos explorar alterações na estrutura das redes construídas apenas com grupos mais suscetíveis, pois alguns grupos podem ser indicadores de mudanças ambientais mais confiáveis que a estrutura da rede como um todo, uma vez que a redundância nas redes mutualísticas pode ter um efeito tampão, disfarçando mudanças irreversíveis.

Concluimos que a resolução taxonômica em gênero provê informação estrutural similar o suficiente com as redes bipartidas originais, ao menos para as interações mutualísticas. No entanto, para alguns estudos a identidade de espécie nos nós pode ser indispensável (ex. interações altamente especializadas de polinização ou estudos considerando características

específicas das espécies). Os resultados apresentados podem ajudar estudos com dados de grandes áreas e estudos comparando redes. Através do uso de redes com nós identificados com uma menor resolução é possível comparar redes com diferentes conjuntos de espécies que requerem tamanhos amostrais grandes e que usam métricas de rede como variáveis resposta, como estudos em ecologia de paisagem (FERREIRA et al., 2020; MOREIRA et al., 2018). Ademais, tratar a resolução taxonômica com um nível adequado, mais funcional ou mais fácil de observar pode nos levar a abordagens alternativas para se pensar ou coletar dados de rede, reduzindo os efeitos dos *missing links* ou *forbidden links* e de espécies crípticas em conjunto de dados, uma vez que é mais improvável deixar de amostrar um gênero do que uma espécie. Essa abordagem pode ser muito útil para programas de Ciência Cidadã, por exemplo, pois embora esses estudos se baseiam em fotos amadoras ou em relatos pouco minuciosos, para os quais a identificação das espécies é inviável, a identificação em gênero apresentaria menos problemas (REDHEAD et al., 2018).

Contribuição dos autores

BNR concebeu as ideias, estruturou a metodologia e analisou os dados. Todos os autores contribuíram na discussão das ideias, na escrita, críticas e deram a aprovação final para publicação.

6. Capítulo 2

Abelhas com o mesmo perfil funcional visitando um mesmo recurso: uma relação emergente. (*possíveis revistas para submissão: Oikos; Oecologia; Ecological Entomology; Bulletin of Entomological Research*)

Bárbara Nobrega Rodrigues¹, Isabela Cristhina Reis dos Santos¹, Favízia Freitas de Oliveira², Juliana Takata¹, Karoline Batista de Lima¹, Patrícia Alves Ferreira³, Danilo Boscolo¹

¹Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo

²Laboratório de Bionomia, Biogeografia e Sistemática de Insetos (BIOSIS), Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia

³Departamento de Ciências Ambientais – DCam, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo

Abelhas com o mesmo perfil funcional visitando um mesmo recurso: um padrão emergente.

Resumo

Introdução: As interações abelha-flor são construídas a partir da interação resultante da busca das abelhas por recursos alimentares nas flores. A ocorrência dessa interação é atribuída a uma correspondência de características entre a abelha e flor, portanto abelhas com um conjunto de características (perfil) semelhante tenderiam a utilizar recurso similares.

Objetivo: Verificar se as abelhas com características semelhantes, segundo a taxonomia ou segundo características funcionais tendem a interagir mais entre si (visitando uma mesma flor) do que o esperado pelo acaso.

Método: Construção de uma lista de pares de interações abelha-abelha, obtida pela projeção de redes bipartidas reais e construídas a partir da camada das abelhas. Construímos 3 tipos de agrupamento taxonômicos e 3 tipos de agrupamentos funcionais e para cada um dos 6 agrupamentos observamos se abelhas do mesmo grupo tendem a interagir mais do que o esperado pelo acaso. Utilizamos testes de aderência para determinar se a quantidade de pares observados diferiu significativamente do esperado pela abundância dos organismos envolvidos na interação. Utilizamos o teste de correlação para verificar a constância dos pares formados.

Resultados: Nas escalas de coleta, ponto e paisagem de 5 km, as interações abelha-abelha tenderam a seguir as abundâncias dos organismos envolvidos, mas globalmente abelhas tenderam a interagir significativamente mais quando são dos mesmos grupos funcionais ou de grupos taxonômicos diferentes. Considerando apenas a correlação, as interações abelha-abelha são muito pouco correlacionadas, indicando que não há uma constância na formação dos pares, seja entre abelhas do mesmo grupo ou de grupos diferentes.

Conclusão: Para os dados de interação considerando cada par ou cada escala, a abundância dos organismos determina as visitas, mas agregando todos os dados, independente da coleta, ponto ou paisagem, as abelhas funcionalmente semelhantes tendem a explorar os mesmos recursos. Os agrupamentos taxonômicos tiveram o efeito oposto. Trata-se de um padrão emergente do sistema abelha-abelha a partir da rede bipartida de visitação.

Palavras-chave

Grupos funcionais; projeção da rede bipartida; efeito da escala; abelha-flor; abelha-abelha

6.1. Introdução

Estudos com redes auxiliam no entendimento de uma variedade de processos entre indivíduos, espécies e outros objetos de estudo em ecologia. Redes de visitação floral são exemplos de redes utilizadas para ajudar a entender o processo de polinização (VÁZQUEZ; JORDANO, 2005). Entre os polinizadores, as abelhas se destacam devido a sua estreita relação com as flores. De modo geral, as abelhas são visitantes florais, pois dependem das flores para obter recursos alimentares, como néctar e/ou pólen. Essa dependência de pólen e néctar vem de uma longa história evolutiva das abelhas com as plantas com flores (AMAYA-MÁRQUEZ, 2009). As abelhas podem ser o conjunto de animais mais importante em abundância e diversidade para a polinização das plantas com flores. Elas contribuem para a polinização da maioria das plantas neotropicais (BAWA, 1990) e tem um grande impacto na produção de alimentos (KLEIN et al., 2007)

Abelhas de diferentes espécies visitando uma mesma flor podem indicar que essas abelhas necessitam dos mesmos recursos, o que pode levar a uma competição entre elas. A competição por recursos florais entre abelhas pode levar a um particionamento temporal dos recursos usados (CARVALHO; PRESLEY; SANTOS, 2014) ou a utilização de outros recursos florais com características similares. Essas alterações no uso de recursos realizadas pelos visitantes florais (relacionada ao aumento na diversidade funcional e de espécies de abelhas), parece se resultar em um processo de polinização mais eficiente (FRÜND et al., 2013). Mesmo que a diversidade funcional esteja relacionada a características dos polinizadores, não há uma relação direta entre as características dos polinizadores e a ocorrência de interação. A ocorrência de interação é atribuída a uma correspondência de características flor-polinizador, sendo que as características dos polinizadores aparentam estar muito relacionadas à sua taxonomia (GARIBALDI et al., 2015).

No entanto, não há uma constância entre os pares de interação flor-polinizador dentro das redes de visitação floral ao longo do tempo, com menos de 5% das interações sendo mantidas ao longo de 4 anos (PETANIDOU et al., 2008). Para ambientes tropicais, as interações de polinização tendem a ser menos especialistas, sendo que mudanças na abundância dos recursos para os polinizadores pode estar relacionada a essa redução da especialização dessas redes de polinização (SCHLEUNING et al., 2012). Para redes bipartidas em geral, a abundância e a fenologia são os principais fatores responsáveis por determinar a estrutura das redes (VÁZQUEZ; CHACOFF; CAGNOLO, 2009).

Porém, a ocorrência da interação é resultado de alguma correspondência entre as características da flor e do visitante floral. Dessa forma, algum conjunto de características (perfil) dos visitantes de uma mesma espécie de planta pode ser constante no tempo e no espaço, mesmo que não seja possível estabelecer uma correspondência entre as características das abelhas e a espécie de flor que visitam, como o esperado para a determinação de uma síndrome floral (ARMBRUSTER, 2014). Considerando as abelhas visitando uma mesma flor em um mesmo dia, além de uma possível equivalência entre as características, essas abelhas podem contribuir para a polinização (MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015) e interagir indiretamente, pois alteram a quantidade de pólen e néctar disponível, a composição de microorganismos (USHIO et al., 2015) e a composição dos compostos orgânicos voláteis (WITJES; WITSCH; ELTZ, 2011).

Dessa forma, nós verificamos se as abelhas de diferentes espécies com um mesmo perfil de características tendem a visitar as mesmas flores mais que o esperado pela abundância e tentamos entender quais os fatores podem estar relacionados à presença desse padrão (métricas da estrutura do fragmento, cobertura florestal, e o número de grupos, de indivíduos e de interações) em diferentes escalas (por coleta, ponto e paisagem). Nossa hipótese é que os pares de abelhas visitando uma mesma flor teriam o mesmo perfil, ou seja, os pares de abelhas com o mesmo perfil seriam mais frequentes que o esperado pela abundância, pois representariam a correspondência de características flor-polinizador (GARIBALDI et al., 2015; VÁZQUEZ et al., 2009). Portanto, esperamos observar uma proporção maior de interações envolvendo abelhas do mesmo grupo do que de grupos diferentes. Identificar os padrões entre as interações abelha-abelha relacionados a uma flor nos ajuda a entender os padrões relacionados à visitação floral e ao processo de polinização.

6.2. Material e métodos

6.2.1. Área de estudo

Amostramos abelhas visitando flores em uma região de Mata Atlântica entre as serras da Cantareira e Mantiqueira, com a formação vegetal de floresta ombrófila densa, clima Tropical,

subsequente a mesotérmico brando, considerado de úmido a superúmido (IBGE, 2015), e o clima segundo Köppen-Geiger é Cwa (clima temperado úmido com verão quente) (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Atualmente a Mata Atlântica apresenta 12% da sua cobertura original, distribuída através de manchas com grande variação no grau de degradação (RIBEIRO et al., 2009; ZAU, 1998). Este bioma está entre os mais importantes para a conservação da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000), com alto grau de endemismos, apresentando muitas espécies ameaçadas (RIBEIRO et al., 2009) e que sofre intensa pressão agrícola e imobiliária (MIRANDA, 2007; ZAU, 1998).

6.2.2. *Dados de interação observados*

As abelhas foram coletadas nos verões de 2015-2016 e 2016-2017. Foram 30 pontos amostrais em 10 paisagens de 5 km de raio (três pontos para cada paisagem de 5 km) e a amostragem foi feita em 15 pontos em cada verão. As paisagens variaram de 16% até 69% de cobertura de floresta. Cada ponto foi amostrado três vezes em cada verão. Isso resultou em 90 amostras (30 pontos, três amostras por ponto) (Apêndice 3).

Em cada ponto delimitamos duas áreas de amostragem, um hexágono de 25 m de lado dentro do fragmento (a 50 m de todas as bordas do fragmento) e outro em uma área com vegetação aberta (como um pasto abandonado, por exemplo). Localizamos nessas áreas todos os indivíduos com flor e em cada um desses indivíduos passamos 15 min coletando todos os visitantes florais que apresentaram comportamento de um visitante floral legítimo (tocaram as estruturas reprodutivas das flores), das 8:00 h até as 14:00 h. Todos os dias de amostragem estavam ensolarados e amenos (temperaturas variando de 20°C a 30 °C).

As abelhas foram coletadas com redes entomológicas e conservadas em álcool 70% no momento da coleta e depois montadas para a identificação por especialista. No final de cada dia de coleta, nós amostramos todas as plantas observadas e posteriormente confeccionamos exsiccatas para a identificação por especialistas. Dentro de cada hexágono, nós também coletamos dados da estrutura do fragmento a partir de três transectos de 2 m de largura e 50 m de comprimento, nos quais cada transecto estava centralizado a 1 m das três maiores diagonais do hexágono (Apêndice 4). As métricas de estrutura coletadas foram: altura do dossel, número de plantas no sub-bosque por metro quadrado (número de plantas nos transectos dividido pela área dos transectos), diâmetro na altura do peito (DAP) médio (DAP dividido pelo número de

indivíduos), área basal média (área basal dividida pela área dos transectos), e número de troncos caídos por metro quadrado (número de troncos nos transectos dividido pela área dos transectos).

6.2.3. *Características das espécies de abelhas*

Utilizamos os dados das características referentes a cada uma das espécies abelhas para a construção dos grupos funcionais, considerando o processo de polinização como foco para a seleção das características. Portanto, selecionamos características relacionadas a visitação floral que estavam presentes em trabalhos de grupos funcionais (COUTINHO; GARIBALDI; VIANA, 2018; FONTAINE et al., 2006; GARIBALDI et al., 2015; GRASS; BERENS; FARWIG, 2014; HOEHN et al., 2008; PACHECO FILHO et al., 2015; VÁZQUEZ et al., 2009) e sobre a biologia das espécies (CARIVEAU et al., 2016; FARIA; GONÇALVES, 2013; KLEINERT; CORTOPASSI-LAURINO; IMPERATRIZ-FONSECA, 2009; MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015; MICHENER, 2007; NOGUEIRA-NETO, 1997) (Tabela 6.1). Essas características são morfológicas e comportamentais, estando incluídas em quatro das 29 categorias de Moretti et al. (2017) para a padronização de características funcionais de invertebrados terrestres. Três dessas características também estão presentes em um conjunto de dados sobre características ecológicas de abelhas brasileiras (BORGES et al., 2020) que apresenta seis características no total (socialidade, distância intertegular, distância de voo baseada na distância intertegular, substrato de nidificação, distribuição e registros de cultivares que polinizam). Nós adicionamos algumas características que são significativas para a polinização, como características do aparato bucal e o comportamento de vibração na flor.

Tabela 6.1 - Características das abelhas relacionadas a interação abelha-flor e suas respectivas fontes na literatura. Nós escolhemos características de dois tipos diferentes de trabalhos: grupos funcionais e biologia das espécies. Em negrito estão as características presentes em mais que duas fontes e são as características que utilizamos para construir os grupos por combinação. Representamos o substrato de nidificação nas categorias: Acima do solo: madeira podre, madeira e graveto. Abaixo do solo: solo e argila. Representamos a pubescência do corpo: muito glabra (semelhante a *Augochlorini*), moderada (como *Apis mellifera*) e densa (semelhante a *Bombus*). Usamos seis categorias para tamanhos das abelhas: minúscula (< 8 mm), pequena (8 a 14 mm), média (14 a 20 mm), grande (20 a 26 mm), muito grande (26 a 32 mm) e enorme (> 32 mm), porém nossos dados apresentaram abelhas até a categoria grande.

Tipo	Característica	Categorias	Fonte
Binário	Substrato de nidificação	Argiloso (0 1)	Coutinho et al. 2018; Faria & Gonçalves, 2013
		Madeira podre (0 1)	
		Madeira (0 1)	
		Solo (0 1)	
		Graveto (0 1)	
	Comprimento do aparato bucal	Glossa ¹ (0 1)	Fontaine et al. 2006; Garibaldi et al. 2015; Grass et al. 2014; Cariveau et al. 2016; Pacheco Filho et al., 2015
		Probóscide ¹ (0 1)	
	Estrutura de coleta de pólen	Corbícula (0 1)	Martins et al. 2015
		Escopa (0 1)	
		Escopa metassomal (0 1)	
Ordinal	Recurso buscado	Óleo (0 1)	Michener, 2007; Nogueira-Neto, 1997; Pacheco Filho et al., 2015
	Vibração para polinizar	Pólen (0 1)	Garibaldi et al. 2015; Michener, 2007; Nogueira-Neto, 1997; Pacheco Filho et al., 2015
		Realizar a polinização por vibração (0 1)	
	Socialidade	Solitária,	Coutinho et al. 2018; Faria & Gonçalves, 2013; Martins et al. 2015
		Solitária/parasocial, Social ou Eussocial (1 - 4)	
	Quantidade de cerdas	Glabra, Intermediária ou Densa (1 - 3)	Moretti et al. 2017
		Minúscula, Pequena, Média, e Grande (1 - 4)	
	Tamanho do corpo	Minúscula, Pequena, Média, e Grande (1 - 4)	Coutinho et al. 2018; Garibaldi et al. 2015; Grass et al. 2014; Hoehn et al. 2008; Kleinert et al. 2009; Martins et al. 2015

¹ Probóscide = Pré-mento + glossa. Segue a descrição para cada espécie, dessa forma espécies que apresentam a glossa curta, mas apresentam o pré-mento alongado são representadas, como as espécies do gênero *Neocorynura*.

A partir da classificação taxonômica mais detalhada possível das abelhas coletadas (196 morfotipos, composto por 53 espécies e 143 morfoespécies), nós recuperamos todas as classificações taxonômicas de gênero até ordem (MICHENER, 2007), incluindo as subdivisões de tribo, subfamília e superfamília (Apêndice 5). A partir da classificação mais ampla para a mais restrita, nós preenchemos todas as características comuns a todos os membros da superfamília, família, e assim por diante, até todas as características com as informações mais detalhadas disponíveis fossem extraídas dos livros Michener (2007), Michener (1974) e Nogueira-Neto (1997). Esses livros são as principais fontes de informação sobre diversidade, taxonomia, morfologia e comportamento das abelhas. Após preencher as informações de características que estavam presentes nesses livros, nós procuramos por informações

específicas para cada espécie em artigos e literatura cinza (monografias, dissertações e teses). O Apêndice 6 contém as referências utilizadas para o preenchimento das características e o Apêndice 7 e 8 contém a tabela com as características.

Adicionalmente à informação presente na literatura, nós medimos a distância intertegular (DI, distância entre as tégulas, que são estruturas que cobrem as articulações das asas) (Apêndice 9) de 10 indivíduos de cada morfotipo (amostrados aleatoriamente). Para alguns morfotipos foram medidos o quanto de indivíduos permitiram obter as medidas (ex. morfotipo coletados somam menos de 10 indivíduos, indivíduos com tórax danificado, etc.). Os indivíduos medidos totalizam 672 que pertencem aos 196 morfotipos coletados (53 espécies e 143 morfoespécies). A DI é uma medida de tamanho das abelhas (GARIBALDI et al., 2015; KENDALL et al., 2019) e uma forma de representar a distância de voo (GREENLEAF et al., 2007; KENDALL et al., 2019). Medimos apenas fêmeas pois elas são responsáveis por provisionar o ninho da maioria das espécies (MICHENER, 1974, 2007; NOGUEIRA-NETO, 1997) e foram muito mais abundantes em nossas amostras (apenas 0,07% dos indivíduos coletados foram machos, totalizando 126 dos 1693 indivíduos coletados). Porém, quando um morfotipo foi representado apenas por machos, nós medimos a DI dos machos.

Medimos no total 672 indivíduos (Apêndice 10). A DI e a taxonomia foi utilizada para estimar o tamanho do corpo (comprimento total) através da função “bodysize” do pacote “pollimetry” (KENDALL et al., 2019) do R 3.4 (R CORE TEAM, 2017), e classificamos cada abelha em uma das seguintes categorias: minúscula (< 8 mm), pequena (8 a 14 mm), média (14 a 20 mm), grande (20 a 26 mm), muito grande (26 a 32 mm) e enorme (> 32 mm). Essas seis categorias representam todos os tamanhos de abelhas no mundo (MICHENER, 2007).

Representamos todas as características de modo a possibilitar o processamento com a menor perda de informação possível. Por exemplo, alteramos a lista de informação que representa os recursos coletados para um conjunto de informações binárias (se o morfotipo coleta ou não um determinado recurso). Calculamos a correlação entre todas as características para selecionar as características menos redundantes. Para os dados binários, calculamos a correlação de Kendall utilizando a função “cor” do R. Para os dados ordinais, calculamos a correlação de Spearman utilizando a mesma função do R (Apêndice 11).

Dentre as características, selecionamos as que não apresentavam correlação acima de 0.7, considerada como alta correlação (AKOGLU, 2018), com as demais. Dentre as características que estavam correlacionadas, existiam as correlacionadas com uma ou mais características. Foram descartadas as características que apresentavam correlação alta com mais que uma característica, iniciando pelas que apresentavam correlação maior que 0,6 com outras

características (ao eliminar uma característica correlacionada, as características relacionadas a ela deixam de apresentar essa correlação).

A etapa de agrupamento utilizou todas as características selecionadas pela correlação (Tabela 6.1), mas para o agrupamento por combinação selecionamos apenas as características presentes em mais de um trabalho e diretamente relacionadas à interação abelha-flor. Isso porque o número de grupos possíveis aumenta como um múltiplo do número de possibilidades para cada característica, com todas as características apresentando o mesmo peso para construir o grupo, não incluindo ponderação ou algum tipo de ajuste, como ocorre para os grupos por distância de características e redes neurais.

6.2.4. Grupos funcionais

Construímos grupos funcionais através de três abordagens: por combinação de características, por agrupamento hierárquico, e por redes neurais. Utilizamos o espaço multidimensional do *framework* de Villéger et al. (2008) para melhor representar as características funcionais das espécies (COUTINHO; GARIBALDI; VIANA, 2018) para as abordagens de agrupamento hierárquico e redes neurais. Esse *framework* utiliza um método adaptado de Gower (PAVOINE et al., 2009) para calcular as distâncias entre cada uma das espécies através da tabela de características, e a Análise de Coordenadas Principais (*Principal Coordinate Analysis* – PCoA) para gerar os grupos e para construir um índice funcional (VILLÉGER; MASON; MOUILLOT, 2008).

Focamos nos grupos funcionais considerando o espaço multidimensional de características, então calculamos a distância através do método adaptado de Gower entre cada espécie com a função do R “dist.ktab” do pacote “ade4” (DRAY; DUFOUR, 2007). A função “dist.ktab” processa dados binários, ordinais, nominais, *fuzzy* e quantitativos (PAVOINE et al., 2009). Para o PCoA no R, utilizamos a função “pcoa” do pacote “ape” (PARADIS; SCHLIEP, 2018). Utilizamos sete dimensões do PCoA que foi a quantidade de dimensões máxima utilizada por Maire et al. (2015) e que obteve a melhor qualidade para acessar a diversidade funcional.

Determinamos a quantidade de grupos hierárquicos como 76, por ser o número que maximiza o valor de Silhouette médio, dentre a divisão em 2 a 100 grupos, utilizando a função “silhouette” do R. Na análise de Silhouette, cada par de elementos recebe um valor: zero se os

elementos estão no mesmo grupo, um se os elementos estão em grupos distintos ou negativo se os elementos estão colocados no grupo errado (ROUSSEUW, 1987).

Para o agrupamento por redes neurais, utilizamos uma adaptação do método de Kohonen para dados não binários do pacote “SOMbrero” (VIALANEIX et al., 2019) do R. Kohonen é um método de agrupamento não-supervisionado por mapas auto-organizáveis (*Self-Organising Map* – SOM), comparável com métodos de estatística convencional (GIRAUDEL; LEK, 2001), mas capaz de realizar agrupamentos de qualidade e extrair informações relevantes de espaços multidimensionais (CHON, 2011; MOSTAFA, 2010).

Para agrupar a informação utilizando Kohonen é necessário definir as dimensões da camada de neurônios de saída. O número de neurônios representa os espaços vazios onde a informação pode ser alocada, sendo que um grupo é formado quando mais de uma informação é colocada no mesmo neurônio. Testamos camadas de saída quadradas, com quatro vizinhos e com dimensões variando de dois a 14 (temos 196 morfotipos, para termos uma malha que permita que cada morfotipo seja alocado em um único neurônio, é necessário que a malha de saída tenha 196 neurônios, portanto, para uma malha quadrada isso significa uma malha de 14×14). Selecionamos a camada de saída com a menor energia dentre 100 camadas de cada dimensão, dentre as camadas de dois por dois até 14 por 14. A dimensão da camada de saída com menor energia foi a de nove por nove. Com essa camada de saída (9×9), obtivemos 24 grupos (Apêndice 12).

Para o agrupamento por combinação, apenas consideramos como um grupo cada combinação única de características. Se as características fossem aleatoriamente distribuídas e todas as combinações de características fossem possíveis, teríamos 512 grupos (combinação de duas informações ordinais com quatro possibilidades e cinco informações binárias) (Tabela 6.1). Porém o agrupamento resultou em 38 grupos.

Também consideramos os grupos por gênero, subfamília e família para comparar com os grupos funcionais. Alguns trabalhos apresentam os grupos taxonômicos como grupos funcionais devido às características em comum compartilhadas pelos membros de um mesmo grupo taxonômico (HALL; RAFFAELLI, 1991; PACHECO FILHO et al., 2015).

6.2.5. *Análise das interações*

Construímos uma lista de interações abelha-abelha a partir dos pares de abelhas visitando uma mesma espécie de planta florida em um mesmo dia e em uma mesma localização (ponto de coleta). Para fazer essa lista, fizemos a projeção da rede bipartida com os dados de cada coleta (mesmo dia e mesmo ponto). Utilizamos o pacote “igraph” (CSARDI; NEPUSZ, 2006) do R para construir as redes e projeções. Consideramos apenas as interações interespecíficas, pois nosso foco é testar se espécies de abelhas com o mesmo perfil de características tendem a acessar os mesmos recursos.

Para testar essa tendência de interações abelha-abelha, comparamos as interações observadas com as esperadas considerando a abundância dos indivíduos coletados em relação a todos os tipos de interações observadas (modelo nulo), em vez de considerar todas as interações possíveis (Figura 6.1). Utilizamos a abundância dos indivíduos coletados como uma aproximação da abundância presente na área. Utilizamos os tipos de interações observadas em vez de todas as interações possíveis para evitar considerar interações que não poderiam ocorrer e porque assumimos que nem todas as espécies de abelhas apresentam a mesma chance de visitar todas as plantas na área (como se todas as interações fossem aleatórias).

Figura 6.1 – Cálculo da probabilidade de interações segundo a quantidade de organismos coletados. Consideramos a probabilidade de interação esperada a quantidade de combinações entre indivíduos que são capazes de gerar o par observado em relação ao total de combinações que geram os pares observados (23). Como exemplo, utilizamos o agrupamento por gênero. Não consideramos no cálculo o total de combinações possíveis (45).

Realizamos o teste chi-quadrado ou exato de Fisher para verificar se as interações observadas se ajustam a distribuição esperada das interações. O teste exato de Fisher foi aplicado quando tivemos menos que cinco interações (interações registradas por grupo na amostra analisada) ou menos de 25 interações totais (interações registradas na amostra analisada, $n < 25$). Realizamos a comparação entre interações observadas e esperadas considerando os pares abelha-abelha em quatro escalas: 1) por amostra (mesmo dia e mesmo ponto), 2) por ponto (todas as amostras em cada ponto), 3) por paisagem (todas as amostras de todos os pontos em cada paisagem), e 4) todo o conjunto de dados (todas as amostras, em todos os pontos e paisagens). Os dados foram analisados par a par (considerando a identidade dos elementos interagindo) e a relação entre pares iguais (abelhas do mesmo grupo interagindo) e

pares diferentes (abelhas de grupos diferentes interagindo) (somando todas as interações entre pares iguais e pares diferentes, formando uma matriz 2×2) para cada uma dessas escalas.

Cada conjunto de pares abelha-abelha não inclui pares impossíveis porque observamos quantas vezes um mesmo par ocorreu através dos pontos amostrais, paisagens e no conjunto total de dados (Apêndice 13). Ou seja, não realizamos a projeção das redes bipartidas com os dados de cada escala (os pares de abelha-abelha sempre representam pares ocorrendo em um mesmo dia e local). Também aplicamos a correlação de Kendall para observar se as abelhas do mesmo grupo tendem a interagir mais (valores próximos a 1), sem considerar a influência da abundância.

Analizamos que fatores poderiam se relacionar a presença/ausência de relação significativa entre os dados observados e esperados de interações (Apêndice 14) através de modelos lineares generalizados (*General Linear Models* – GLM) com a distribuição Binomial (para respostas binárias). Utilizamos a função “glm” do R para o GLM e a função “ICtab” do pacote “bbmle” (BOLKER; TEAM, 2017) do R para a análise dos GLMs segundo o Critério de Informação de (*Akaike Information Criteria* – AIC). Testamos os fatores: métricas da estrutura do fragmento (ver seção 6.2.2), porcentagem de cobertura florestal na paisagem, número de grupos presentes (taxonômicos ou funcionais, dependendo qual estamos analisando), número de indivíduos coletados e número de interações. Foram selecionadas as métricas de estrutura do fragmento que não estavam correlacionadas (Apêndice 15). Todos os modelos que não apresentaram ajuste foram desconsiderados (ex. o algoritmo do GLM não convergiu).

6.3. Resultados

Dos 30 pontos amostrados, 28 apresentaram interação abelha-abelha. Os outros dois pontos apresentaram uma interação por coleta, com apenas uma coleta com seis interações, porém envolvendo apenas duas espécies de abelha interagindo cada uma com uma espécie de planta. Das 84 amostras desses 28 pontos, 74 apresentaram interações abelha-abelha. Foram coletadas 1693 abelhas de 196 morfotipos (53 espécies e 143 morfoespécies) e 360 plantas de 128 morfotipos (102 espécies e 26 morfoespécies). Consultamos 65 referências e três livros (MICHENER, 1974, 2007; NOGUEIRA-NETO, 1997) para preencher a tabela de características (Apêndice 6).

Os grupos funcionais não representam os mesmos grupos taxonômicos apesar da dominância de alguns grupos taxonômicos em alguns grupos funcionais. As três formas de gerar grupos funcionais resultaram em grupos com composições distintas (Apêndice 16). Porém, para os três tipos de agrupamento funcional os grupos funcionais mais abundantes foram dominados por Apidae e Megachilidae (Apêndice 16).

Para o conjunto de todos os pares abelha-abelha juntos (na escala mais ampla), a diferença entre o número de interações observadas e esperadas segundo a abundância foi significativa ($p < 0.05$) para todos os agrupamentos, com exceção do agrupamento por gênero (Tabela 6.2). Para os agrupamentos taxonômicos, o número de interações observadas entre abelhas do mesmo grupo foi menor que o esperado. Para os agrupamentos funcionais, o número de interações observadas entre abelhas do mesmo grupo foi maior que o esperado, com exceção do agrupamento por Kohonen (apresentou uma relação igual aos agrupamentos taxonômicos). A correlação de Kendall foi fraca (AKOGLU, 2018), com valores menores que 0,2, indicando que as abelhas do mesmo grupo não tendem a interagir mais, quando desconsideramos a abundância.

Tabela 6.2 – Valores de p de qui-quadrado para cada agrupamento considerando os pares do mesmo grupo e pares entre grupos diferentes totais. Os valores esperados e observados se referem a quantidade de interações entre pares iguais (duas abelhas do mesmo grupo) para os dados totais (sem separação por coleta, ponto ou paisagem). Valores em negrito são valores que divergem significativamente do que é esperado segundo a abundância ($p < 0.05$). O valor de correlação corresponde a correlação de Kendall.

Tipo do agrupamento	Agrupamento	Observado	Esperado	p	Correlação
Taxonômico	Família	697	743.755	0.013	0.141
	Subfamília	580	646.617	3.84E-04	0.112
	Gênero	193	219.850	0.049	0.073
Funcional	Hierárquico	116	71.602	7.26E-08	0.084
	Combinação	205	139.745	6.11E-09	0.081
	Kohonen	279	344.069	5.57E-05	0.100

Quando consideramos os pares abelha-abelha nas três escalas menos amplas, 1) por amostra, 2) por ponto, e 3) por paisagem, o número de pares com diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o número observado e o esperado de interações representam menos de 4% de todos os pares (Tabela 6.3). Esses pares com diferenças significativas entre observado-esperado ocorreram menos da metade das paisagens, menos de 20% dos pontos e menos de 10% das amostras (Apêndice 17). Uma amostra e seu respectivo ponto e paisagem apresentaram diferenças significativas entre observado-esperado para todos os tipos de agrupamento.

Tabela 6.3 - Número de pares de interação com frequências significativamente diferentes do esperado. Dentro das interações significativas, quantas foram entre pares iguais e destas com pares iguais ("N. int.

c/ dif. significativas”). Dentro das interações significativas com pares iguais, quais apresentaram o observado maior que esperado (valor fora do parênteses). Entre parênteses o total de pares de interação por paisagens, pontos e coletas para cada agrupamento. N. int. c/ dif. Significativas: Número de pares de interações com diferenças significativas (com o total de interações entre parênteses). N. Pares iguais: Número de pares interações envolvendo o mesmo tipo de organismo (pertencentes ao mesmo grupo taxonômico ou funcional). N. obs > esp: Número de vezes em que os pares com diferenças significativas apresentaram uma quantidade maior de interações observadas do que as esperadas.

		Família	Subfamília	Gênero	Combinação	Hierárquico	Kohonen
Paisagens	N. int. c/ dif. significativas	5 (113)	6 (186)	9 (689)	7 (659)	8 (887)	6 (514)
	N. pares iguais	3	4	3	2	2	3
	N. obs > esp	1	1	2	1	1	1
Pontos	N. int. c/ dif. significativas	4 (175)	5 (254)	5 (734)	3 (717)	5 (921)	5 (591)
	N. Pares iguais	3	4	2	1	2	1
	N. obs > esp	2	2	2	1	1	1
Coleta	N. int. c/ dif. significativas	6 (251)	8 (340)	8 (826)	7 (822)	7 (1010)	9 (707)
	N. Pares iguais	4	5	2	2	2	3
	N. obs > esp	3	2	2	1	1	2

Não houve relação entre qualquer um dos fatores testados e a presença ou ausência de diferenças significativas entre o número de pares observados e esperados de interações, segundo a análise de GLM. Mesmo quando os modelos apresentaram um AIC menor que o modelo nulo, o intercepto foi o fator que apresentou uma relação significativa com a variável resposta, indicando que nenhum dos fatores testados afetaram a variável resposta diretamente (Apêndice 14).

Para testar se o padrão observado para o conjunto com todos os pares abelha-abelha juntos (a escala mais ampla testada) não é resultante dos pares com diferenças significativas entre observado-esperado nas escalas mais restritas, removemos: 1) todas as amostras com diferenças significativas entre observado-esperado ou 2) as amostras que apresentaram diferenças significativas entre observado-esperado para todos os tipos de agrupamento. Porém ainda se observa a presença da diferença significativa entre as interações observadas e as esperadas ($p < 0,05$) para todos os agrupamentos. As relações entre os números de interações observadas e esperadas também foram mantidas. Embora, com essas remoções de amostras, o agrupamento por gênero também passou a apresentar uma diferença significativa entre observado-esperado, com menos interações observadas de abelhas dos mesmos grupos do que o esperado (mesma relação observada para os outros agrupamentos taxonômicos e para o agrupamento por Kohonen).

6.4. Discussão

Considerando os pares envolvendo abelhas do mesmo grupo *versus* abelhas de grupos diferentes, observamos que os grupos funcionais seguem a hipótese de que abelhas do mesmo grupo tendem a interagir mais (com exceção do agrupamento por Kohonen), quando consideramos os dados totais (sem separação por coleta, ponto ou paisagem). O oposto foi observado para os grupos segundo a taxonomia, porém essa tendência só foi observada em nossa escala mais ampla. Não observamos a presença de pares abelha-abelha que apresentassem uma constância de interações para nenhum dos agrupamentos e para nenhuma das escalas, como indicam os valores da correlação de Kendall inferiores a 0,2. Observamos a formação dos pares abelha-abelha geralmente seguem o esperado segundo a abundância, com algumas exceções, segundo os testes de aderência (chi-quadrado ou Fisher, ver seção 6.2.5 para detalhes).

Nenhum dos fatores testados (ambientais e número de grupos, indivíduos e interações) mostrou relação com os casos onde o número de interações observadas foi significativamente diferente do esperado segundo a abundância para as escalas por amostras, pontos e paisagem. Dessa forma, a ocorrência desses casos pode estar relacionada a fatores que já mostraram influência na estrutura das redes mas que não foram o foco do presente trabalho, como dados de fenologia (VÁZQUEZ; CHACOFF; CAGNOLO, 2009) ou fatores relacionados a algum nível de especialização no período específico da amostragem (PETANIDOU et al., 2008).

No entanto, quando consideramos todos os pares abelha-abelha de todos os dados coletados (todas as amostras, pontos e paisagens juntos), os grupos funcionais e taxonômicos de abelhas tiveram efeito nas interações, com o número de pares de interações observadas diferindo significativamente do esperado pela abundância. Adicionalmente, os grupos funcionais e taxonômicos apresentaram uma relação inversa entre os valores observados e esperados (com exceção do Kohonen que apresentou a mesma relação dos grupos taxonômicos).

Possivelmente, nas escalas locais e da paisagem, abelhas do mesmo grupo podem tender a visitar os mesmos recursos, mas essa tendência é evidente apenas quando consideramos todos os pares de abelhas em todos os dados coletados. Localmente, os nichos das abelhas podem se alterar em resposta a abundância das abelhas com nichos sobrepostos (FRÜND et al., 2013), com a competição alterando as espécies de plantas utilizadas como recurso floral para cada espécie de abelha. Dessa forma, a abundância geralmente é o fator significativamente relacionado aos pares abelha-abelha nessas escalas. Vimos o efeito oposto nos grupos

taxonômicos e por Kohonen, em que abelhas do mesmo grupo tendem a interagir menos do que o esperado.

Os grupos funcionais e taxonômicos apresentarem relações diferentes com as interações o que pode estar relacionado ao fato de que os dados filogenéticos têm uma relação fraca com a estrutura de redes de interação inseto-planta, com nicho taxonômico apresentando uma relação menor que o nicho funcional com a estrutura das interações (IBANEZ; ARÈNE; LAVERGNE, 2016). Nossos dados mostram uma relação diferente entre os grupos taxonômicos e os funcionais com relação às interações abelha-abelha e indicam efeitos opostos, podendo refletir uma pressão de seleção no sentido de grupos taxonômicos próximos divergirem no uso de recursos e grupos taxonômicos distantes convergirem (IBANEZ; ARÈNE; LAVERGNE, 2016).

Desse modo, a forma como os grupos funcionais podem ser construídos afeta os resultados e a interpretação desses resultados, com abelhas do mesmo grupo funcional interagindo mais umas com as outras, o que não ocorreu para os agrupamentos por Kohonen e taxonômicos. Entre os grupos funcionais testados, o grupo funcional por combinação tem interpretação direta dos perfis dos grupos e não depende do conjunto total de dados para a construção dos grupos, como o agrupamento hierárquico e por Kohonen, facilitando a construção de grupos funcionais. Porém o conhecimento de características relacionadas a espécie que permitem a construção desses grupos, como a respeito dos recursos coletados, destaca a importância da pesquisa básica na biologia das espécies e na história natural, pois encontramos falta de informação específica para algumas espécies, como Borges et al. (2020).

Com relação ao comportamento generalista das abelhas visitantes florais e as flores nos trópicos, observamos que existe um padrão na nossa escala mais ampla, o que pode indicar o papel dos grupos funcionais em determinar as interações, tanto para grupos com base na taxonomia quanto nas características. A abundância foi responsável por predizer os pares de interação abelha-abelha e, nas escalas mais locais, as interações abelhas do mesmo grupo versus abelhas de grupos diferentes, mostrando como a identidade dos elementos interagindo para esses níveis são menos importantes que a quantidade desses elementos para determinar as interações. Dessa forma, conservar a diversidade não seria suficiente para manter as interações, destacando a necessidade de manter a abundância dentro da diversidade de organismos.

Contribuição dos autores

BNR desenhou a metodologia, realizou as análises e escreveu. BNR, PAF e DB contribuíram com ideias, coleta de dados, discussões e revisão do texto. ICRS contribuiu na

etapa de levantamento de características das abelhas. FFO fez a identificação taxonômica da maioria das espécies de abelhas utilizadas. KBL organizou as plantas, confeccionou as exsicatas e contactou os responsáveis pela identificação das plantas. JT coletou os dados de estrutura dos pontos de coleta.

Agradecimentos

S. Mateus pelo auxílio com a morfotipagem das abelhas e com a identificação. Aos especialistas D. Monteiro, F. S. Meyer, G. M. Antar, G. P. Coelho, Milton Groppo Jr., R. Goldenberg, R. S. Rodrigues, R. Trevisan e Y. Barros pela identificação das exsicatas.

7. Capítulo 3

É possível identificar fatores da paisagem que afetam a ocorrência dos pares de interação abelha-flor? (*possíveis revistas para submissão: Landscape Ecology; Insect Conservation and Diversity; Acta Oecologica*)

Bárbara Nobrega Rodrigues¹, Isabela Cristhina Reis dos Santos¹, Favízia Freitas de Oliveira², Juliana Takata¹, Karoline Batista de Lima¹, Patrícia Alves Ferreira³, Danilo Boscolo¹

¹Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo

²Laboratório de Bionomia, Biogeografia e Sistemática de Insetos (BIOSIS), Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia

³Departamento de Ciências Ambientais – DCAm, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo

É possível identificar fatores da paisagem que afetam a ocorrência dos pares de interação abelha-flor?

Resumo

Introdução: Os pares de espécies são os componentes que estruturam as redes de interação. Para as interações entre flores e seus principais polinizadores, as abelhas, há uma correspondência de características dos organismos envolvidos. Essas características podem ser tratadas como características funcionais, por estarem relacionadas a funcionalidade do sistema.

Objetivos: Saber quais são as características da paisagem mais importantes na ocorrência dos pares de interação abelha-flor e qual a importância desses fatores para o entendimento dos detalhes sobre as redes e consequentemente para a manutenção do processo de polinização mediado por abelhas. Os fatores da paisagem que afetam a ocorrência ou não de um desses pares de interações possivelmente seriam os mesmos que afetam as redes abelha-flor.

Método: Avaliar quais características da paisagem (como cobertura de floresta e densidade de borda) e locais (como cobertura de dossel) afetam a ocorrência de uma interação entre um grupo funcional de abelhas e um grupo funcional de plantas, através de uma adaptação da análise utilizando *Hierarchical Modelling of Species Communities* (HMSC)

Resultados: As métricas de configuração e composição da paisagem apresentaram relação com a ocorrência de pares de interação. O conjunto das métricas de configuração geralmente teve uma importância maior, mas a cobertura de floresta se destacou quando as métricas foram consideradas em separado. Não houve um destaque entre os perfis dos organismos que indicasse uma resposta diferente entre organismos mais sensíveis ou mais generalistas, porém a quantidade de abelhas diferentes visitando uma mesma planta está significativamente relacionada a uma proporção maior que 50% das métricas da paisagem para a maioria dos agrupamentos funcionais.

Conclusão: A influência das variáveis da paisagem nos pares de interação entre grupos funcionais mostra que é possível apresentar uma abordagem que considere o papel das espécies para o sistema estudado. Trata-se de uma generalização (não depende da identidade da espécie) que permite a construção de redes em que as entidades interagindo apresentam uma resposta aos fatores de interesse, como as métricas da paisagem.

Palavras-chaves

Grupos funcionais; métricas da paisagem; interações; modelagem; paisagem

7.1. Introdução

A polinização é estudada relacionando as interações e as redes de interação com medidas do sucesso reprodutivo da planta, como depósito de pólen e produção de sementes (FRÜND et al., 2013; HOEHN et al., 2008), mas os estudos com visitação floral são comumente apresentados como uma aproximação (VÁZQUEZ; JORDANO, 2005). Embora um visitante floral possa não ser necessariamente um polinizador, as interações de visitação ajudam a entender a manutenção das populações de polinizadores e de plantas (FERREIRA et al., 2015; SOARES; FERREIRA; LOPES, 2017). Embora uma quantidade elevada de visitas em uma mesma planta possa reduzir seu sucesso reprodutivo por comprometer as estruturas de atração de visitantes e as estruturas reprodutivas (AIZEN et al., 2014), uma maior diversidade de visitantes está relacionada a uma maior produção de sementes (MARTINS et al., 2015).

As redes de polinização são influenciadas por uma série de fatores, podendo se estabelecer relações entre a estrutura das redes e a estrutura da vegetação local (MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015), estrutura da paisagem em escalas mais amplas (FERREIRA et al., 2015, 2020; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015), tempo de restauração (KAISER-BUNBURY et al., 2017), alterações climáticas, e presença de espécies exóticas (GIANNINI et al., 2015; SCHWEIGER et al., 2010). Esses fatores afetam a presença, comportamento e movimentação dos animais e a sincronia entre as fenologias para que ocorra a interação (SCHWEIGER et al., 2010), sendo que é possível prever a estrutura da rede com dados de abundância e fenologia dos organismos, mas a frequência dos pares de interação não (VÁZQUEZ; CHACOFF; CAGNOLO, 2009).

As redes são construídas por pares de interações e no caso da polinização, o estabelecimento desses pares é atribuído a uma correspondência entre características dos animais e das flores (VÁZQUEZ et al., 2009). Dos animais vinculados à polinização, as abelhas se destacam por apresentarem uma relação mais estreita com as plantas para a polinização. As abelhas são responsáveis pela polinização de 60-70% das plantas com flores do mundo, o que inclui aproximadamente 900 cultivares (BRAUMAN; DAILY, 2014). Para os ambientes tropicais, as interações de polinização são mais generalistas (SCHLEUNING et al., 2012), com uma forte presença das *Apis mellifera* e de interações que são registradas uma única vez (FERREIRA et al., 2015, 2020; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). Embora a estrutura geral da rede seja mantida ao longo do tempo (PETANIDOU et al. 2008), e ela seja robusta e resiliente a algumas alterações ambientais (KAISER-BUNBURY et al., 2017; REDHEAD et

al., 2018) a composição de espécies e os pares de interações não se mantêm constantes, sendo que menos de um quarto das interações mantidas no decorrer de mais de três anos (BARTOMEUS, 2013; PETANIDOU et al., 2008; VÁZQUEZ et al., 2009).

Aprofundar nos fatores que influenciam os pares de interação, que são os blocos necessários para a construção de uma rede, pode auxiliar a traçar uma relação entre os padrões já observados nas redes e maneiras de manter ou reestruturar as redes. Entendendo os fatores relacionados aos pares de interações, podemos entender onde residem as pequenas variações que levam ao desaparecimento de interações, para poder identificar abordagens para promover interações desejadas e mitigar as indesejadas. Possivelmente, os fatores que afetam as redes também afetam esses pares de interações. As redes de polinização são afetadas por fatores relacionados à composição e configuração da paisagem (FERREIRA et al., 2015, 2020; HAGEN et al., 2012; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). Reduções de habitat tendem a afetar espécies polinizadoras maiores e com maior mobilidade, enquanto que fragmentos menores (métricas de composição) e mais isolados (métricas de configuração) tendem a manter apenas espécies mais generalistas (HAGEN et al., 2012).

O objetivo do presente trabalho é identificar as variáveis da paisagem mais importantes para a ocorrência de um par de interações entre uma flor e uma abelha visitante floral. Como hipóteses temos que a estrutura da paisagem terá influência nas interações, com as métricas de composição da paisagem apresentando maior influência, como por exemplo, a cobertura de floresta, que apresenta influência nas redes de visitantes florais (FERREIRA et al., 2015; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). Interações envolvendo organismos mais generalistas seriam mais afetadas por variáveis da paisagem, por ocorrerem em diversos tipos de paisagem (HAGEN et al., 2012). Organismos com características mais restritivas tenderiam a ser mais afetados por variáveis locais, por apresentar uma maior sensibilidade à essas variáveis (FERREIRA et al., 2015; HAGEN et al., 2012).

7.2. Material e métodos

7.2.1. Área de estudo

Os dados utilizados neste capítulo foram os mesmos utilizados no capítulo 2. São dados de interação coletados na região de Mata Atlântica compreendida entre a Serra da Cantareira e Mantiqueira nos verões de 2015-2016 e 2016-2017. Para mais detalhes ver Capítulo 2, seção 6.2.1.

7.2.2. *Características da paisagem*

Os dados da paisagem foram calculados dentro de um raio de 1450 m em torno do ponto de coleta dos dados. O raio representa a média da distância típica de forrageio mais o desvio padrão das espécies de abelhas coletadas e utilizadas na presente análise (ver seção 8.2.4 para detalhes das abelhas analisadas). Os dados de distância típica de forrageio para cada espécie foram obtidos utilizando o pacote “pollimetry” do R, que utiliza a distância intertegular (Apêndice 9) e a família da abelha para o cálculo. Utilizamos a distância intertegular média para cada espécime, resultando em uma distância típica média de 0,4723 km com desvio padrão de 0,9764, com a soma resultando em 1,4487 km ($\approx$ 1,45 km ou 1450 m) (Figura 7.1). As paisagens de 1450 m de raio diferem das de 5 km, pois as de 5 km foram definidas para o delineamento experimental e as de 1450 m foram definidas com base na capacidade de movimentação das espécies coletadas. As paisagens de 1450 m também apresentam um gradiente de quantidade de floresta (Apêndice 18), não relacionado a esse contexto de 5 km (por exemplo, a paisagem de 1450 m com maior quantidade de floresta não está no contexto de maior quantidade de floresta). Utilizamos apenas as características da paisagem de 1450 m como fatores explicativos, sendo que as paisagens de 5 km foram consideradas como um fator explicativo (um fator único que representa o gradiente de floresta que as paisagens de 5 km representam).

Figura 7.1 – Contexto da paisagem de 5km e a paisagem de raio 1450 m entorno da área de coleta dos dados. Os pontos de coleta estão localizados no nordeste do estado de São Paulo, próximo a cidade de São Paulo, abrangendo os municípios de Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Franco da Rocha, Igaratá, Jarinu, Joanópolis, Mairiporã, Nazaré Paulista, Piracaia e Santa Isabel.

Para as classes de uso e ocupação do solo foram utilizados dados do Mapbiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019) para o estado de São Paulo nos anos de 2014 e 1985. Os dados do ano de 1985 referem-se ao primeiro ano que a base de dados do Mapbiomas disponibiliza e foram utilizados para avaliar a variação das métricas de cobertura e densidade de borda entre esse ano e o ano de 2014. Com essa variação, buscamos representar as características de intensa pressão agrícola e imobiliária que a região sofre (ZAU, 1998). O ano de 2014 foi selecionado por ser imediatamente anterior às duas coletas e as plantas coletadas

apresentam ciclos anuais e bianuais, portanto as características do uso da terra e na ocorrência das espécies de plantas é comum para os dois anos de coleta. Os dados de altitude foram obtidos com base em mapas fornecidos pela EMBRAPA (MIRANDA, 2005) e os dados de estrutura dos fragmentos foram coletados durante o período de coleta dos dados (detalhes na seção 6.2.1) e selecionados os que apresentaram correlação de Spearman (para dados que não apresentam distribuição normal) menor que 0,7 (Apêndice 15).

O recorte dos dados do Mapbiomas para as paisagens de 1450 m de raio e a obtenção dos dados de altitude foram realizados com o programa QGIS 2.18.27 (EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO QGIS, 2016) e o cálculo das métricas foi realizado no R, utilizando o pacote “landscapemetrics” (HESSELBARTH et al., 2019) com a função “calculate_lsm”. Para representar as paisagens de 1450 m, foram selecionadas as métricas de paisagem relacionadas a configuração e composição da paisagem, considerando medidas da paisagem e das classes presentes na paisagem. Foram selecionadas 5 medidas da paisagem (Tabela 7.1) que apresentaram correlação de Spearman inferior a 0,7 e que, segundo a PCA das métricas não-correlacionadas, não representavam a variação dos dados sobreposta à das outras variáveis (direção, ângulo e intensidade) (Apêndice 19) e que estavam entre as que chegaram a contribuir com 10% da proporção da variância para algum dos agrupamentos (Apêndice 20). Realizamos essa pré-seleção das métricas que apresentaram maior contribuição para a variância observada, passando das 16 métricas selecionadas pela correlação (10 de paisagem, altitude e 5 de estrutura) para 9 métricas (5 de paisagem, altitude e 3 de estrutura) (Apêndice 20). Não excluímos a medida de forma média da floresta para manter uma medida de floresta no conjunto das métricas de configuração, pois cobertura florestal é apontada como importante para as interações de polinização (FERREIRA et al., 2015; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015).

Tabela 7.1 – Métricas selecionadas para representar as paisagens de 1450 m. Foram calculadas para a paisagem e para as classes pasto e floresta as métricas de densidade de borda e índice de forma médio. Para a classe floresta foi calculado a porcentagem de floresta no ano de 2014 e a diferença da porcentagem de floresta entre os anos de 1985 e 2014. A métrica de índice de diversidade de Shannon foi calculada para a paisagem com todas as suas classes.

Tipo da métrica	Categoria	Métrica	Quantidade de medidas
Composição	Área	Porcentagem de floresta	1
	Diversidade	Índice de diversidade de Shannon	1
Configuração	Forma	Índice de forma médio (floresta)	1
	Borda	Densidade de borda (total e pasto)	2 ¹
Total			5

¹ Cálculo realizado para a paisagem (considerando todas as classes) e para a classe pasto.

7.2.3. *Características relacionadas à interação*

Selecionamos características das abelhas e das plantas que, segundo a literatura, são relacionadas a interação de visitação floral (CAMPBELL, 2009; HOEHN et al., 2008; NORDSTRÖM et al., 2017; NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010; VÁZQUEZ et al., 2009; VIZENTIN-BUGONI et al., 2018). São dados de trabalhos que tratam de grupos funcionais ou da biologia das espécies, abordando redes e o processo de polinização. Para a seleção das características dos animais, utilizamos a metodologia presente no Capítulo 2, seção 6.2.3 (Apêndices 6 a 8). Para as plantas a metodologia foi a mesma dos animais, mas aplicadas as características das plantas. As características das plantas foram as relacionadas aos recursos oferecidos, aparência e acesso aos recursos (Tabela 7.2). Testamos sete características, separadas de forma que a informação pudesse ser processada pelo computador, separando em variáveis binárias, ordinais e nominais. A seleção das características foi com base na correlação das características (binárias com Kendall e ordinais com Spearman) e teste qui-quadrado para avaliar na relação da característica nominal de tipo floral e as características de tamanho da flor (diâmetro e profundidade). A característica com menor correlação com as demais foi selecionada, nos casos em que duas características apresentarem correlação maior que 0,70 (Apêndice 21). Na seleção utilizando qui-quadrado, a característica de tipo floral apresentou uma relação significativa com as de tamanho da flor, portanto, selecionamos as de tamanho da flor por apresentarem a informação de maneira ordinal em invés de categórica, portanto, desconsideramos a característica de tipo floral (Apêndice 21). Calculamos o PCoA para o conjunto de características das plantas e das abelhas e utilizamos os sete primeiros componentes para o cálculo da distância funcional Euclidiana, pois esta foi a quantidade de eixos que melhor representou os dados para o cálculo do índice de diversidade funcional (VILLÉGER et al., 2008).

Tabela 7.2 - Características das plantas selecionadas. Características que traduzem a interação flor-polinizador, relacionadas aos recursos oferecidos, acesso a esses recursos e visualização (CAMPBEL, 2009; HOEHN et al., 2008; NORDSTRÖM et al., 2017; NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010; VÁZQUEZ et al., 2009; VIZENTIN-BUGONI et al., 2018). Os valores foram representados de uma forma que o computador fosse capaz de lidar com os valores sem eles serem considerados como nominais.

Tipo	Característica	Colunas da tabela	Fonte
Binário	Hábito ¹	Herbáceo	Hoehn et al. 2008
		Subarbusto	
		Arbusto	
		Volúvel	
		Árvore	
Binário	Tipo de antera	Deposição ativa	Campbel 2009; Nunes-Silva et al. 2010
		Exposta	
		Acesso restrito	
		Pólen disponível	
	Recurso	Pólen	Campbel 2009; Vizentin-Bugoni et al. 2018
Binário	Posição da flor ¹	Néctar	
		Óleo	
		Axilar	
		Terminal	
		Folha oposta	Hoehn et al. 2008
Ordinal	Cor	Ciano	Nordström et al. 2017; Campbel 2009
		Magenta	
		Amarelo	
Ordinal	Tamanho	Diâmetro	Vázquez et al. 2009; Hoehn et al. 2008
		Profundidade	

¹ Forma de representar a informação de altura da flor.

Consideramos para a presente análise apenas as plantas que apresentaram resolução taxonômica de espécie, pois há muita variação dentro de gênero para as características selecionadas, como por exemplo, coloração, recurso e hábito. Das 1693 interações registradas entre abelhas e flores, 1252 interações envolveram plantas identificadas até espécie e desconsideramos dois pontos de coleta, por não apresentarem plantas com identificação até espécie. Todas as abelhas foram identificadas até espécie e morfotipo, porém foram removidas as abelhas que interagiram apenas com plantas removidas. A lista com todas as características buscadas para as plantas e as respectivas referências se encontra no Apêndice 22 e 23.

7.2.4. Agrupamento

Considerando que os gêneros podem representar um nível de detalhe suficiente para preservar a estrutura da rede (Capítulo 1) e considerando os grupos funcionais construídos com características relacionadas à interação abelha-flor (Capítulo 2), agrupamos as abelhas e as plantas por gênero e por cada uma das três formas de agrupar presentes no capítulo 2 por

combinação, agrupamento hierárquico e Kohonen. Os grupos foram construídos com base na matriz de distâncias das características selecionadas, adaptada da metodologia de Maire et al. (2019) para gerar grupos. Ver Capítulo 2, seção 6.2.4 para detalhes sobre as formas de agrupamento e os dados dos agrupamentos para as abelhas. Para as plantas, o agrupamento por combinação resultou em 68 grupos, o hierárquico em 63 grupos e o Kohonen em 16 grupos. Para o agrupamento utilizando Kohonen, como o número de espécies de plantas foi de 112, as malhas de saída testadas foram malhas quadradas de lado 2 a até 11, sendo que a malha de saída de 9×9 também foi a que apresentou menor energia (ver Capítulo 2, seção 6.2.4).

7.2.5. Aplicação do modelo

Aplicamos o *framework Hierarchical Modelling of Species Communities* (HMSC) (OVASKAINEN et al., 2017) à ocorrência de interações em invés de ocorrência de espécies, relacionando a ocorrência de interação com variáveis da paisagem, características da interação e desenho amostral (Figura 7.2). O *framework* HMSC (OVASKAINEN et al., 2017) é uma abordagem hierárquica Bayesiana para modelagem de distribuição de espécies. O *framework* considera como possíveis variáveis explicativas para a ocorrência das espécies as características ambientais, filogenia, desenho amostral (amostras aninhadas), interação e características entre organismos coocorrendo. Cada entrada corresponde a uma matriz com os valores relacionados, sendo obrigatória apenas a matriz de dados ambientais.

Como resultado ele retorna a influência de cada fator em determinar a ocorrência da espécie. Ele utiliza algoritmos de Monte Carlo acoplados a cadeias de Markov (*Markov chain Monte Carlo* – MCMC), que através de várias interações para gerar as probabilidades que se aproximam da distribuição de interesse, resultam em um modelo para representar os dados observados e que é capaz de gerar previsões. O *framework* apresenta alguns pontos de debate relacionados ao desempenho com dados de coocorrência, por não considerar as relações circulares (coocorrência determinando a interação e vice-versa) (THURMAN et al., 2019), tabelas de interação, e por não permitir incluir a incerteza a respeito da sensibilidade dos táxons a fatores ambientais relacionados à coocorrência (VERMEIREN; REICHERT; SCHUWIRTH, 2020).

Por tratarmos diretamente das interações não necessitamos tratar as relações recursivas de ocorrência e interação. Com relação a sensibilidade aos fatores ambientais, utilizamos

métricas da paisagem que tem influência nas redes planta-visitante floral (ver seção 7.2.2). Utilizamos a representação quantitativa (distribuição “Poisson”) para construir os modelos, permitindo manter a informação da quantidade de interações. Realizamos uma adaptação dos dados de entrada do *framework* implementado em R, versão 3.0-6 (TIKHONOV et al., 2019). No lugar das características das espécies que estariam relacionadas às variáveis ambientais, selecionamos características relacionadas às interações e que estariam relacionadas às métricas da paisagem, como a quantidade de interações totais e a quantidade de interações diferentes (FERREIRA et al., 2015; KAISER-BUNBURY; MEMMOTT; MÜLLER, 2009).

Fatores relacionados à ocorrência de espécies:

- Características ambientais
- Características dos organismos envolvidos
- Desenho amostral

HMSC (Ovaskainen et al. 2017)

Fatores relacionados à ocorrência da interação:

- Características da paisagem
- Características da interação
- Desenho amostral

Adaptação do HMSC

Figura 7.2 – Adaptação do *framework* HMSC para dados de ocorrência de interação. Para ambas as aplicações Y é a matriz resposta e as demais são as explicativas. Em nossa adaptação as colunas de X são métricas da paisagem e métricas locais (altitude e estrutura do fragmento). A matriz pi se mantém representando a estrutura das unidades amostrais, com a primeira coluna apresentando cada unidade amostral (paisagens de 1450 m) e a segunda coluna como essas unidades estão organizadas (paisagens de 5 km). A matriz T apresenta os dados de características das interações, que são a quantidade de interações que cada entidade do par de interação realizou (quantas interações uma abelha ou planta realizou no total) e com quantas entidades diferentes interagiram com cada entidade (quantas abelhas diferentes interagiram com uma planta ou quantas plantas diferentes uma abelha visitou).

7.3. Resultados

7.3.1. Agrupamento

As interações envolveram 176 espécies/morfotipos de abelhas (59 gêneros) e 114 espécies de plantas (80 gêneros). Os dados apresentaram uma diversidade de abelhas solitárias de 54,4% do total de espécies coletadas, seguida pelas parassociais (23%), sociais (7,7%) e eussociais (14,8%), sendo que as eussociais foram as mais abundantes. As plantas apresentaram uma dominância das que ofertavam pólen (85,09%), néctar (67,54%), com anteras expostas (75,44%), sem óleo (99,12%) e aproximadamente um quarto das plantas (25,44%) pertenciam à família Asteraceae.

Dessas espécies/morfotipos de abelhas, 41,48% realizou uma única interação e 20,45% realizou duas interações e das espécies de plantas 28,95% realizou uma interação e 17,54% realizou duas interações. Ou seja, por volta da metade das entidades interagindo realizou duas ou menos interações, o que é esperado em ambientes de alta diversidade e endemismos como a Mata Atlântica, seguindo o que é observado para outros trabalhos na área (FERREIRA et al., 2015, 2020; HIPÓLITO; BOSCOLO; VIANA, 2018; MOREIRA et al., 2017). A maioria dos agrupamentos ainda manteve uma quantidade alta de grupos com poucas interações, com mais de 40% dos grupos por gênero, combinação e hierárquico apresentando até quatro interações (Apêndice 24). Mesmo apresentando essa característica comum, cada tipo de agrupamento formou os grupos de espécies de maneira diferente entre si (Apêndice 25 e 26).

Cada agrupamento teve um perfil de frequências dos pares de interações, seguindo a tendência de existirem mais pares menos frequentes (Tabela 7.3). No entanto, independente da forma de se realizar os agrupamentos, não houve um único par de interação que ocorreu nos 28 pontos. O agrupamento por Kohonen foi o que gerou menos grupos de animais e plantas (24 e 16, respectivamente) e, portanto, menos tipos de interações (109 contra mais de 300 para os outros tipos de agrupamento), apresentando interações mais distribuídas através dos pontos. Para o agrupamento por Kohonen, 62% das interações ocorreram em até dois pontos, enquanto que para os demais agrupamentos mais de 80% das interações ocorreram em até dois pontos (Apêndice 27). O agrupamento por Kohonen foi o que apresentou uma interação em 20 pontos, que foi a maior quantidade de pontos que um par de interação ocorreu entre os diferentes agrupamentos.

Tabela 7.3 – Total e porcentagem de pares de interações que ocorreram de 1 a 4 vezes. Pares de interações entre grupos de abelhas e plantas com frequências de 1 a 4. Os valores entre parênteses indicam a quantidade total de pares formada entre abelhas e animais segundo cada tipo de agrupamento.

Ocorrência	Gênero (367 pares)	Combinação (323 pares)	Hierárquico (320 pares)	Kohonen (109 pares)
1	182	150	146	28
2	73	59	59	11
3	30	29	30	11
4	20	22	22	3
Total (1-4)	305	260	257	53
% (1-4)	83,11%	80,50%	80,31%	48,62%

7.3.2. Contribuição das variáveis na ocorrência de interação

Os modelos construídos para cada tipo de agrupamento representam os dados observados, segundo os parâmetros de ajuste do modelo comparados com a validação cruzada (Apêndice 28). Alguns valores de ajuste do modelo considerando a capacidade do modelo em prever casos onde há ou não há interação foram baixos, porém o tamanho teórico da amostra de MCMC e a consistências das cadeias tenderam a indicar que as amostras de MCMC foram suficientes e que as cadeias foram consistentes na construção do modelo. De forma geral, mesmo na avaliação preliminar para a seleção das variáveis (Apêndice 20) foi possível observar quais métricas da paisagem apresentariam maior influência nas interações.

A contribuição das variáveis para a variância na ocorrência da interação foi diferente dependendo da forma como as abelhas e plantas foram agrupadas. Para todas as formas de agrupar, a porcentagem de cobertura de floresta representa a maior proporção da variância na ocorrência das interações analisadas, apenas para o agrupamento hierárquico essa métrica não diferiu significativamente ($p > 0,05$) da métrica de densidade de borda da paisagem (Figura 7.3), segundo a análise de Kruskal-Wallis com o teste pareado de Wilcoxon. Dentre as métricas de estrutura, a que se destaca é a cobertura do dossel (Figura 7.3). Porém, quando consideramos as métricas em conjuntos de configuração (densidade de borda da paisagem, densidade de bordas de pasto na paisagem e forma média da floresta), composição (índice de diversidade de Shannon e porcentagem de cobertura de floresta da paisagem) e métricas de estrutura do fragmento (altura do dossel, número de troncos caídos e cobertura do dossel), as métricas de configuração representam a maior parte da variância das interações, junto a composição para o agrupamento por combinação ou a estrutura para o agrupamento por gênero (Figura 7.3).

Figura 7.3 - Porcentagem média da variância de cada uma das variáveis métricas da paisagem incluídas. Agrupamentos por gênero, combinação, hierárquico e Kohonen. Letras (de “a” até “h”) iguais indicam que não há diferenças significativas entre as métricas ($p > 0,05$). Cobertura de floresta se destaca entre as métricas da paisagem, junto com a densidade de borda, porém quando consideramos o conjunto de métricas de composição e as de configuração, as métricas de configuração se destacam (para o agrupamento por combinação ela não difere significativamente da composição e para o agrupamento por gênero ela não difere significativamente da estrutura).

Considerando o quanto todas as métricas de paisagem unidas para formar um fator fixo único de influência na variância das interações, as interações que apresentaram ao menos 50% da sua variância atribuída a paisagem somam mais de 50% de todas as interações para todos os

tipos de agrupamento, chegando a ser mais de 70% das interações para os agrupamentos por combinação e hierárquico. Para esses dois agrupamentos a variação dos fatores ambientais atribuída às características da interação foram as maiores, mas não passam de 60% (Tabela 7.4).

Tabela 7.4 – Número de interações em que a paisagem influencia em mais de 50% da variância e a proporção da variação atribuída às características da interação para cada tipo de agrupamento.

	Gênero	Combinação	Hierárquico	Kohonen
N. de interações em que a paisagem influencia em 50% da variância	206 (56%)	238 (73%)	242 (75%)	73 (67%)
Variação atribuída às características	0,46	0,49	0,53	0,34

Não houve correlação entre os valores contínuos da proporção da variância relacionada à paisagem em relação às características das interações (Apêndice 29). Porém se considerarmos de maneira binária se a paisagem representa ou não mais de 50% da variância da interação está significativamente ($p < 0,05$) relacionado ao número de abelhas visitando uma flor, com exceção do agrupamento por Kohonen, em que o número de interações foi o fator que melhor representou (Apêndice 30). Em todos os casos, os fatores apresentam uma relação negativa, ou seja, quanto maior o número de abelhas visitando um recurso (ou quanto maior o número de interações, no caso do agrupamento por Kohonen) menor a probabilidade de a paisagem influenciar em mais de 50% da variância da interação, sendo possível observar que menores quantidades de abelhas diferentes visitando uma planta estão geralmente associadas com plantas que apresentam uma influência de mais de 50% da paisagem na variância de suas interações (Apêndice 31).

7.4. Discussão

As diferentes formas de agrupar responderam de forma consistente às métricas da paisagem, de maneira negativa, com destaque para as métricas de cobertura de floresta, densidade de borda da paisagem e de pasto e o conjunto das métricas de configuração. Para as redes formadas entre plantas e abelha visitantes, a cobertura de floresta também se destacou como influenciando as métricas das redes (FERREIRA et al., 2020; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015), assim como outras métricas, variáveis locais e de estrutura. Porém, para as redes, dados de abundância e fenologia permitem prever várias propriedades da rede

(VÁZQUEZ; CHACOFF; CAGNOLO, 2009). Observamos que a resposta das interações à paisagem não está relacionada aos dados de abundância dos organismos envolvidos na interação, mas para a interação apresentar uma relação com a paisagem maior que 50% houve relação significativa da quantidade de abelhas que visita a planta envolvida na interação. As espécies de plantas geralmente são os organismos que mais concentram interações em redes de interação, funcionando como conectores nas redes (HACKETT et al., 2019).

Considerando que as plantas que interagem com mais abelhas são mais generalistas, ao menos dentro da rede, na presente análise quanto mais generalista a planta foi, menor foi a influência da paisagem na ocorrência das interações dela. Porém para as abelhas essa relação não foi observada e a quantidade de vezes que uma interação ocorreu não estava relacionada ao quanto a paisagem influenciou a interação. Dessa forma, espécies especialistas de plantas e abelhas e as abelhas generalistas não apresentaram uma relação com o quanto a paisagem afeta essas interações. Apenas as plantas generalistas apresentaram uma relação negativa com a influência da paisagem nas suas interações.

Interações envolvendo plantas visitadas por uma variedade menor de abelhas foram mais afetadas pela paisagem, independentemente dessas espécies serem abundantes ou de grupos considerados generalistas por aspectos da biologia do grupo, como o gênero *Ipomoea* (Apêndice 31). A ocorrência de plantas com menor quantidade de grupos de abelhas diferentes visitando é um fator a ser favorecido, pois plantas com sobrevisitação apresentam uma redução da capacidade reprodutiva (AIZEN et al., 2014), que em termos agrícolas, pode representar perda na produção de frutos e grãos. Alguns estudos apontam que paisagens heterogêneas são benéficas para as redes polinização, acompanhado de um aumento na cobertura de floresta (FERREIRA et al., 2020; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). Com os dados observados no presente trabalho, a heterogeneidade não foi um dos fatores principais para as interações abelha-flor, com as métricas de cobertura de floresta e as de densidade de borda da paisagem e de pasto como as principais, possivelmente porque afetam o microclima da região levando a um aumento da diversidade de ambientes (BERNASCHINI; VALLADARES; SALVO, 2020).

Dessa forma, ao promovemos um aumento da cobertura de floresta e ao mesmo tempo da densidade de bordas, poderemos favorecer a reprodução das espécies de plantas nativas e melhorar a produtividade agrícola, sendo que o aumento da borda de pastos pode ser promovido deixando os pastos menos contínuos (por exemplo, com a implantação de corredores ecológicos), o que pode contribuir também para o aumento da densidade de borda da paisagem. Possivelmente o efeito da heterogeneidade nas redes pode estar vinculado a densidade de borda, seja da paisagem ou de outro uso da terra que seja tão dominante quanto os pastos para a região

estudada no presente trabalho, pois o aumento da heterogeneidade acompanha um aumento da densidade de borda, como observado por Fahrig et al. (2015) e a relação de moderada correlação que observamos para os nossos dados (correlação de 53% - Apêndice 19).

Com relação às interações, mais de 80% delas ocorreram em menos de três pontos de coleta e mais de um quarto das interações ocorreram apenas uma vez, mantendo o padrão das interações únicas serem mais frequentes nas redes, mesmo que tenhamos realizado o agrupamento. Possivelmente isto está relacionado a alta diversidade de ambientes tropicais e as interações serem espacialmente e temporalmente particionadas (PETANIDOU et al., 2008; RABELING et al., 2019), aumentando a quantidade de interações únicas que não se repetem, mesmo que interações especialistas sejam raras (ARMBRUSTER, 2014) e o ambiente tropical seja caracterizado por interações generalistas (SCHLEUNING et al., 2012).

Com o presente trabalho foi possível destacar quais métricas da paisagem mais influenciaram a ocorrência das interações (Figura 7.4). Para trabalhos futuros, pode-se buscar o entendimento de como cada variável da paisagem afeta os grupos e as interações através de outros métodos de aprendizado de máquina, ou mesmo pela aplicação desse framework para os dados de ocorrência das espécies considerando os dados da paisagem em conjunto com os dados ambientais ou a ocorrência de grupos funcionais em vez de ocorrência das espécies, auxiliando no entendimento das características relacionadas ao estabelecimento das interações e na manutenção da diversidade de abelhas e plantas.

Figura 7.4 - Principais métricas da paisagem que tem influência nas interações abelha-flor. Quando se considera as métricas de configuração em conjunto, elas apresentaram um efeito significativamente maior nas interações para três das quatro formas de agrupar os organismos (Figura 7.3). Considerando as métricas em separado, a métrica de porcentagem de floresta (uma métrica de composição) apresenta uma influência maior na variância das interações (Figura 7.3).

Contribuição dos autores

BNR desenhou a metodologia, realizou as análises e escreveu o artigo. BNR, PAF e DB contribuíram com ideias, discussões e revisão do texto. ICRS contribuiu na etapa de levantamento de características das abelhas. FFO fez a identificação taxonômica da maioria das espécies de abelhas utilizadas. KBL organizou as plantas, confeccionou as exsiccatas, contactou os responsáveis pela identificação das plantas e contribuiu na etapa de levantamento de características das plantas. JT coletou os dados de estrutura dos pontos de coleta.

8. Considerações finais

A presente tese surge em um contexto de demandas urgentes, por abordagens que possibilitem entender e manter processos ecossistêmicos tão importantes para a espécie humana, mas ameaçadas por atividades desta mesma espécie e pelo consequente cenário de mudanças climáticas. Então, estratégias que nos permitam realizar generalizações para obter respostas rápidas e eficazes são ferramentas poderosas para planejamento e manejo. Porém, quando se trata de ambientes tropicais, as abordagens já empregadas não refletem um sistema com tantos endemismos e variações no uso e ocupação do solo. Na tentativa de identificar padrões para realizar as generalizações esbarramos primeiramente no impedimento taxonômico, que limita a identificação de todas as espécies. Conseguimos identificar que o nível de gênero na identificação dos organismos interagindo é adequado para a análise de redes bipartidas mutualísticas. Ainda assim, continua sendo necessário avaliar como os táxons ou grupos funcionais mais abundantes afetam a estrutura das redes, verificando se apenas esses conjuntos de organismos já determinariam a estrutura geral da rede.

Para generalizações uma abordagem mais funcional pode trazer a responsividade desejada com uma abordagem mais abrangente. Como alternativa, às unidades interativas das redes seriam grupos funcionais. Esbarramos em um segundo ponto, que não há um consenso sobre quais as características refletem melhor a interação abelha-flor e que permitiriam prever como se dá essa relação. Adotamos duas abordagens que nos ajudaram a verificar que conjuntos funcionais representam a interação com a flor, 1) considerando que a correspondência de características levariam organismos dos mesmos grupos funcionais a visitarem um mesmo recurso e 2) considerando como as interações entre esses grupos funcionais são afetadas por variações nas métricas da paisagem. Mas independente da abordagem e do foco do estudo, esbarramos na questão das espécies. Dependemos da identidade da espécie para a construção dos grupos funcionais, pois as características utilizadas dependem do conhecimento da ecologia e história natural de cada espécie envolvida na interação.

A revisão da literatura realizada para buscar as características de cada uma das espécies coletadas demandou acesso a muitas fontes de informação para seu preenchimento, mas muitas espécies carecem de dados específicos da biologia básica, isso quando é possível identificar as espécies presentes (OLIVEIRA et al., 2012). Apesar de ser uma tendência o uso de grupos funcionais devido a sua representação do sistema (MORETTI et al., 2017; WEISS; RAY, 2019), são necessários esforços para caracterizar as espécies, especialmente em sistemas tropicais, como a Mata Atlântica, que abriga muitas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (RIBEIRO et al., 2009). Além disso, destacamos a urgência por mais estudos em taxonomia de insetos e plantas.

As espécies são entidades dinâmicas, que podem atuar de diferentes maneiras dependendo do contexto, com seus papéis e funções variando em função do tempo, espaço e características do ambiente. Iniciativas relacionadas a ontologia e características dos organismos estão surgindo (MORETTI et al., 2017; WEISS; RAY, 2019), buscando representar dados relacionados à função deles no ecossistema. Essas iniciativas, ainda que se apresentem como uma tabela pré-estruturada e nos moldes de bancos de dados relacionais (GALLAGHER et al., 2020; HE GROUP (UNIVERSITY OF MICHIGAN), 2019; KATTGE et al., 2011; SCHNEIDER et al., 2019), restritas a consulta e depósito de informações, com poucas conexões entre bases de dados, no futuro podem levar a estudos mais funcionais, mais profundos e mais abrangentes.

Além de definir grupos funcionais, é necessário explorar como eles estruturam as redes abelha-flor, se existem grupos funcionais mais sensíveis a alterações no ambiente, e se as interações esperadas e as observadas diferem. Os próximos desafios são tentar entender quais grupos de abelhas são mais afetados por alterações na paisagem e possibilitar uma forma mais eficiente de compartilhar e condensar as informações sobre os polinizadores (e sobre espécies de modo geral). Como desdobramentos dessa tese, podemos buscar gerar modelos com perfis funcionais que respondam às variáveis específicas da paisagem e gerar modelos capazes de conduzir a predições aplicáveis a região da Mata Atlântica.

Observação

Todos os scripts utilizados para os cálculos presentes nessa tese serão disponibilizados em <https://github.com/bnrodrigues/>, na medida em que os artigos relacionados aos capítulos forem sendo publicados.

Referências

- ABARCA-ARENAS, Luis G.; ULANOWICZ, Robert E. The effects of taxonomic aggregation on network analysis. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 149, n. 3, p. 285–296, 2002. DOI: 10.1016/S0304-3800(01)00474-4.
- AIZEN, Marcelo A.; MORALES, Carolina L.; VÁZQUEZ, Diego P.; GARIBALDI, Lucas Alejandro; SÁEZ, Agustín; HARDER, Lawrence D. When mutualism goes bad: Density-dependent impacts of introduced bees on plant reproduction. **New Phytologist**, [S. l.], v. 204, n. 2, p. 322–328, 2014. DOI: 10.1111/nph.12924.
- AKOGLU, Haldun. User's guide to correlation coefficients. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 91–93, 2018. DOI: 10.1016/j.tjem.2018.08.001.
- AMAYA-MÁRQUEZ, Marisol. Floral constancy in bees: A revision of theories and a comparison with other pollinators. **Revista Colombiana de Entomología**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 206–216, 2009.
- ANDRESEN, Ellen; ARROYO-RODRÍGUEZ, Víctor; ESCOBAR, Federico. Tropical Biodiversity: The Importance of Biotic Interactions for Its Origin, Maintenance, Function, and Conservation. *In: Ecological Networks in the Tropics*. [s.l: s.n.]. p. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-319-68228-0.
- ARMBRUSTER, W. Scott. Floral specialization and angiosperm diversity: Phenotypic divergence, fitness trade-offs and realized pollination accuracy. **AoB PLANTS**, [S. l.], v. 6, p. 1–24, 2014. DOI: 10.1093/aobpla/plu003.
- ATRAN, Scott. Origin of the Species and Genus Concepts : An Anthropological Perspective. **Journal of the History of Biology**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 195–279, 1987.
- BALLANTYNE, Gavin; BALDOCK, Katherine C. R.; RENDELL, Luke; WILLMER, P. G. Pollinator importance networks illustrate the crucial value of bees in a highly speciose plant community. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1–13, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-08798-x. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-08798-x>.
- BALLANTYNE, Gavin; BALDOCK, Katherine C. R.; WILLMER, P. G. Constructing more informative plant-pollinator networks: visitation and pollen deposition networks in a heathland plant community. **Proceedings of the Royal Society B**, [S. l.], v. 282, n. 20151130, 2015. DOI: 10.1098/rspb.2015.1130.
- BARABÁSI, Albert-László. Introduction. *In: Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. p. 20–49. Disponível em: <http://networksciencebook.com/chapter/1>.
- BARABÁSI, Albert-László. **Network Science**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. Disponível em: <http://networksciencebook.com/>.
- BARTOMEUS, Ignasi. Understanding Linkage Rules in Plant-Pollinator Networks by Using Hierarchical Models That Incorporate Pollinator Detectability and Plant Traits. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 8, n. 7, p. e69200, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0069200. Disponível em: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0069200>.
- BASCOMPTE, Jordi; JORDANO, Pedro; OLESEN, Jens M. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance. **Science**, [S. l.], v. 1, n. April, p. 3–5, 2006.
- BAWA, K. S. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [S. l.], v. 21, p. 399–422, 1990. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2097031>.
- BERGAMINI, Leonardo Lima; LEWINSOHN, Thomas Michael; JORGE, Leonardo Ré; ALMEIDA-NETO, Mário. Manifold influences of phylogenetic structure on a plant–herbivore network. **Oikos**, [S. l.], v. 126, n. 5, p. 703–712, 2016. DOI: 10.1111/oik.02629.
- BERNASCHINI, María Laura; VALLADARES, Graciela; SALVO, Adriana. Edge effects on insect–plant food webs: assessing the influence of geographical orientation and microclimatic conditions. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 4, p. 806–820, 2020. DOI: 10.1111/een.12854. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/een.12854>.
- BLÜTHGEN, Nico; FRÜND, Jochen; VÁZQUEZ, Diego P.; MENZEL, Florian; V, P. What do interaction

network metrics tell us about specialization and biological traits? **Ecology**, [S. l.], v. 89, n. 12, p. 3387–3399, 2008. DOI: 10.1890/07-2121.1.

BOLKER, Ben; TEAM, R. Development Core. **bbmle: Tools for General Maximum Likelihood Estimation**, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=bbmle>.

BORGES, Rafael Cabral; PADOVANI, Kleber; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia; GIANNINI, Tereza Cristina. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. **Scientific Data**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1–9, 2020. DOI: 10.1038/s41597-020-0461-3. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41597-020-0461-3>.

BRAUMAN, K. A.; DAILY, G. C. Ecosystem Services. In: **Earth Systems and Environmental Sciences**. [s.l.] : Elsevier Inc., 2014. p. 1–7. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09453-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09453-7>.

BURKLE, Laura A.; MARTIN, John C.; KNIGHT, Tiffany M. Plant-Pollinator Interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function. **Science**, [S. l.], v. 339, p. 1611–1615, 2013. DOI: 10.1126/science.1232728.

CAMPBELL, Diane R. Using phenotypic manipulations to study multivariate selection of floral trait associations. **Annals of Botany**, [S. l.], v. 103, n. 9, p. 1557–1566, 2009. DOI: 10.1093/aob/mcp032.

CARIVEAU, Daniel P.; NAYAK, Geetha K.; BARTOMEUS, Ignasi; ZIENTEK, Joseph; ASCHER, John S.; GIBBS, Jason; WINFREE, Rachael. The allometry of bee proboscis length and its uses in ecology. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 1–13, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0151482.

CARVALHO, D. M.; PRESLEY, S. J.; SANTOS, G. M. M. Niche overlap and network specialization of flower-visiting bees in an agricultural system. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 43, n. 6, p. 489–499, 2014. DOI: 10.1007/s13744-014-0239-4.

CHAGNON, Pierre Luc. Characterizing topology of ecological networks along gradients: The limits of metrics' standardization. **Ecological Complexity**, [S. l.], v. 22, p. 36–39, 2015. DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.01.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2015.01.004>.

CHAMBERLAIN, S.; SZOCS, E.; BOETTIGER, C.; RAM, K.; BARTOMEUS, I.; BAUMGARTNER, John; FOSTER, Zachary; O'DONNELL, James; OKSANEN, Jari. **taxize: Taxonomic information from around the web. R package version 0.9.0**, 2017. Disponível em: <https://github.com/ropensci/taxize>.

CHON, Tae-soo. Ecological Informatics Self-Organizing Maps applied to ecological sciences. **Ecological Informatics**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 50–61, 2011. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2010.11.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.11.002>.

CORCKET, E.; GIFFARD, B.; SFORZA, R. F. H. Food Webs and Multiple Biotic Interactions in Plant–Herbivore Models. In: SAUVION, Nicolas; THIÉRY, Denis; CALATAYUD, Paul-André (org.). **Insect-Plant Interactions in a Crop Protection Perspective**. 81. ed. [s.l.] : Elsevier Ltd, 2016. p. 111–137. DOI: doi.org/10.1016/bs.abr.2016.10.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/advances-in-botanical-research/vol/81/suppl/C>.

CORSO, Gilberto; TORRES CRUZ, Claudia Patricia; PINTO, Míriam Plaza; DE ALMEIDA, Adriana Monteiro; LEWINSOHN, Thomas Michael. Binary versus weighted interaction networks. **Ecological Complexity**, [S. l.], v. 23, p. 68–72, 2015. DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.04.003.

COUTINHO, Jeferson Gabriel da Encarnação; GARIBALDI, Lucas Alejandro; VIANA, Blandina Felipe. The influence of local and landscape scale on single response traits in bees: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 256, n. December 2017, p. 61–73, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2017.12.025. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880917305613>.

CSARDI, Gabor; NEPUSZ, Tamas. The igraph software package for complex network research. **InterJournal**, [S. l.], v. Complex Sy, p. 1695, 2006. Disponível em: <http://igraph.org>.

DASHIELL, Citra D.; LEBEL, Shannon; GREEN, Peter T.; VENN, Susanna E.; MORGAN, John W. Insect

herbivory on snow gum (*Eucalyptus pauciflora*, Myrtaceae) saplings near the alpine treeline: The influence of local- and landscape-scale processes. **Australian Journal of Botany**, [S. l.], v. 65, n. 6–7, p. 582–592, 2017. DOI: 10.1071/BT17129.

DE QUEIROZ, Kevin. The general lineage concept of species, species criteria, and the process of speciation: a conceptual unification and terminological recommendations. In: HOWARD, D. J.; BERLOCHER, S. H. (org.). **Endless forms: Species and speciation**. Oxford UK: Oxford University Press, 1998. p. 57–75. Disponível em: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/4652/VZ_1998deQueirozEndlessForms.pdf.

DÍAZ, Sandra; CABIDO, Marcelo. Vive la différence : plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.

DICKS, L. V.; CORBET, S. A.; PYWELL, R. F. Compartmentalization in plant – insect flower visitor webs. **Journal of Animal Ecology**, [S. l.], v. 71, p. 32–43, 2002. DOI: 10.1046/j.0021-8790.2001.00572.x.

DORCHIN, Achik; FILIN, Ido; IZHAKI, Ido; DAFNI, Amots. Movement patterns of solitary bees in a threatened fragmented habitat. **Apidologie**, [S. l.], v. 44, n. 1, p. 90–99, 2013. DOI: 10.1007/s13592-012-0159-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13592-012-0159-4>.

DORMANN, C. F.; FRUEND, J.; BLUETHGEN, N.; GRUBER, B. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. **The Open Ecology Journal**, [S. l.], n. 2, p. 7–24, 2009.

DORMANN, C. F.; GRUBER, B.; FRUEND, J. Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. **R news**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 8–11, 2008.

DRAY, Stéphane; DUFOUR, Anne-Béatrice. The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. 1–20, 2007. DOI: 10.18637/jss.v022.i04.

DYER, Lee; MILLER, Jim; GENTRY, Grant. **caterpillars.org**. 2018. Disponível em: <https://caterpillars.unr.edu/>. Acesso em: 20 ago. 2018.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO QGIS. **Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation**., 2016. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

ERB, Matthias. Plant Defenses against Herbivory: Closing the Fitness Gap. **Trends in Plant Science**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 187–194, 2018. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.11.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2017.11.005>.

EVANS, Darren M.; POCOCK, Michael J. O.; MEMMOTT, Jane. The robustness of a network of ecological networks to habitat loss. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 844–852, 2013. DOI: 10.1111/ele.12117. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/ele.12117>.

FAHRIG, Lenore et al. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 200, p. 219–234, 2015. DOI: 10.1016/j.agee.2014.11.018.

FARIA, Luiz Roberto Ribeiro; GONÇALVES, Rodrigo Barbosa. Abiotic correlates of bee diversity and composition along eastern Neotropics. **Apidologie**, [S. l.], v. 44, n. 5, p. 547–562, 2013. DOI: 10.1007/s13592-013-0205-x.

FERREIRA, Patrícia Alves; BOSCOLO, Danilo; CARVALHEIRO, Luísa G.; BIESMEIJER, Jacobus C.; ROCHA, Pedro L. B.; VIANA, Blandina F. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. **Landscape Ecology**, [S. l.], v. 30, n. 10, p. 2067–2078, 2015. DOI: 10.1007/s10980-015-0231-3.

FERREIRA, Patrícia Alves; BOSCOLO, Danilo; LOPES, Luciano Elsinor; CARVALHEIRO, Luísa G.; BIESMEIJER, Jacobus C.; BERNARDO DA ROCHA, Pedro Luís; VIANA, Blandina Felipe. Forest and connectivity loss simplify tropical pollination networks. **Oecologia**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1007/s00442-019-04579-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04579-7>.

FERREIRA, Patrícia Alves; BOSCOLO, Danilo; VIANA, Blandina Felipe. What do we know about the effects

of landscape changes on plant–pollinator interaction networks? **Ecological Indicators**, [S. l.], p. 2008–2013, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.07.025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.025>.

FONTAINE, Colin; DAJOZ, Isabelle; MERIGUET, Jacques; LOREAU, Michel. Functional diversity of plant–pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. **PLoS Biology**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 0129–0135, 2006. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040001.

FORISTER, Matthew L. et al. The global distribution of diet breadth in insect herbivores. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], v. 112, n. 2, p. 442–447, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1423042112. Disponível em: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1423042112>.

FRÜND, Jochen; DORMANN, Carsten F.; HOLZSCHUH, Andrea; TSCHARNTKE, Teja. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. **Ecology**, [S. l.], v. 94, n. 9, p. 2042–2054, 2013. DOI: 10.1890/12-1620.1.

FU, Bojie; WANG, Shuai; SU, Changhong; FORSIUS, Martin. Linking ecosystem processes and ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 4–10, 2013. DOI: 10.1016/j.cosust.2012.12.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.002>.

GALLAGHER, Rachael V. et al. Open Science principles for accelerating trait-based science across the Tree of Life. **Nature Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 4, n. March, 2020. DOI: 10.1038/s41559-020-1109-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-020-1109-6>.

GARIBALDI, Lucas Alejandro et al. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 14, n. 10, p. 1062–1072, 2011. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x.

GARIBALDI, Lucas Alejandro et al. Trait matching of flower visitors and crops predicts fruit set better than trait diversity. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 52, n. 6, p. 1436–1444, 2015. DOI: 10.1111/1365-2664.12530.

GBIF.ORG. **GBIF - Global Biodiversity Information Facility**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15468/39omei>. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/search>. Acesso em: 26 fev. 2018.

GIANNINI, Tereza C.; GARIBALDI, Lucas Alejandro; ACOSTA, Andre L.; SILVA, Juliana S.; MAIA, Kate P.; SARAIVA, Antonio M.; GUIMARÃES, Paulo R.; KLEINERT, Astrid M. P. Native and Non-Native Supergeneralist Bee Species Have Different Effects on Plant-Bee Networks. **Plos One**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e0137198, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0137198. Disponível em: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0137198>.

GIRAUDEL, J. L.; LEK, S. A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. [S. l.], v. 146, p. 329–339, 2001.

GOULSON, Dave; NICHOLLS, Elizabeth; BOTÍAS, Cristina; ROTHERAY, Ellen L. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, [S. l.], v. 2010, n. February, p. 1–16, 2015.

GRASS, Ingo; BERENS, Dana G.; FARWIG, Nina. Natural habitat loss and exotic plants reduce the functional diversity of flower visitors in a heterogeneous subtropical landscape. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 28, n. 5, p. 1117–1126, 2014. DOI: 10.1111/1365-2435.12285.

GREENLEAF, Sarah S.; WILLIAMS, Neal M.; WINFREE, Rachael; KREMEN, Claire. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, [S. l.], v. 153, n. 3, p. 589–596, 2007. DOI: 10.1007/s00442-007-0752-9.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. Pattern-oriented modelling: a “multi-scope” for predictive systems ecology. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [S. l.], v. 367, n. 1586, p. 298–310, 2012. DOI: 10.1098/rstb.2011.0180.

HACKETT, Talya D.; SAUVE, Alix M. C.; DAVIES, Nancy; MONTTOYA, Daniel; TYLIANAKIS, Jason M.; MEMMOTT, Jane. Reshaping our understanding of species’ roles in landscape-scale networks. **Ecology**

Letters, [S. l.], v. 22, n. 9, p. 1367–1377, 2019. DOI: 10.1111/ele.13292.

HAGEN, Melanie et al. Biodiversity, species interactions and ecological network in a fragmented world. In: WOODWARD, Guy; JACOB, Ute (org.). **Advances in Ecological Research**. Cambridge: Academic Press, 2012. v. 46p. 89–120.

HALL, S. J.; RAFFAELLI, D. Food-Web Patterns : Lessons from a Species-Rich Web. **Journal of Animal Ecology**, [S. l.], v. 60, n. 3, p. 823–841, 1991. DOI: 10.2307/5416.

HE GROUP (UNIVERSITY OF MICHIGAN). **Ontobee**. 2019. Disponível em: <http://www.ontobee.org/>. Acesso em: 20 jan. 2020.

HELENO, Ruben; DEVOTO, Mariano; POCOCK, Michael J. O. Connectance of species interaction networks and conservation value: Is it any good to be well connected? **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 7–10, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.06.032. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.032>.

HESSELBARTH, Maximilian H. K.; SCIAINI, Marco; WITH, Kimberly A.; WIEGAND, Kerstin; NOWOSAD, Jakub. landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics. **Ecography**, [S. l.], v. 42, n. 10, p. 1648–1657, 2019. DOI: 10.1111/ecog.04617.

HIPÓLITO, Juliana; BOSCOLO, Danilo; VIANA, Blandina Felipe. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 256, n. September 2016, p. 218–225, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2017.09.038. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.038>.

HOEHN, Patrick; TSCHARNTKE, Teja; TYLIANAKIS, Jason M.; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. **Proceedings of the Royal Society B**, [S. l.], v. 275, p. 2283–2291, 2008. DOI: 10.1098/rspb.2008.0405. Disponível em: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2603237&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

IBANEZ, Sébastien; ARÈNE, Fabien; LAVERGNE, Sébastien. How phylogeny shapes the taxonomic and functional structure of plant–insect networks. **Oecologia**, [S. l.], v. 180, n. 4, p. 989–1000, 2016. DOI: 10.1007/s00442-016-3552-2.

IBGE. **Mapas temáticos**. 2015. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 maio. 2015.

KAARTINEN, Riikka; STONE, Graham N.; HEARN, Jack; LOHSE, Konrad; ROSLIN, Tomas. Revealing secret liaisons: DNA barcoding changes our understanding of food webs. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 35, n. 5, p. 623–638, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2311.2010.01224.x.

KAISER-BUNBURY, Christopher N.; MEMMOTT, Jane; MÜLLER, Christine B. Community structure of pollination webs of Mauritian heathland habitats. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 241–254, 2009. DOI: 10.1016/j.ppees.2009.04.001.

KAISER-BUNBURY, Christopher N.; MOUGAL, James; WHITTINGTON, Andrew E.; VALENTIN, Terence; GABRIEL, Ronny; OLESEN, Jens M.; BLÜTHGEN, Nico. Ecosystem restoration strengthens pollination network resilience and function. **Nature**, [S. l.], v. 542, n. 7640, p. 223–227, 2017. DOI: 10.1038/nature21071. Disponível em: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nature21071>.

KAISER-BUNBURY, Christopher N.; VÁZQUEZ, Diego P.; STANG, M. Determinants of the microstructure of plant-pollinator networks. **Ecology**, [S. l.], v. 95, n. 12, p. 3314–3324, 2014. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/14-0024.1/full>.

KATTGE, J. et al. TRY - a global database of plant traits. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 17, n. 9, p. 2905–2935, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x.

KENDALL, Liam K. et al. Pollinator size and its consequences: Robust estimates of body size in pollinating insects. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 1702–1714, 2019. DOI: 10.1002/ece3.4835. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/ece3.4835>.

KLEIN, Alexandra Maria; VAISSIÈRE, Bernard E.; CANE, James H.; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; CUNNINGHAM, Saul a; KREMEN, Claire; TSCHARNTKE, Teja. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, [S. l.], v. 274, n. 1608, p. 303–313, 2007. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721.

KLEINERT, Astrid de M. P.; CORTOPASSI-LAURINO, Marilda; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L. Abelhas sociais (Bombini , Apini , Meliponini). **Miolo-Bioecologia**, [S. l.], p. 373–426, 2009.

KLEYER, Michael; DRAY, Stéphane; BELLO, Francescode; LEPŠ, Jan; PAKEMAN, Robin J.; STRAUSS, Barbara; THUILLER, Wilfried; LAVOREL, Sandra. Assessing species and community functional responses to environmental gradients: Which multivariate methods? **Journal of Vegetation Science**, [S. l.], v. 23, n. 5, p. 805–821, 2012. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2012.01402.x.

KRENN, Harald W.; PLANT, John D.; SZUCSICH, Nikolaus U. Mouthparts of flower-visiting insects. **Arthropod Structure and Development**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 1–40, 2005. DOI: 10.1016/j.asd.2004.10.002.

KULL, Christian A.; SARTRE, Xavier Arnauld De; CASTRO-LARRAÑAGA, Monica. The political ecology of ecosystem services. **Geoforum**, [S. l.], v. 61, p. 122–134, 2015. DOI: 10.1016/j.geoforum.2015.03.004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718515000688>.

LABAR, Thomas; CAMPBELL, Colin; YANG, Suann; ALBERT, Réka; SHEA, Katriona. Restoration of plant–pollinator interaction networks via species translocation. **Theoretical Ecology**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 209–220, 2014. DOI: 10.1007/s12080-013-0211-7. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12080-013-0211-7>.

LAUTENBACH, Sven; SEPPELT, Ralf; LIEBSCHER, Juliane; DORMANN, Carsten F. Spatial and temporal trends of global pollination benefit. **Plos One**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. e35954, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0035954. Disponível em: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0035954>.

LEWINSOHN, Thomas Michael; PRADO, Paulo Inácio. Structure in plant -animal interaction assemblages. **Oikos**, [S. l.], v. 113, p. 1–11, 2006. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2006.14583.x.

LIMA, Maria Cecília; ALENCAR, Sá. **Efeito dos agrotóxicos sobre abelhas silvestres no Brasil**. Brasília: Ibama, 2012.

MAIRE, Eva; GRENOUILLET, Gaël; BROSSE, Sébastien; VILLÉGER, Sébastien. How many dimensions are needed to accurately assess functional diversity? A pragmatic approach for assessing the quality of functional spaces. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 24, n. 6, p. 728–740, 2015. DOI: 10.1111/geb.12299.

MARQUITTI, Flavia Maria Darcie; GUIMARÃES, Paulo Roberto; PIRES, Mathias Mistretta; BITTENCOURT, Luiz Fernando. MODULAR: Software for the autonomous computation of modularity in large network sets. **Ecography**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 221–224, 2014. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.00506.x.

MARTINEZ, Neo D. Artifacts or Attributes ? Effects of Resolution on the Little Rock Lake Food Web. **Ecological Monographs**, [S. l.], v. 61, n. 4, p. 367–392, 1991. DOI: 10.2307/2937047. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2937047>.

MARTINS, Kyle T.; GONZALEZ, Andrew; LECHOWICZ, Martin J. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 200, p. 12–20, 2015. DOI: 10.1016/j.agee.2014.10.018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.018>.

MEIRI, Shai; MACE, Georgina M. New taxonomy and the origin of species. **PLoS Biology**, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 1385–1386, 2007. DOI: 10.1371/journal.pbio.0050194.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 1, p. 1–9, 2001. DOI: 10.1093/hmg/ddn246. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?thematic-review+BN00701122001>.

MICHENER, Charles D. **The Social Behavior of the Bees: A Comparative Study**. Cambridge: Harvard

University Press, 1974.

MICHENER, Charles D. **The bees of the world**. 2. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007.

MIRANDA, Evaristo Eduardo De. **Brasil em Relevô**. 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 25 fev. 2020.

MIRANDA, Maria Luiza De. **Diversidade de Oomycota do Parque Estadual da Serra da Cantareira**. 2007. Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, [S. l.], 2007.

MONTOYA, José M.; PIMM, Stuart L.; SOLÉ, Ricard V. Ecological networks and their fragility. **Nature**, [S. l.], v. 442, p. 259–264, 2006. DOI: doi:10.1038/nature04927.

MOREIRA, Eduardo Freitas; BOSCOLO, Danilo; VIANA, Blandina Felipe. Spatial Heterogeneity Regulates Plant–Pollinator Networks across Multiple Landscape Scales. **Plos One**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e0123628, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0123628. Disponível em: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0123628>.

MOREIRA, Eduardo Freitas; FERREIRA, Patrícia Alves; LOPES, Luciano Elsinor; SOARES, Raimunda Gomes Silva; BOSCOLO, Danilo. Ecological Networks in Changing Tropics. In: DÁTILLO, Wesley; RICO-GRAY, Victor (org.). **Ecological Networks in the Tropics**. Cham: Springer, 2018. p. 155–169. DOI: 10.1007/978-3-319-68228-0_6.

MOREIRA, Eduardo Freitas; SANTOS, Rafaela Lorena da Silva; SILVEIRA, Maxwell Souza; BOSCOLO, Danilo; NEVES, Edinaldo Luz Das; VIANA, Blandina Felipe. Influence of landscape structure on Euglossini composition in open vegetation environments. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 1–7, 2017. DOI: 10.1590/1676-0611-bn-2016-0294.

MORETTI, Marco et al. Handbook of protocols for standardized measurement of terrestrial invertebrate functional traits. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 31, p. 558–567, 2017. DOI: 10.1111/1365-2435.12776.

MOSTAFA, Mohamed M. Expert Systems with Applications Clustering the ecological footprint of nations using Kohonen 's self-organizing maps. **Expert Systems With Applications**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 2747–2755, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.09.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.016>.

MUSTAJÄRVI, Kaisa; SIIKAMÄKI, Pirkko; RYTKÖNEN, Saara; LAMMI, Antti. Consequences of plant population size and density for plant–pollinator interactions and plant performance. **Journal of Ecology**, [S. l.], v. 89, n. 1, p. 80–87, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2001.00521.x.

MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A.; MITTERMEIER, Cristina G.; FONSECA, Gustavo A. B. Da; KENT, Jennifer. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [S. l.], v. 403, p. 853–858, 2000.

NATTERO, Julieta; MALERBA, Romina; MEDEL, Rodrigo; COCUCI, Andrea. Factors affecting pollinator movement and plant fitness in a specialized pollination system. **Plant Systematics and Evolution**, [S. l.], v. 296, n. 1, p. 77–85, 2011. DOI: 10.1007/s00606-011-0477-4.

NEWMAN, Mark E. J. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, [S. l.], v. 45, n. 2, p. 167–256, 2003.

NEWMAN, Mark E. J. **Networks: an introduction**. [s.l.] : Oxford University Press, 2010.

NOGUEIRA-NETO, Paulo. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Nogueirapis, 1997.

NORDSTRÖM, Karin; DAHLBOM, Josefin; PRAGADHEESH, V. S.; GHOSH, Suhrid; OLSSON, Amadeus; DYAKOVA, Olga; SURESH, Shravanti Krishna; OLSSON, Shannon B. In situ modeling of multimodal floral cues attracting wild pollinators across environments. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], p. 201714414, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1714414114. Disponível em: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1714414114>.

NUNES-SILVA, Namepatricia; HRNCIR, Michael; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia. A polinização por vibração. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 140–151, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.07.

OLIVEIRA, Favízia Freitas De; FRANCOY, Tiago Mauricio; MAHLMANN, Thiago; KLEINERT, Astrid de Matos Peixoto; CANHOS, Dora Ann Lange. O impedimento taxonômico no Brasil e o desenvolvimento de ferramentas auxiliares para identificação de espécies. In: IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L.; CANHOS, Dora Ann Lange; ALVES, Denise de Araujo; SARAIVA, Antonio M. (org.). **Polinizadores no Brasil**. São Paulo: edUSP, 2012. p. 273–300.

OLIVER, I. A. N.; BEATTIE, Andrew J. Designing a cost-Effective invertebrate survey: A test of methods for rapid assessment of biodiversity. **Ecological Applications**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 594–607, 1996. DOI: 10.2307/2269394. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2269394>.

OLLERTON, Jeff; RECH, André Rodrigo; WASER, Nickolas M.; PRICE, Mary V. Using the literature to test pollination syndromes: some methodological cautions. **Journal of Pollination Ecology**, [S. l.], v. 16, n. 17, p. 119–125, 2015.

ORTEGA, Raúl; FORTUNA, Miguel Angel; BASCOMPTE, Jordi. **Web of Life: ecological networks database**. 2018. Disponível em: <http://www.web-of-life.es/>. Acesso em: 26 abr. 2018.

OVASKAINEN, Otso; TIKHONOV, Gleb; NORBERG, Anna; GUILLAUME BLANCHET, F.; DUAN, Leo; DUNSON, David; ROSLIN, Tomas; ABREGO, Nerea. How to make more out of community data? A conceptual framework and its implementation as models and software. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 20, n. 5, p. 561–576, 2017. DOI: 10.1111/ele.12757.

PACHECO FILHO, Alípio José de Souza; VEROLA, Christiano Franco; VERDE, Luiz Wilson Lima; FREITAS, Breno Magalhães. Bee-flower association in the Neotropics: implications to bee conservation and plant pollination. **Apidologie**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 530–541, 2015. DOI: 10.1007/s13592-014-0344-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13592-014-0344-8>.

PARADIS, E.; SCHLIEP, K. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. **Bioinformatics**, [S. l.], v. 35, n. 3, p. 526–528, 2018. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty633. Disponível em: <http://ape-package.ird.fr/>.

PAVOINE, Sandrine; VALLET, Jeanne; DUFOUR, Anne-Béatrice; GACHET, Sophie; DANIEL, Hervé. On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity. **Oikos**, [S. l.], v. 118, n. 3, p. 391–402, 2009. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2009.16668.x.

PEARSE, Ian S.; ALTERMATT, Florian. Predicting novel trophic interactions in a non-native world. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 16, n. 8, p. 1088–1094, 2013. DOI: 10.1111/ele.12143.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, p. 1633–44, 2007. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

PETANIDOU, Theodora; KALLIMANIS, Athanasios S.; TZANOPOULOS, Joseph; SGARDELIS, Stefanos P.; PANTIS, John D. Long-term observation of a pollination network : fluctuation in species and interactions , relative invariance of network structure and implications for estimates of specialization. **Ecology Letters**, [S. l.], p. 564–575, 2008. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01170.x.

PETCHEY, Owen L.; GASTON, Kevin J. Functional diversity: Back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 9, n. 6, p. 741–758, 2006. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x.

PIGOT, A. L.; SHEARD, C.; MILLER, E. T.; BREGMAN, T.; FREEMAN, B.; SEDDON, N.; TRISOS, C. H.; WEEKS, B.; TOBIAS, J. .. Macroevolutionary convergence connects morphological form to ecological function in birds. **Nature Ecology & Evolution**, [S. l.], 2020. DOI: 10.1038/s41559-019-1070-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-1070-4>.

POCOCK, Michael J. O.; EVANS, Darren M.; MEMMOTT, Jane. The robustness and restoration of a network of ecological networks. **Science**, [S. l.], v. 335, n. 6071, p. 973–977, 2012. DOI: 10.1126/science.1214915.

POISOT, Timothée. **Mangal**. 2018. Disponível em: <http://mangal.io/>. Acesso em: 26 abr. 2018.

POISOT, Timothée; KÉFI, Sonia; MORAND, Serge; STANKO, Michal; MARQUET, Pablo A.; HOCHBERG, Michael E. A continuum of specialists and generalists in empirical communities. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. 1–12, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0114674.

PONISIO, Lauren C.; M'GONIGLE, Leithen K. Coevolution leaves a weak signal on ecological networks. **Ecosphere**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 1–15, 2017. DOI: 10.1002/ecs2.1798.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 18 fev. 2020.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

RABELING, Simone Cappellari; LE LIM, Jia; TIDON, Rosana; NEFF, John L.; SIMPSON, Beryl B.; PAWAR, Samraat. Seasonal variation of a plant–pollinator network in the Brazilian Cerrado: Implications for community structure and robustness. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 14, n. 12, p. 1–22, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0224997.

RAMOS-JILIBERTO, Rodrigo; ALBORNOZ, Abraham A.; VALDOVINOS, Fernanda S.; SMITH-RAMÍREZ, Cecilia; ARIM, Matías; ARMESTO, Juan J.; MARQUET, Pablo A. A network analysis of plant–pollinator interactions in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile. **Oecologia**, [S. l.], v. 160, n. 4, p. 697–706, 2009. DOI: 10.1007/s00442-009-1344-7. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00442-009-1344-7>.

REDHEAD, John W.; WOODCOCK, Ben A.; POCOCK, Michael J. O.; PYWELL, Richard F.; VANBERGEN, Adam J.; OLIVER, Tom H. Potential landscape-scale pollinator networks across Great Britain: structure, stability and influence of agricultural land cover. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 21, p. 1821–1832, 2018. DOI: 10.1111/ele.13157.

RIBEIRO, Milton Cezar; METZGER, Jean Paul; MARTENSEN, Alexandre Camargo; PONZONI, Flávio Jorge; HIROTA, Márcia Makiko. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.02.021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.

RICKETTS, Taylor H. et al. Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns? **Ecology Letters**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 499–515, 2008. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x.

ROSAS-GUERRERO, Víctor; AGUILAR, Ramiro; MARTÉN-RODRÍGUEZ, Silvana; ASHWORTH, Lorena; LOPEZARAIZA-MIKEL, Martha; BASTIDA, Jesús M.; QUESADA, Mauricio. A quantitative review of pollination syndromes: Do floral traits predict effective pollinators? **Ecology Letters**, [S. l.], v. 17, p. 388–400, 2014. DOI: 10.1111/ele.12224.

ROSKOV, Y. et al. **Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 26th February 2018**. 2018. Disponível em: www.catalogueoflife.org/col. Acesso em: 26 fev. 2018.

ROUSSEEUW, Peter J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, [S. l.], v. 20, n. C, p. 53–65, 1987. DOI: 10.1016/0377-0427(87)90125-7.

SCHLEUNING, Matthias et al. Specialization of mutualistic interaction networks decreases toward tropical latitudes. **Current Biology**, [S. l.], v. 22, n. 20, p. 1925–1931, 2012. DOI: 10.1016/j.cub.2012.08.015.

SCHNEIDER, Florian D. et al. Towards an ecological trait-data standard. **Methods in Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. 2006–2019, 2019. DOI: 10.1111/2041-210X.13288.

SCHOWALTER, T. D.; NORIEGA, J. A.; TSCHARNTKE, T. Insect effects on ecosystem services—Introduction. **Basic and Applied Ecology**, [S. l.], v. 26, p. 1–7, 2018. DOI: 10.1016/j.baae.2017.09.011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.011>.

SCHWEIGER, Oliver et al. Multiple stressors on biotic interactions: How climate change and alien species interact to affect pollination. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 85, n. 4, p. 777–795, 2010. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x.

SOARES, Raimunda Gomes Silva; FERREIRA, Patrícia Alves; LOPES, Luciano Elsinor. Can plant-pollinator network metrics indicate environmental quality? **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 78, p. 361–370, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.03.037. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470160X17301553>.

STRAM, Rotem; REUSS, Pascal; ALTHOFF, Klaus-Dieter. Weighted one mode projection of a bipartite graph as a local similarity measure. In: (D. Aha, J. Lieber, Org.) CASE-BASED REASONING RESEARCH AND DEVELOPMENT 2017, Cham. **Anais [...]**. Cham: Springer, 2017. p. 375–389. DOI: 10.1007/978-3-319-61030-6_26. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61030-6>.

SUGIHARA, George; BERSIER, Louis-félix; SCHOENLY, Kenneth. International Association for Ecology Effects of Taxonomic and Trophic Aggregation on Food Web Properties. **Ecology**, [S. l.], v. 112, n. 2, p. 272–284, 1997. DOI: 10.1007/s004420050310.

SUGIURA, Shinji; TAKI, Hisatomo. Scale-dependent effects of habitat area on species interaction networks: invasive species alter relationships. **BMC Ecology**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 11, 2012. DOI: 10.1186/1472-6785-12-11.

THÉBAULT, Elisa; FONTAINE, Colin. Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. **Science**, [S. l.], v. 329, n. 5993, p. 853–856, 2010. DOI: 10.1126/science.1188321.

THURMAN, Lindsey L.; BARNER, Allison K.; GARCIA, Tiffany S.; CHESTNUT, Tara. Testing the link between species interactions and species co-occurrence in a trophic network. **Ecography**, [S. l.], v. 42, n. 10, p. 1658–1670, 2019. DOI: 10.1111/ecog.04360.

TIKHONOV, Gleb; OPEDAL, O.; ABREGO, Nerea; LEHIKONEN, A.; OVASKAINEN, Otso. **Joint species distribution modelling with HMSC-R**bioRxiv, , 2019.

TILMAN, David. Functional Diversity. In: LEVIN, Simon A. (org.). **Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)**. Second Edi ed. Waltham: Academic Press, 2001. p. 587–596. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00061-7>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123847195000617>.

U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. **National Center for Biotechnology Information - NCBI**. 2018. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 4 ago. 2018.

USHIO, Masayuki; YAMASAKI, Eri; TAKASU, Hiroyuki; NAGANO, Atsushi J.; FUJINAGA, Shohei; HONJO, Mie N.; IKEMOTO, Mito; SAKAI, Shoko; KUDOH, Hiroshi. Microbial communities on flower surfaces act as signatures of pollinator visitation. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 5, p. 8695, 2015. DOI: 10.1038/srep08695. Disponível em: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/srep08695>.

VALIENTE-BANUET, Alfonso et al. Beyond species loss: The extinction of ecological interactions in a changing world. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 299–307, 2014. DOI: 10.1111/1365-2435.12356.

VALK, Harold Van der; KOOMEN, Irene. **Aspects determining the risk of pesticides to wild bees : risk profiles for focal crops on three continents**. Roma: FAO, 2013.

VÁZQUEZ, Diego P.; BLÜTHGEN, Nico; CAGNOLO, Luciano; CHACOFF, Natacha P. Uniting pattern and process in plant-animal mutualistic networks: A review. **Annals of Botany**, [S. l.], v. 103, n. 9, p. 1445–1457, 2009. DOI: 10.1093/aob/mcp057.

VÁZQUEZ, Diego P.; CHACOFF, Natacha P.; CAGNOLO, Luciano. Evaluating multiple determinants of the structure of plant-animal mutualistic networks. **Ecology**, [S. l.], v. 90, n. 8, p. 2039–2046, 2009.

VÁZQUEZ, Diego P.; GOLDBERG, Jeremy; NAIK, Rupesh. **Interaction Web Database (IWDB)**. 2003. Disponível em: <https://www.nceas.ucsb.edu/interactionweb/>. Acesso em: 26 abr. 2018.

VÁZQUEZ, Diego P.; JORDANO, Pedro. Interaction frequency as a surrogate for the total effect of animal mutualists on plants. **Ecology Letters**, [S. l.], n. 8, p. 1088–1094, 2005. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2005.00810.x.

VERMEIREN, Peter; REICHERT, Peter; SCHUWIRTH, Nele. Integrating uncertain prior knowledge regarding

ecological preferences into multi-species distribution models: Effects of model complexity on predictive performance. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 420, n. November 2019, p. 108956, 2020. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.108956. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108956>.

VIALANEIX, Nathalie; MARIETTE, Jerome; OLTEANU, Madalina; ROSSI, Fabrice; BENDHAIBA, Laura; BOLAERT, Julie. **SOMbrero: SOM Bound to Realize Euclidean and Relational Outputs**, 2019.

VIANA, Blandina F.; BOSCOLO, Danilo; NETO, Eduardo Mariano; LOPES, Luciano E.; LOPES, Ariadna V.; FERREIRA, Patrícia Alves; PIGOZZO, Camila M.; PRIMO, Luis M. How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **Journal of Pollination Ecology**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 31–41, 2012.

VIANA, Blandina Felipe; GABRIEL, Jeferson; COUTINHO, Da Encarnação; GARIBALDI, Lucas Alejandro; LAERCIO, Guido; GASTAGNINO, Bragança; GRAMACHO, Katia Peres; OLIVEIRA, Fabiana; SILVA, Da. Stingless bees further improve apple pollination and production. **Journal of Pollination Ecology**, [S. l.], v. 14, n. 25, p. 261–269, 2014.

VILLÉGER, Sébastien; MASON, Norman W. H.; MOUILLOT, David. New Multidimensional Functional Diversity Indices for a Multifaceted Framework in Functional Ecology. **Ecology**, [S. l.], v. 89, n. 8, p. 2290–2301, 2008. DOI: 10.1890/07-1206.1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1890/07-1206.1>.

VIZENTIN-BUGONI, Jeferson; MARUYAMA, Pietro Kiyoshi; SOUZA, Camila Silveira De; OLLERTON, Jeff; RECH, André Rodrigo; SAZIMA, Marlies. Plant-pollinator networks in the tropics: a review. *In*: DÁTILLO, Wesley; RICO-GRAY, Victor (org.). **Ecological Networks in the Tropics**. Cham: SPB Academic Publishing, 2018.

VOLF, Martin et al. Phylogenetic composition of host plant communities drives plant-herbivore food web structure. **Journal of Animal Ecology**, [S. l.], v. 86, n. 3, p. 556–565, 2017. DOI: 10.1111/1365-2656.12646.

WEISS, Katherine C. B.; RAY, Courtenay A. Unifying functional trait approaches to understand the assemblage of ecological communities: synthesizing taxonomic divides. **Ecography**, [S. l.], p. 2012–2020, 2019. DOI: 10.1111/ecog.04387.

WILSON, J. Bastow. Guilds, functional types and ecological groups. **Oikos**, [S. l.], v. 86, n. 3, p. 507–522, 1999. DOI: 10.2307/3546655. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3546655>.

WITJES, Sebastian; WITSCH, Kristian; ELTZ, Thomas. Reconstructing the pollinator community and predicting seed set from hydrocarbon footprints on flowers. **Oecologia**, [S. l.], v. 166, n. 1, p. 161–174, 2011. DOI: 10.1007/s00442-010-1824-9.

ZAÚ, André Scarambone. Fragmentação Da Mata Atlântica: Aspectos Teóricos. **Floresta e Ambiente**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 160–170, 1998.

ZHOU, Tao; REN, Jie; MEDO, Matúš; ZHANG, Yi Cheng. Bipartite network projection and personal recommendation. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, [S. l.], v. 76, n. 4, 2007. DOI: 10.1103/PhysRevE.76.046115.

Apêndices

Apêndice 1

Tabela S1 - Information of mutualistic networks (material suplementar do artigo da *Ecological Entomology*).

Citation	Data base	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Matrix type	plants	animals	nodes	Observation
Kaiser-Bunbury et al. (2017)	IWDB	Plant-pollinator	Tea Plantation	Grand Anse Mahe	Seychelles	-4.661111	55.448889	no. visits and visitation frequency	9	144	153	Experimental restoration turned the pollinator networks more generalized (functional redundancy). The recovery may depend source patches
Arroyo et al. (1982)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Andean scrub	Cordón del Cepo	Chile	-33.283334	-70.266668	binary	84	101	185	Only 4% of Andean flora was not visited by potential pollinators
Barrett and Helenurm (1987)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Boreal forest	Central New Brunswick	Canada	46.553731	-66.071245	individuals caught	12	102	114	3 years study of 12 herbs pollinators
Clements and Long (1923)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Montane forest and grassland	Colorado, Pikes Peak	USA	38.841784	-105.043821	binary	96	275	371	Very ancient register of flower-insect interaction (they registered the behavior of the insects)
Dicks, Corbet and Pywell (2002)	WofL	Plant-pollinator	Meadows	Hickling Broad National Nature Reserve, Norfolk	UK	52.762395	1.575532	frequency of visits	17	61	78	Two quantitative webs of grassland entomophilous flowering plants and insect visitors
Dupont et al. (2003)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	High-altitude desert	Tenerife, Canary Islands		28.216667	-16.633333	binary	11	38	49	11 plant and 37 flower-visiting animals in a very isolated island
Elberling and Olesen (1999)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Alpine subarctic community	Latnjajaure, Abisko	Sweden	68.350000	18.500000	no. visits	24	118	142	23 plant and 388 flower-visiting insects with high proportion of flies
Olesen et al. (2002)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Coastal forest	Mauritius Island	Mauritius	-20.348404	57.552152	no. visits	14	13	27	Pollinator network of island with endemic and non-endemic species
Ollerton et al. (2003)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Upland grassland	KwaZulu-Natal region	South Africa	-29.616667	30.133333	individuals caught	9	56	65	Grassland 3 months study of 9 asclepiads (highly evolved floral morphology) flower visitors
Hocking (1968)	IWDB/W ofL	Plant-pollinator	Arctic community	Hazen Camp, Ellesmere Island	Canada	81.816667	-71.300000	binary	29	81	110	43 plant (nectar concentration and volume are measured) and 760 insect specimens classified into 9 activity categories
Petanidou (1991) / Petanidou & Vokou (1993)	WofL	Plant-pollinator	Dwarf-scrub	Daphní	Greece	38.014466	23.635043	binary	131	666	797	10 Labiatae plants and 201 insect species. The flowering time and nectar quantity are related
Herrera (1988)	WofL	Plant-pollinator	Scrub	Donana National Park	Spain	37.016667	-6.550000	individuals caught	26	179	205	30 plant 187 pollinator in 14 months. Flower flowering about the same time tend to have the same flower visitors (irrespective of floral traits)

Continua.

Citation	Data base	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Matrix type	plants	animals	nodes	Observation
Memmott (1999)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Meadow	Bristol, U.K.	England	51.574994	-2.589902	frequency of visits	25	79	104	plant-pollinator interactions analyzed like a food web
Inouye and Pyke (1988)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Montane forest	Snowy Mountains	Australia	-36.450000	148.266667	individuals caught	40	85	125	54 plants and more than 93 insects during almost 4 months. They measure many traits from plants and animals
Kevan (1970)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	High Arctic	Hazen Camp, Ellesmere Island	Canada	81.816667	-71.300000	no. visits	20	91	111	Doctoral thesis. Covers geography, flora and insect fauna of Lake Hazen area
Kato et al. (1990)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Beech forest	Ashu, Kyoto	Japan	35.333333	135.750000	individuals caught	91	677	768	91 plants 715 insects in forest. Cluster analyses separated the plant families into 4 groups (related to insect orders visiting)
Medan et al. (2002)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Xeric scrub	Laguna Diamante, Mendoza	Argentina	-34.166667	-69.700000	binary	21	45	66	Compare 2 alpine sites. The proportion of self-compatible species increased with altitude and did not reflect in a generalized reaction pattern.
Medan et al. (2002)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Woody riverine vegetation and xeric scrub	Río Blanco, Mendoza	Argentina	-33.000000	-69.283333	binary	23	72	95	Compare 2 alpine sites. The proportion of self-compatible species increased with altitude and did not reflect in a generalized reaction pattern.
Mosquin and Martin (1967)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Arctic community	Melville Island, Canada	Canada	75.000000	-114.966667	individuals caught	11	18	29	Observations of flower-visiting insects and flower characteristics from Melville. List of plant and their visitors
Motten (1982)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Deciduous forest	North Carolina, USA	USA	36.075391	-79.001843	no. visits	13	44	57	There was no decrease in the seed-set of plants with shared visitors. The floral traits were related to successful pollination
Primack (1983)	WofL	Plant-pollinator	Subalpine grassland and scrub	Arthur's Pass	New Zealand	-42.950000	171.566667	binary	18	60	78	82 plants, 4 specialized pollination. No relationship between plant origin and the types of insects visiting its flowers
Primack (1983)	WofL	Plant-pollinator	Grasslands	Cass	New Zealand	-43.028230	171.784660	binary	41	139	180	82 plants, 4 specialized pollination. No relationship between plant origin and the types of insects visiting its flowers
Primack (1983)	WofL	Plant-pollinator	Subalpine grassland and rocky cliffs	Craigieburn	New Zealand	-43.099531	171.720224	binary	49	118	167	82 plants, 4 specialized pollination. No relationship between plant origin and the types of insects visiting its flowers

Continuação.

Citation	Database	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Matrix type	plants	animals	nodes	Observation
Ramírez and Brito (1992)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Palm swamp community	Guarico State, Venezuela	Venezuela	8.933333	-67.416667	binary	28	53	81	33 plants (palm swamp community) studied during 3 years. Plant traits and pollen load of pollinators were described
Ramírez (1989)	WofL	Plant-pollinator	Tropical shrubland	Canaima National Park	Venezuela	5.583333	-61.716667	binary	48	49	97	33 plants (palm swamp community) studied during 3 years. Plant traits and pollen load of pollinators were described
Schemske et al. (1978)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Maple-oak woodland	Brownfield, Illinois	USA	40.133333	-88.166667	no. visits	7	33	40	7 plants (herbs). Flowers blooming during the flowering peak often had low seed production
Small (1976)	IWDB/WofL	Plant-pollinator	Peat bog	Ottawa	Canada	45.400000	-75.500000	individuals caught	13	34	47	13 plants and 184 insects. The plants attracted a diverse but numerically small insect species, and varying in attracting pollinator success
Smith-Ramírez et al. 2005	WofL	Plant-pollinator	Temperate rain forest	Chiloé	Chile	-42.000000	-73.583333	binary	26	128	154	Generalist and specialization among 26 plants. Unspecialized flower trait had higher richness, but visitation rate was similar
Percival (1974)	WofL	Plant-pollinator	Scrub woodland	Morant Point	Jamaica	17.916667	-76.191667	binary	61	36	97	Dry season flowering plants. Bee pollinated plants tended to have many seeds per fruit. Honeybee appeared to be detrimental to native pollinators
Philipp et al. (2006)	WofL	Plant-pollinator	Pahoehoe lava desert	Puerto Villamil, Isabela Island	Galápagos	-0.949194	-90.977222	binary	12	6	18	Oceanic island. Small and high connected networks. Connectance and linkage were similar with other studies
Kato (2000)	WofL	Plant-pollinator	Forest, scrub, meadow	Amami-Oshima Island	Japan	28.377248	129.493741	individuals caught	110	609	719	164 plants and 610 insects. Around of half of melittophilous plants were pollinated by solitary bees
Lundgren and Olesen (2005)	WofL	Plant-pollinator	Heathland and bare rock	Uummannaq Island	Greenland	71.000000	-52.000000	no. visits	17	26	43	17 plants and 26 pollinator. Small Arctic island. Dominance of number and diversity of dipteras
Dupont and Olesen (2009)	WofL	Plant-pollinator	Heathland	Skov Olesens plantation	Denmark	56.100000	9.100000	binary	30	236	266	Modules analysis. Set of species topological roles was repeatedly and nonrandomly
Vázquez (2002)	WofL	Plant-pollinator	Temperate forest	Nahuel Huapi National Park	Argentina	-41.077069	-71.525206	frequency of visits	14	90	104	15 plants. Effect of introduced ungulates on plant-pollinator interactions in forest
Yamazaki and Kato (2003)	WofL	Plant-pollinator	Grasslands	Mt. Yufu	Japan	33.400000	131.500000	binary	99	294	393	101 plants. Hymenoptera were most abundant. The absence of woods reflected in the diversity

Continuação.

Citation	Data base	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Matrix type	plants	animals	nodes	Observation
Kakutani et al. (1990)	WofL	Plant-pollinator	Urban	Kyoto University	Japan	35.033333	135.783333	individuals caught	113	318	431	113 plants 320 insects in forest. Cluster analyses separated the plant families into 4 groups (related to insect orders visiting)
Kato and Miura (1996)	WofL	Plant-pollinator	Marsh	Nakaikemi marsh, Fukui Prefecture, Japan	Japan	35.650000	136.083333	individuals caught	64	195	259	64 plants 215 insects in forest. Cluster analyses separated the plant families into 7 groups (related to insect orders visiting)
Kato et al. (1993)	WofL	Plant-pollinator	Forest, meadow	Mt. Kushigata, Yamanashi Pref., Japan	Japan	35.583333	138.383333	individuals caught	91	365	456	151 plants 370 insects in forests and meadows. Cluster analyses separated the plant families into 5 groups (related to insect orders visiting)
Inoue et al. (1990)	WofL	Plant-pollinator	Temperate deciduous forest	Kibune, Kyoto	Japan	35.166667	135.866667	individuals caught	114	883	997	115 plants 889 Arthropoda in forest. Cluster analyses separated the plant families into 5 groups (related to insect orders visiting)
Bartomeus et al. (2008)	IWDB /WofL	Plant-pollinator	Mediterranean shrublands	Catalonia, Parc Natural del Cap de Creus	Spain	42.297300	3.235217	no. visits	32	81	113	Comparison between uninvaded and invaded ecological communities (plant invasion). Invasive plants acted as pollination super generalists and only a few generalist pollinators visited them exclusively.
Bezerra et al. (2009)	IWDB /WofL	Plant-pollinator	Caatinga (semi-arid vegetation)	Pernambuco State, Parque Nacional do Catimbau	Brazil	-8.505000	-37.201389	no. visits	13	13	26	Solitary bees are the most important vectors, oil-flower subweb is more cohesive and resilient than whole pollination networks
Kaiser-Bunbury et al. (2010)	WofL	Plant-pollinator	Forest	Black River Gorges National Park, Mauritius	Mauritius	-20.700000	57.733333	no. visits	14	37	51	24 temporal snapshots. Simulate extinction patterns following three removal scenarios. Tolerance of generalized networks to species extinctions was high in the random, but systematic removal of the strongest might induce a sudden collapse

Continuação.

Citation	Data base	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Matrix type	plants	animals	nodes	Observation
Kaiser-Bunbury et al. (2014)	WofL	Plant-pollinator	Inselbergs	Morne Seychellois National Park	Mahé	-4.666667	55.433330	frequency of visits	6	12	18	Floral and pollinator community composition determined microstructure of pairwise interactions (8 months x 6 sites). Flower and pollinator traits only share this determinacy (structural equation of flower traits)
Robertson (1929)	IWDB /WofL	Plant-pollinator	Agricultural area dominated by crops, with some natural forest and pasture	Carlinville, Illinois	USA	39.278958	-89.896877	binary	456	1044	1500	The observation of pollinator behavior. Classification of pollinators, e.g. bees were long-tongued, short-tongued and other hymenoptera...
Santos et al. (2010)	IWDB	Plant-pollinator	Caatinga (semi-arid vegetation)	Bahia State	Brazil	-12.700000	-39.766667	binary	51	26	77	Comparison between bee-plant and wasp-plant interaction networks. Only the connectance was different, it was higher in wasp-plant network
Varassin & Sazima (2012)	IWDB	Plant-pollinator	Tropical rain forest	Estação Biológica de Santa Lúcia	Brazil	-19.968055	-40.532639	interaction frequencies	22	23	45	Interactions between bromeliads and their pollinators. Hummingbirds pollinated 87% of the bromeliad species in an Atlantic Forest. The insect participation clearly declining as transect elevation increased
Vázquez & Simberloff (2002)	IWDB	Plant-pollinator	Evergreen montane forest	Nahuel Huapi National Park (Mascardi 1)	Argentina	-41.350000	-71.519000	no. visits	8	21	29	4 pairs of forested sites for the study, each pair consisting of one site with cattle and one without

Conclusão.

Tabela S2 - Information of antagonistic networks (material suplementar do artigo da *Ecological Entomology*).

Citation	Database	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Data Type	plants	animals	nodes	Observation
Almeida (2001)	Personal contact with Paulo Guimaraes	Plant-Endophage	Tropical-subalpine grassland	Campos do Jordão	Brazil	-22.738600	-45.592100	Matrix	21	26	47	Montane Eupatorieae flora collected in the Mantiqueira range
Almeida (2001)	Personal contact with Paulo Guimaraes	Plant-Endophage	Tropical-subalpine grassland	Ibitipoca State Park	Brazil	-21.716667	-43.900000	Matrix	24	31	55	Montane Eupatorieae flora collected in the Mantiqueira range
Almeida (2001)	Personal contact with Paulo Guimaraes	Plant-Endophage	Tropical-subalpine grassland	Passa-Quatro	Brazil	-22.390000	-44.940000	Matrix	11	21	32	Montane Eupatorieae flora collected in the Mantiqueira range
Almeida (2001)	Personal contact with Paulo Guimaraes	Plant-Endophage	Tropical-subalpine grassland	Visconde de Mauá (Resende)	Brazil	-22.340000	-44.540000	Matrix	15	31	46	Montane Eupatorieae flora collected in the Mantiqueira range
Joern (1979)	IWDB/WofL	Plant-herbivore	Arid grasslands	Altuda, Trans-Pecos, Texas	USA	30.302580	-103.455840	Matrix	54	24	74	Gut analysis determine the grasshopper are generally poli or oligophages
Joern (1979)	IWDB/WofL	Plant-herbivore	Arid grasslands	Marathon, Trans-Pecos, Texas	USA	30.206431	-103.245385	Matrix	52	22	78	Gut analysis determine the grasshopper are generally poli or oligophages
Leather (1991)	IWDB/WofL	Plant-herbivore	Island	whole region	Britain	53.833333	-2.416667	Matrix	6	88	94	Macrolepdoptera feeding in Prunus
Leather (1991)	IWDB/WofL	Plant-herbivore	Island	whole region	Finland	64.914666	26.067255	Matrix	5	64	69	Macrolepdoptera feeding in Prunus
Basset & Samuelson (1996)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Leaf chewing	Lower montane rain forest	Mt Kaindi	Papua New Guinea	-7.400000	146.733333	Matrix	10	46	56	Chrysomelidea
Bluthgen et al (2006)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Leaf chewing	Lower evergreen forest	Danum valley Sabah	Malaysia	4.966666	117.800000	List of interactions	38	12	50	Phasmidea
Bodner (2010)	Personal contact with Paulo Guimaraes	Plant-Leaf chewing	Montane rainforest	Reserva Biológica San Francisco	Ecuador	-3.966667	-79.085522	List of interactions	45	59	104	Caterpillar (Lepdopera)

Continua.

Citation	Database	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Data Type	plants	animals	nodes	Observation
Coley et al. (2006)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Leaf chewing	Tropical lowland forest	Barro Colorado Island	Panama	9.000000	-80.000000	List of interactions	40	47	87	Caterpillar (Lepidoptera) – 400 insects collected
Cuevas-Reyes et al (2007)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Galler	Tropical deciduous forest	Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve	Mexico	19.498000	-105.043000	List of interactions	29	29	58	Gall makers
Henneicke et al. (1992)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Galler	Temperate grassland	England and Wales	UK	52.000000	-1.000000	List of interactions	10	17	27	Wasps
Diniz et al. (2009)	caterpillars.org	Plant-Leaf chewing	Savanna	Biological Reserve of "Cabeça de Veado"	Brazil	- 15.940000	-47.910000	List of interactions	6	19	25	Caterpillar (Lepidoptera)
Henneman & Memmott (2001)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Leaf chewing	Wetland	Alakai swamp, Kauai	Hawaii	22.083333	-159.550000	List of interactions	53	28	81	Caterpillar (Lepidoptera)
Janzen (1980)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Seed predator	Tropical deciduous forest	Guanacaste Province	Costa Rican	10.875000	-85.625000	List of interactions	95	110	205	Seed predation by coleopteran
Memmott et al (1994)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-herbivore	Tropical dry forest	Santa Rosa National Park (Guanacaste)	Costa Rican	10.860000	-85.730000	List of interactions	54	92	146	Leaf miners
Müller et al (1999)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Sap feeding	Rush Meadow	Silwood Park (Berkshire)	England	51.410487	-0.638528	List of interactions	26	25	51	Aphids
Nakagawa et al. (2003)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Seed predator	Tropical lowland of dipterocarp forest	Sarawak	Malaysia	4.213000	114.030000	Matrix	15	37	52	Seed eaters of dipterocarp species
Pearse & Altermatt (2013)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Leaf chewing	whole state	Baden-Württemberg	Germany	48.537778	9.041111	Matrix	759	900	1659	Caterpillar (Lepidoptera)
Pocock et al. (2012)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Sap feeding	Farm	Norwood Farm, Somerset	UK	51.312800	-2.320600	List of interactions	30	28	58	Study of several types of interactions in a farm of 125ha. Aphid-plant interaction

Continuação.

Citation	Database	Web Type	Habitat type	Location	Country	Latitude	Longitude	Data Type	plants	animals	nodes	Observation
Pocock et al. (2012)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Seed predator	Farm	Norwood Farm, Somerset	UK	51.312800	-2.320600	List of interactions	6	19	25	Study of several types of interactions in a farm of 125ha. Seed eaters.
Prado & Lewinsohn (2004)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-herbivore	Rock Vegetation	Espinhaço Mountain	Brazil	-17.937500	-43.716666	Matrix	81	35	116	Flies of family Tephritidae interacting with the plant family Asteraceae
Stary & Havelka (2008)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Sap feeding	Farm	Těchobuz village	Czech Republic	49.513333	14.930833	List of interactions	101	92	193	
Tscharntke et al. (2001)	Thebault & Fontaine 2010	Plant-Endophage	Temperate grassland	Karlsruhe	Germany	49.000000	8.400000	List of interactions	10	16	26	Endophagic wasps of grass

Conclusão.

Referências

- Almeida AM De (2001) Biogeografia de interações entre Eupatorieae (Asteraceae) e insetos endófagos de capítulos na Serra da Mantiqueira. Inst. Biol. PhD thesis. p. 171
- Arroyo, M. T. K., R. B. Primack, and J. J. Armesto. 1982. Community studies in pollination ecology in the high temperate Andes of Central Chile. I. Pollination mechanisms and altitudinal variation. *American Journal of Botany* 69:82-97.
- Barrett, S. C. H., and K. Helenurm. 1987. The Reproductive-Biology of Boreal Forest Herbs.1. Breeding Systems and Pollination. *Canadian Journal of Botany* 65:2036-2046.
- Bartomeus, I., Vilà, M. & Santamaria, L., 2008. Contrasting effects of invasive plants in plant-pollinator networks. *Oecologia* 155: 761-770.
- Basset Y, Samuelson GA (1996) Ecological characteristics of an arboreal community of Chrysomelidae in Papua New Guinea. In: Jolivet P (ed) *Chrysomelidae biology*. Volume 2: ecological studies. SPB Academic Publishing, Amsterdam, pp 1–7
- Bezerra, E. L. S, I. C. Machado & M. A. R. Mello (2009). Pollination networks of oil-flowers: a tiny world within the smallest of all worlds. *Journal of Animal Ecology* 78: 1096-1101.
- Blüthgen N, Metzner A, Ruf D (2006) Food plant selection by stick insects (Phasmida) in a Bornean rain forest. *J Trop Ecol* 22:35–40. doi: 10.1017/S0266467405002749
- Bodner F, Brehm G, Homeier J, et al (2010) Caterpillars and host plant records for 59 species of Geometridae (Lepidoptera) from a montane rainforest in southern Ecuador. *J insect Sci* 10:1–22. doi: 10.1673/031.010.6701
- Clements, R. E., and F. L. Long. 1923, *Experimental pollination. An outline of the ecology of flowers and insects*. Washington, D.C., USA, Carnegie Institute of Washington.
- Coley PD, Bateman ML, Kusar TA (2006) The effects of plant quality on caterpillar growth and defense against natural enemies. *Oikos* 115:219–228. doi: 10.1111/j.2006.0030-1299.14928.x
- Cuevas-Reyes P, Quesada M, Hanson P, Oyama K (2007) Interactions among three trophic levels and diversity of parasitoids: a case of top-down processes in Mexican tropical dry forest. *Environ Entomol* 36:792–800. doi: 10.1603/0046-225X(2007)36[792:IATTLA]2.0.CO;2
- Dicks, LV, Corbet, SA and Pywell, RF 2002. Compartmentalization in plantâ€insect flower visitor webs. *J. Anim. Ecol.* 71: 32â€43.
- Diniz I.R., Morais H.C. and Hay J.D. 2009. Caterpillars and host plants of a tropical savanna (cerrado) in central Brazil. <http://www.caterpillars.org>. Accessed: 25 jul 2018
- Dupont YL, Hansen DM and Olesen JM (2003) Structure of a plant-flower-visitor network in the high-altitude sub-alpine desert of Tenerife, Canary Islands. *Ecography* 26:301-310
- Dupont, Y. L. and Olesen, J. M. (2009). Ecological modules and roles of species in heathland plant-insect flower visitor networks. *J. Animal Ecology*, 78:346-353.
- Elberling, H., and J. M. Olesen. 1999. The structure of a high latitude plant-flower visitor system: the dominance of flies. *Ecography* 22:314-323.

- Henneicke K, Dawah H, Jervis M (1992) Taxonomy and biology of final-instar larvae of some eurytomidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) associated with grasses in the UK. *J Nat Hist* 26:1047–1087. doi: 10.1080/00222939200770621
- Henneman ML, Memmott J (2001) Infiltration of a Hawaiian community by introduced biological control agents. *Science* (80-) 293:1314–1316. doi: 10.1126/science.1060788
- Herrera, J. (1988). Pollination relationships in southern Spanish Mediterranean shrublands. *Journal of Ecology* 76: 274-287.
- Hocking, B. 1968. Insect-flower associations in the high Arctic with special reference to nectar. *Oikos* 19:359-388.
- Inoue et al 1990. Insect-flower Relationship in the Temperate Deciduous Forest of Kibune, Kyoto : An Overview of the Flowering Phenology and the Seasonal Pattern of Insect Visits.
- Inouye, D. W., and G. H. Pyke. 1988. Pollination biology in the Snowy Mountains of Australia: comparisons with montane Colorado, USA. *Australian Journal of Ecology* 13:191-210.
- Janzen DH (1980) Specificity of Seed-Attacking Beetles in a Costa Rican Deciduous Forest. *The Journal of Ecology* 68:929.
- Joern, A. 1979. Feeding patterns in grasshoppers (Orthoptera: Acrididae): factors influencing diet specialization. *Oecologia* 38: 325-347
- Kaiser-Bunbury CN, Mougil J, Whittington A, Valentin T, Gabriel R, Olesen JM, Blüthgen N. 2017. Ecosystem restoration strengthens pollination network resilience and function. *Nature*. DOI: 10.1038/nature21071a
- Kaiser-Bunbury CN, Vázquez DP, Stang M, Ghazoul J. 2014. Determinants of the microstructure of plant-pollinator networks. *Ecology*, 95: 3314-3324.
- Kaiser-Bunbury, C. N., S. Muff, J. Memmott, C. B. Müller, and A. Caflisch. 2010. The robustness of pollination networks to the loss of species and interactions: A quantitative approach incorporating pollinator behaviour. *Ecology Letters* 13:442-452.
- Kakutani, T., T. Inoue, M. Kato and H. Ichihashi (1990) Insect-flower relationship in the campus of Kyoto University, Kyoto: An overview of the flowering phenology and the seasonal pattern of insect visits. *Contribution from the Biological Laboratory, Kyoto University*, 27: 465-521.
- Kato & Miura (1996). Flowering phenology and anthophilous insect community at a threatened natural lowland marsh at Nakaikemi in Tsuruga, Japan. *Kyoto University*, Vol. 29: 1-48
- Kato et al. 1993. Flowering Phenology and Anthophilous Insect Community in the Cool-Temperate Subalpine Forests and Meadows at Mt. Kushigata in the Central Part of Japan. *Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University* 28: 119-172
- Kato M (2000). Anthophilous insect community and plant-pollinator interactions on Amami Islands in the Ryukyu Archipelago, Japan. *Contr Biol Lab Kyoto Univ* 29:157-252.
- Kato, M., T. Makutani, T. Inoue, and T. Itino. 1990. Insect-flower relationship in the primary beech forest of Ashu, Kyoto: an overview of the flowering phenology and seasonal pattern of insect visits. *Contr. Biol. Lab. Kyoto Univ.* 27:309-375.
- Kevan, P. G. 1970. High arctic insect-flower visitor relations: the inter-relationships of arthropods and flowers at Lake Hazen, Ellesmere Island, Northwest Territories, Canada. Ph.D. thesis, University of Alberta.
- Leather, S.R. 1991. Feeding specialisation and host distribution of British and Finnish *Prunus* feeding macrolepidoptera. *OIKOS* 60: 40-48.
- Lundgren R, Olesen JM (2005). The Dense and Highly Connected World of Greenland's Plants and Their Pollinators. *Arc Antarct Alp Res* 37:514-520.
- Medan, D., N. H. Montaldo, M. Devoto, A. Mantese, V. Vasellati, and N. H. Bartoloni. 2002. Plant-pollinator relationships at two altitudes in the Andes of Mendoza, Argentina. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 34:233-241.
- Memmott J, Godfray HCJ & Gauld ID (1994) The Structure of a Tropical Host-Parasitoid Community. *The Journal of Animal Ecology* 63:521.
- Memmott, J. 1999. The structure of a plant-pollinator food web. *Ecology Letters* 2:276-280.
- Mosquin, T., and J. E. H. Martin. 1967. Observations on the pollination biology of plants on Melville Island, N.W.T., Canada. *Canadian Field Naturalist* 81:201-205.
- Motten, A. F. 1982. Pollination Ecology of the Spring Wildflower Community in the Deciduous Forests of Piedmont North Carolina. Doctoral Dissertation thesis, Duke University, Durham, North Carolina, USA.
- Müller CB, Adriaanse ICT, Belshaw R & Godfray HCJ (1999) The structure of an aphid-parasitoid community. *Journal of Animal Ecology* 68:346–370.
- Nakagawa M, Itioka T, Momose K, Yumoto T, Komai F, Morimoto K, Jordal BH, Kato M, Kaling H, Hamid AA, Inoue T & Nakashizuka T (2003) Resource use of insect seed predators during general flowering and seeding events in a Bornean dipterocarp rain forest. *Bulletin of entomological research* 93:455–66.
- Olesen, J. M., L. I. Eskildsen, and S. Venkatasamy. 2002. Invasion of pollination networks on oceanic islands: importance of invader complexes and endemic super generalists. *Diversity and Distributions* 8:181-192.
- Ollerton, J., S. D. Johnson, L. Cranmer, and S. Kellie. 2003. The pollination ecology of an assemblage of grassland asclepiads in South Africa. *Annals of Botany* 92:807-834.
- Pearse IS, Altermatt F (2013) Predicting novel trophic interactions in a non-native world. *Ecol Lett* 16:1088–1094. doi: 10.1111/ele.12143
- Percival, M. (1974). Floral Ecology of Coastal Scrub in Southeast Jamaica. *Biotropica*, 6, 104-129.
- Petanidou, T. (1991). Pollination ecology in a phryganic ecosystem. Unp. PhD. Thesis, Aristotelian University, Thessaloniki. / Petanidou T, Vokou D (1993) Pollination Ecology of Labiatae in a Phryganic (East Mediterranean) Ecosystem. *Am J Bot* 80:892–899

- Philipp, M., Böcher, J., Siegismund, H. R. and Nielsen, L. R. 2006. Structure of a plant-pollinator network on a pahoehoe lava desert of the Galápagos Islands. *Ecography* 29: 531-540.
- Pocock MJO, Evans DM, Memmott J (2012) The robustness and restoration of a network of ecological networks. *Science* (80-) 335:973–977. doi: 10.1126/science.1214915
- Prado PI, Lewinsohn TM (2004) Compartments in insect – plant associations and their consequences for community structure. *Plateau* 1168–1178. doi: 10.1111/j.0021-8790.2004.00891.x
- Primack, R.B. (1983). Insect pollination in the New Zealand mountain flora. *New Zealand J. Bot.* 21, 317-333. AP.
- Ramirez, N. (1989). Biología de polinización en una comunidad arbustiva tropical de la alta Guyana Venezolana. *Biotropica* 21, 319-330.
- Ramirez, N., and Y. Brito. 1992. Pollination Biology in a Palm Swamp Community in the Venezuelan Central Plains. *Botanical Journal of the Linnean Society* 110:277-302.
- Robertson, C. 1929. Flowers and insects: lists of visitors to four hundred and fifty-three flowers. Carlinville, IL, USA, C. Robertson.
- Santos, G. M M, C. M. L. Aguiar & M. A. R. Mello (2010) Flower-visiting guild associated with the Caatinga flora: trophic interaction networks formed by social bees and social wasps with plants. *Apidologie* 41: 466-475.
- Schemske, D. W., M. F. Willson, M. N. Melampy, L. J. Miller, L. Verner, K. M. Schemske, and L. B. Best. 1978. Flowering Ecology of Some Spring Woodland Herbs. *Ecology* 59:351-366.
- Small, E. 1976. Insect pollinators of the Mer Bleue peat bog of Ottawa. *Canadian Field Naturalist* 90:22-28.
- Smith-Ramírez C., P. Martínez, M. Nuñez, C. González and J. J. Armesto (2005) Diversity, flower visitation frequency and generalism of pollinators in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2005, 147, 399-416.
- Starý P, Havelka J (2008) Fauna and associations of aphid parasitoids in an up-dated farmland area (Czech Republic). *Bull Insectology* 61:251–276
- Tscharntke T, Vidal S, Hawkins BA (2001) Parasitoids of grass-feeding chalcid wasps: A comparison of German and British communities. *Oecologia* 129:445–451. doi: 10.1007/s004420100733
- Varassin I.G. & Sazima M. (2012) Spatial heterogeneity and the distribution of bromeliad pollinators in the Atlantic Forest. *Acta Oecologica*, 43: 104-112.
- Vázquez, D. P. 2002. Interactions among Introduced Ungulates, Plants, and Pollinators: A Field Study in the Temperate Forest of the Southern Andes. Ph.D. Dissertation. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Tennessee, Knoxville.
- Vázquez, D. P., and D. Simberloff. 2002. Ecological specialization and susceptibility to disturbance: conjectures and refutations. *American Naturalist* 159:606-623.
- Yamazaki, K. & Kato, M. 2003. Flowering phenology and anthophilous insect community in a grassland ecosystem at Mt. Yufu, Western Japan. *Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University* 29: 255-318.

Apêndice 2

Material suplementar do artigo da *Ecological Entomology*.

Support information 1 – Figures S1 – S19

Manuscript: Do bipartite binary antagonistic and mutualistic networks have different responses to the taxonomic resolution of nodes?

Figure S1 – Number of nodes of each mutualistic network from source networks, from the original networks (source network after a removal of nodes by our criteria) and for each taxonomic aggregation type.

Figure S2 – Number of nodes of each antagonistic network from source networks, from the original networks (source network after a removal of nodes by our criteria) and for each taxonomic aggregation type.

Figure S3 – Adjusted R-square of regression of metrics from the original networks by taxonomic aggregation and from species×species networks by taxonomic aggregation

Figure S4 – Example of grouping the nodes by genus (example data from Bezerra et al 20091)

Figure S5 – The difference (delta) of each resulting taxonomic aggregation, randomly paired and Patefield's model networks

Figure S6 – Network metrics Spearman's correlation of mutualistic networks

Figure S7 – Network metrics Spearman's correlation of antagonistic networks

Figure S8 – Barplot of number of species per genus, family and order in antagonistics networks (up to 25th example of each taxonomic level)

Figure S9 – Barplot of number of species per genus, family and order in mutualistics networks (up to 25th example of each taxonomic level)

Figure S10 – Boxplot of global network metrics

Figure S11 – Boxplot of level network metrics

Figure S12 – Regression plot of the metrics: Connectance, modularity and NODF

Figure S13 – Regression plot of antagonistic webs global metrics

Figure S14 – Regression plot of antagonistic webs level metrics

Figure S15 – Regression plot of mutualistic webs global metrics

Figure S16 – Regression plot of mutualistic webs level metrics

Figure S17 – Boxplot of connectance, NODF and modularity network metrics

Figure S18 – Regression of principal component 1 of three tested metrics of the original networks through the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired model

Figure S19 – Regression of principal component 1 of all tested metrics of the original networks through the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired model

Figure S1 – Number of nodes of each mutualistic network from source networks, from the original networks (source network after a removal of nodes by our criteria) and for each taxonomic aggregation type.

Citation ¹	Insects X Plants																	
	Source	% of reduction	Original															
				sp x sp	sp x ge	ge x sp	ge x ge	sp x fa	fa x sp	ge x fa	fa x ge	fa x fa	sp x or	or x sp	ge x or	or x ge	fa x or	or x fa
Kaiser-Bunbury et al. (2017)	153	81	29	29	29	28	28	27	25	26	25	23	27	13	26	13	23	11
Arroyo et al. (1982)	185	23	143	143	127	115	99	104	82	76	66	43	95	70	67	54	34	31
Barrett and Helgum (1987)	114	3	111	111	111	72	72	109	41	70	41	39	106	18	67	18	36	16
Clements and Long (1923)	371	6	350	347	326	230	209	288	139	171	118	80	273	99	156	78	65	40
Dicks, Corbet and Pywell (2002)	78	6	73	73	70	59	56	62	38	48	35	27	61	21	47	18	26	10
Dupont et al. (2003)	49	6	46	46	46	44	44	43	30	41	30	27	42	14	40	14	26	11
Elberling and Olesen (1999)	142	15	121	120	117	77	74	112	51	69	48	43	107	28	64	25	38	20
Olesen et al. (2002)	27	26	20	20	20	20	20	19	19	19	19	18	17	17	17	17	16	14
Ollerton et al. (2003)	65	63	24	24	21	23	20	16	21	15	18	13	16	14	15	11	13	6
Hocking (1968)	110	20	88	88	79	68	59	72	49	52	40	33	71	31	51	22	32	15
Petanidou (1991) / Petanidou & Vokori	797	5	761	756	737	411	392	666	211	321	192	121	648	137	303	118	103	47
Herrera (1988)	205	10	184	184	179	133	128	173	63	122	58	52	171	30	120	25	50	19
Mommott (1999)	104	41	61	60	59	50	49	46	34	36	33	20	45	28	35	27	19	14
Inouye and Pyke (1988)	125	11	111	111	106	79	74	89	62	57	57	40	84	42	52	37	35	20
Kevan (1970)	111	21	88	88	85	69	66	79	46	60	43	37	77	24	58	21	35	15
Kato et al. (1990)	768	54	357	356	334	260	238	309	147	213	125	100	294	92	198	70	85	45
Medan et al. (2002)	66	32	45	45	44	37	36	42	31	34	30	28	41	19	33	18	27	16
Medan et al. (2002)	95	37	60	60	59	54	53	53	37	47	36	30	50	25	44	24	27	18
Mosquin and Martin (1967)	29	3	28	28	28	20	20	23	18	15	18	13	22	14	14	14	12	9
Motten (1982)	57	9	52	52	52	30	30	51	22	29	22	21	46	16	24	16	16	15
Primack (1983)	78	17	65	65	62	50	47	55	32	40	29	22	53	21	38	18	20	11
Primack (1983)	180	16	152	151	143	101	93	130	60	80	52	39	125	42	75	34	34	21
Primack (1983)	167	11	148	147	132	108	93	115	71	76	56	39	110	52	71	37	34	20
Ramírez and Brito (1992)	81	11	72	72	69	65	62	62	41	55	38	31	56	29	49	26	25	19
Ramírez (1989)	97	16	81	81	79	72	70	61	56	52	54	36	49	47	40	45	24	27
Schemske et al. (1978)	40	3	39	39	38	25	24	37	11	23	10	9	36	9	22	8	8	7
Small (1976)	47	2	46	46	45	35	34	39	25	28	24	18	38	17	27	16	17	10
Smith-Ramírez et al. 2005	154	41	91	91	84	71	64	76	50	56	43	35	74	31	54	24	33	16
Percival (1974)	97	36	62	62	59	60	57	42	48	40	45	28	37	41	35	38	23	21
Philipp et al. (2006)	18	11	16	16	16	16	16	12	16	12	16	12	11	16	11	16	11	12
Kato (2000)	719	42	417	415	403	350	338	370	204	305	192	159	345	114	280	102	134	69
Lundgren and Olesen (2005)	43	35	28	28	27	25	24	24	21	21	20	17	23	16	20	15	16	12
Dupont and Olesen (2009)	266	12	235	235	229	156	150	216	80	137	74	61	214	35	135	29	59	16
Vázquez (2002)	104	52	50	50	49	37	36	49	26	36	25	25	48	16	35	15	24	15
Yamazaki and Kato (2003)	393	20	313	313	295	238	220	259	164	184	146	110	239	107	164	89	90	53
Kakutani et al. (1990)	431	36	275	272	252	213	193	212	153	153	133	93	188	114	129	94	69	54
Kato and Miura (1996)	259	13	226	219	211	174	166	190	119	145	111	90	177	72	132	64	77	43
Kato et al. (1993)	456	37	288	282	267	200	185	226	141	144	126	85	215	95	133	80	74	39
Inoue et al. (1990)	997	54	455	438	414	315	291	372	181	249	157	115	351	117	228	93	94	51
Bartomeus et al. (2008)	113	33	76	76	74	67	65	63	53	54	51	40	58	34	49	32	35	21
Bezerra et al. (2009)	26	0	26	26	21	17	12	14	14	5	9	2	14	14	5	9	2	2
Kaiser-Bunbury et al. (2010)	51	12	45	45	45	43	43	40	36	38	36	31	38	18	36	18	29	13
Kaiser-Bunbury et al. (2014)	18	44	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	7	10	7
Robertson (1929)	1500	3	1451	1434	1266	1046	878	1070	581	682	413	217	1021	454	633	286	168	90
Santos et al. (2010)	77	8	71	69	66	58	55	50	48	39	45	29	39	46	28	43	18	27
Varassin & Sazima (2012)	45	38	28	28	21	23	16	14	19	9	12	5	14	17	9	10	5	3
Vázquez & Simberloff (2002)	29	14	25	25	25	22	22	25	16	22	16	16	25	9	22	9	16	9

¹See the supplementary material Table S1 for the references of each file.

Figure S2 – Number of nodes of each antagonistic network from source networks, from the original networks (source network after a removal of nodes by our criteria) and for each taxonomic aggregation type.

Citation ¹	Insects X Plants																			
	Source	% of reduction	Original	sp X sp	sp X ge	ge X sp	ge X ge	sp X fa	fa X sp	ge X fa	fa X ge	fa X fa	sp X or	or X sp	ge X or	or X ge	fa X or	or X fa	or X or	
Joem (1979)	74	23	57	57	52	53	48	35	36	31	31	14	32	36	28	31	11	14	11	
Joem (1979)	78	23	60	60	56	57	53	39	38	36	34	17	35	38	32	34	13	17	13	
Leather (1991)	94	1	93	93	88	76	71	88	20	71	15	15	88	7	71	2	15	2	2	
Leather (1991)	69	3	67	67	63	56	52	63	16	52	12	12	63	6	52	2	12	2	2	
Almeida (2001)	47	32	32	31	25	27	21	14	23	10	17	6	14	20	10	14	6	3	3	
Almeida (2001)	55	29	39	37	27	30	20	16	26	9	16	5	16	24	9	14	5	3	3	
Almeida (2001)	32	34	21	20	17	17	14	11	14	8	11	5	11	12	8	9	5	3	3	
Almeida (2001)	46	35	30	28	23	22	17	15	18	9	13	5	15	16	9	11	5	3	3	
Basset & Samuelson (1996)	56	2	55	55	55	27	27	55	11	27	11	11	54	11	26	11	10	11	10	
Bluthgen et al (2006)	50	22	39	39	36	37	34	28	35	26	32	24	20	32	18	29	16	21	13	
Bodner (2010)	104	21	82	82	73	64	55	65	37	47	28	20	59	37	41	28	14	20	14	
Coley et al. (2006)	87	46	47	47	44	46	43	40	35	39	32	28	37	24	36	21	25	17	14	
Cuevas-Reyes et al (2007)	58	69	18	18	17	16	15	16	13	14	12	11	16	12	14	11	11	10	10	
Henneicke et al. (1992)	27	0	27	27	27	12	12	18	11	3	11	2	18	11	3	11	2	2	2	
Diniz et al. (2009)	25	0	25	25	23	18	16	22	14	15	12	11	22	10	15	8	11	7	7	
Henneman & Memmott (2001)	81	47	43	43	40	38	35	38	33	33	30	28	34	25	29	22	24	20	16	
Janzen (1980)	205	4	196	196	159	115	78	120	97	39	60	21	115	94	34	57	16	18	13	
Memmott et al (1994)	146	68	46	46	45	32	31	37	25	23	24	16	35	20	21	19	14	11	9	
Müller et al (1999)	51	4	49	49	43	40	34	34	27	25	21	12	33	26	24	20	11	11	10	
Nakagawa et al. (2003)	52	10	47	47	37	34	24	35	21	22	11	9	35	15	22	5	9	3	3	
Pearse & Altematt (2013)	1659	4	1588	1584	1248	1160	824	945	749	521	413	110	894	723	470	387	59	84	33	
Pocock et al. (2012)	58	5	55	55	53	50	48	44	30	39	28	19	40	29	35	27	15	18	14	
Pocock et al. (2012)	25	0	25	25	23	18	16	22	14	15	12	11	22	10	15	8	11	7	7	
Prado & Lewinsohn (2004)	116	4	111	111	50	83	22	34	79	6	18	2	34	79	6	18	2	2	2	
Stary & Havelka (2008)	193	12	169	169	156	139	126	111	89	81	76	31	101	89	71	76	21	31	21	
Tscharntke et al. (2001)	26	0	26	26	25	12	11	17	11	3	10	2	17	11	3	10	2	2	2	

¹ See the supplementary material Table S2 for the references of each file.

Figure S3 – Adjusted R-square of regression of metrics from the original networks by taxonomic aggregation and from species×species networks by taxonomic aggregation

Adjusted R-square (r^2) with $p < 0.05$ for each grouping type (with blocks of the same animals grouping type) for the metrics: Connectance, NODF and modularity. Two letters represent “grouped by”, where *sp* is species, *ge* is genus, *fa* is family and *or* is order. We had a model fit higher than 0.7 (dashed line) for at least one metric only when the insects were grouped by species and genus. Original networks were the source networks without nodes that did not follow the criteria: 1) when it did not have correspondence in the databases used in the “gnr_resolve” function; 2) when it represented a classification higher than species; and 3) when it did not belong to our focal organisms in plant-insect interaction, namely insects (class Insecta) and flowering plants (classes Magnoliopsida and Liliopsida). Species-species networks were networks in which nodes of the same species were aggregated (e.g. nodes with different sex, subgenus or subspecies). Note: The maximum adjusted r^2 for the three metrics represents the relation of species-species networks with itself (highlighted with a red rectangle).

Figure S4 – Example of grouping the nodes by genus (example data from Bezerra *et al.* 2009¹)

¹ Bezerra, E. L. S., I. C. Machado & M. A. R. Mello (2009). Pollination networks of oil-flowers: a tiny world within the smallest of all worlds. *Journal of Animal Ecology* 78: 1096-1101.

Figure S5 – The difference (*delta*) of each resulting taxonomic aggregation, randomly paired and Patefield's model networks

The difference (*delta*) of each resulting taxonomic aggregation, randomly paired and Patefield's model networks with original networks according to the metrics of connectance, NODF and modularity. The bars are the mean delta and the lines are the standard deviation.

Figure S6.1 – Network metrics Spearman's correlation of mutualistic networks

Spearman's correlation coefficient from tested metrics (A) and the scatterplot of the three metrics of interest (connectance, NODF and modularity) (B). Values in red have a correlation below 70%. The connectance and NODF are the global metric with more correlations above 70% with other metrics (black values). *HL* is high-level in the bipartite network (insects) and *LL* is low-level (plants).

Figure S6.2 – Network metrics Spearman's correlation of mutualistic networks

Spearman's correlation coefficient from tested metrics, one metric against all other metrics through the distinct forms the networks are represented (original + 16 taxonomic resolutions). Values between the dashed lines have correlation below to 70%. HL is high-level in the bipartite network (insects) and LL is low-level (plants). Ori is original network. The abbreviation *sp*, *ge*, *fa* and *or* represent the taxonomic level of species, genus, family and order, respectively. In each combination of taxonomic level, the insect appeared before the plant (e.g. *sp x ge* represents insect species by plant genus).

Figure S7.1 – Network metrics Spearman's correlation of antagonistic networks

Spearman's correlation coefficient from tested metrics (A) and the scatterplot of the three metrics of interest (connectance, NODF and modularity) (B). Values in red have a correlation below 70%. The connectance and NODF are the global metric with more correlations above 70% with other metrics (black values). *HL* is high-level in the bipartite network (insects) and *LL* is low-level (plants).

Figure S7.2 – Network metrics Spearman's correlation of antagonistic networks

Spearman's correlation coefficient from tested metrics, one metric against all other metrics through the distinct forms the networks are represented (original + 16 taxonomic resolutions). Values between the dashed lines have correlation below to 70%. HL is high-level in the bipartite network (insects) and LL is low-level (plants). Ori is original networks. The abbreviation *sp*, *ge*, *fa* and *or* represent the taxonomic level of species, genus, family and order, respectively. In each combination of taxonomic level, the insect appeared before the plant (e.g. *sp* × *ge* represents insect species by plant genus).

Figure S8 – Barplot of number of species per genus, family and order in antagonistics networks (up to the 25th example of each taxonomic level)

Figure S9 – Barplot of number of species per genus, family and order in mutualistics networks (up to the 25th example of each taxonomic level)

Figure S10 – Boxplot of global network metrics

Boxplot of the global metrics links per node, nestedness, web asymmetry, number of modules (by modularity) and number of compartments (by Lewinsohn and Prado, 2006¹). Each plot represent the metrics values of the original data with the taxonomic aggregation (*Taxonomic* column), Patefield's models (*Patefield* column) or randomly-paired networks (*Random-pairs* column) for the four aggregated types: insect species by plant species (*spXsp*), insect species by plant genus (*spXge*), insect genus by plant species (*geXsp*) and insect genus by plant genus (*geXge*). Black boxes are the original data (*Or*). Dark gray boxes are the groups significant related to the original data ($p < 0.05$) and with adjusted r^2 greater than 0.7. Light gray boxes are the groups only significant related to the original data ($p < 0.05$), but with adjusted r^2 lower than 0.7. White boxes did not have significantly relation with the original data ($p > 0.05$).

Figure S11 – Boxplot of level network metrics

Boxplot of the level metrics niche overlap and robustness. HL is high-level in the bipartite network (insects) and LL is low-level (plants). Each plot represent the metrics values of the original data with the taxonomic aggregation (*Taxonomic* column), Patefield's models (*Patefield* column) or randomly-paired networks (*Random-pairs* column) for the four aggregated types: insect species by plant species (*spXsp*), insect species by plant genus (*spXge*), insect genus by plant species (*geXsp*) and insect genus by plant genus (*geXge*). Black boxes are the original data (*Ori*). Dark gray boxes are the groups significant related to the original data ($p < 0.05$) and with adjusted r^2 greater than 0.7. Light gray boxes are the groups only significant related to the original data ($p < 0.05$), but with adjusted r^2 lower than 0.7. White boxes did not have significantly relation with the original data ($p > 0.05$).

Figure S12 – Regression plot of the metrics: Connectance, modularity and NODF

Regression of the metrics connectance, modularity and NODF of each taxonomically grouped network and the original one. The metric values of the original data (y-axis) as a function of the metrics by grouping data (x-axis). The animals taxonomic grouping type are in each plot column and the plant taxonomic grouping are represented by different line colors. Each dot represents each network grouped in a different way to group animals (each plot column) and plants, grouped by species ($\square$), genus (Δ), family ($+$) and order ($\times$). The black dashed lines represent the original values ($y = x$). Note that when we grouped plants in family or order the connectance can reach 1 (the plant nodes became one node).

Figure S13 – Regression plot of antagonistic webs global metrics

Regression of the global metrics nestedness, number of modules (by modularity), number of compartments (by Lewinsohn and Prado, 2006¹), links per node and web asymmetry of each taxonomically grouped network and the original one. The metric values of the original data (y-axis) as a function of the metrics by grouping data (x-axis). The animals taxonomic grouping type are in each plot column and the plant taxonomic grouping are represented by different line colors. Each dot represents each network grouped in a different way to group animals (each plot column) and plants, grouped by species (○), genus (Δ), family (+) and order (x). The black dashed lines represent the original values ($y = x$).

¹ Lewinsohn, T. M., Inácio Prado, P., Jordano, P., Bascompte, J., & M. Olesen, J. (2006). Structure in plant–animal interaction assemblages. *Oikos*, 113(1), 174-184.

Figure S14 – Regression plot of antagonistic webs level metrics

Regression of the level metrics niche overlap and robustness of each taxonomically grouped network and the original one. HL is high-level in the bipartite network (insects) and LL is low-level (plants). The metric values of the original data (y-axis) as a function of the metrics by grouping data (x-axis). The animals taxonomic grouping type are in each plot column and the plant taxonomic grouping are represented by different line colors. Each dot represents each network grouped in a different way to group animals (each plot column) and plants, grouped by species ($\square$), genus ($\triangle$), family ($+$) and order ($\times$). The black dashed lines represent the original values ($y = x$). Note that when we grouped plants in family or order the niche overlap can reaches (the plant nodes became one node).

Figure S15 – Regression plot of mutualistic webs global metrics

Regression of the global metrics nestedness, number of modules (by modularity), number of compartments (by Lewinsohn and Prado, 2006¹), links per node and web asymmetry of each taxonomically grouped network and the original one. The metric values of the original data (y-axis) as a function of the metrics by grouping data (x-axis). The animals taxonomic grouping type are in each plot column and the plant taxonomic grouping are represented by different line colors. Each dot represents each network grouped in a different way to group animals (each plot column) and plants, grouped by species (○), genus (Δ), family (+) and order (x). The black dashed lines represent the original values ($y = x$).

¹ Lewinsohn, T. M., Inácio Prado, P., Jordano, P., Bascompte, J., & M. Olesen, J. (2006). Structure in plant–animal interaction assemblages. *Oikos*, 113(1), 174-184.

Figure S16 – Regression plot of mutualistic webs level metrics

Regression of the level metrics niche overlap and robustness of each taxonomically grouped network and the original one. HL is high-level in the bipartite network (insects) and LL is low-level (plants). The metric values of the original data (y-axis) as a function of the metrics by grouping data (x-axis). The animals taxonomic grouping type are in each plot column and the plant taxonomic grouping are represented by different line colors. Each dot represents each network grouped in a different way to group animals (each plot column) and plants, grouped by species ($\square$), genus (Δ), family ($+$) and order ($\times$). The black dashed lines represent the original values ($y = x$). Note that when we grouped plants in family or order the niche overlap can reach 1 (the plant nodes became one node).

Figure S17 – Boxplot of connectance, NODF and modularity network metrics

Boxplot of the global metrics connectance, NODF and modularity. Each plot represent the metrics values of original data with the taxonomic aggregation (*Taxonomic* column), Patefield's models (*Patefield* column) or randomly-paired networks (*Random-pairs* column) for the four aggregated types: insect species by plant species (*spXsp*), insect species by plant genus (*spXge*), insect genus by plant species (*geXsp*) and insect genus by plant genus (*geXge*). Black boxes are the original data (*Ori*). Dark gray boxes are the groups significant related to the original data ($p < 0.05$) and with adjusted r^2 greater than 0.7. Light gray boxes are the groups only significantly related to the original data ($p < 0.05$), but with adjusted r^2 lower than 0.7. White boxes did not have significantly relation with the original data ($p > 0.05$).

Figure S18 – Regression of principal component 1 of three tested metrics of the original networks through the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired model

Regression of principal component 1 (PC1) of original networks by the PC1 of the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired with the different type of nodes aggregation, for each network type and with the tested metrics: connectance, NODF and modularity. We also added the number of nodes to the principal component analysis, because the number of nodes are strongly related to the metric values. The number at the bottom right of each plot is the adjusted r^2 . All regressions were significantly related to the PC1 of the original data ($p < 0.05$). The percentage in the axis label represents how much the PC1 explained the variation of the data set.

Figure S19 – Regression of principal component 1 of all metrics of the original networks through the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired model

Regression of principal component 1 (PC1) of all tested metric of original networks by the PC1 of all tested metric of the taxonomic aggregation, Patefield's model or randomly-paired with the different type of nodes aggregation and for each network type. The tested metrics were: connectance, NODF, modularity, links per node, nestedness, web asymmetry, number of modules, robustness at high level (insects), robustness at low level (plants), niche overlap at high level (insects), niche overlap at low level (plants). We also added the number of nodes to the principal component analysis, because the number of nodes are strongly related to the metric values. The number at the bottom right of each plot is the adjusted r^2 . All regressions were significantly related to the PC1 of the original data ($p < 0.05$). The percentage in the axis label represents how much the PC1 explained the variation of the data set.

Apêndice 3

Mapa com os pontos de coleta e o contexto de 5 km. Região nordeste do estado de São Paulo, próxima à capital do estado, abrangendo os municípios de Atibaia, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Franco da Rocha, Igaratá, Jarinu, Joanópolis, Mairiporã, Nazaré Paulista, Piracaia e Santa Isabel, na região noroeste do estado de São Paulo. Os limites administrativos foram extraídos da base de dados do IBGE¹ e a imagem de satélite do Google Earth Pro².

¹IBGE. (2015) Mapas temáticos [WWW Document]. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. URL <http://mapas.ibge.gov.br/> [accessed on 2015].

²GOOGLE. (2019) Google Earth Pro.

Apêndice 4

Metodologia de coleta dos dados em cada ponto. Dados de interação: A coleta dos dados de interação foi realizada com redes entomológicas, em hexágonos de 25 m de lado, um localizado a 50 metros da borda de um fragmento de floresta e outro na área de pastagem adjacente ao mesmo fragmento de floresta. Dados de estrutura: Coletamos métricas da estrutura do fragmento a partir de três transectos de 2 m de largura e 50 m de comprimento. Cada transecto representa uma faixa de 2 m de largura por 50 m de comprimento, sobre as três diagonais mais longas do hexágono de coleta (cada transecto estava em um *buffer* de 1 m dessas diagonais).

Apêndice 5

Tabela com as classificações taxonômicas das espécies de abelhas trabalhadas (pacote “taxise” do R).

Family	Subfamily	Tribe	Genus	Species
Andrenidae	Oxaeinae		Oxaea	<i>Oxaea flavescens</i>
	Panurginae	Protandrenini	Anthrenoides	<i>Anthrenoides</i> sp.
			Psaenythia	<i>Psaenythia quinquefasciata</i>
				<i>Psaenythia</i> sp.
			Rhophitulus	<i>Rhophitulus</i> sp.
Apidae	Apinae	Apini	Apis	<i>Apis mellifera</i>
		Bombini	Bombus	<i>Bombus brasiliensis</i>
				<i>Bombus morio</i>
				<i>Bombus pauloensis</i>
		Centridini	Centris	<i>Centris nitens</i>
			Epicharis	<i>Epicharis flava</i>
		Emphorini	Melitoma	<i>Melitoma segmentaria</i>
			Ptilothrix	<i>Ptilothrix plumata</i>
		Eucerini	Melissodes	<i>Melissodes (Eclectica) nigroaenea</i>
				<i>Melissodes</i> sp.
			Melissoptila	<i>Melissoptila buzzi</i>
				<i>Melissoptila pubescens</i>
				<i>Melissoptila</i> sp.
			Thygater	<i>Thygater analis</i>
				<i>Thygater palliventris</i>
		Euglossini	Eufriesea	<i>Eufriesea violacea</i>
			Euglossa	<i>Euglossa townsendi</i>
		Exomalopsini	Exomalopsis	<i>Exomalopsis analis</i>
				<i>Exomalopsis auropilosa</i>
				<i>Exomalopsis</i> sp.
		Meliponini	Cephalotrigona	<i>Cephalotrigona capitata</i>
			Friesella	<i>Friesella schrottkyi</i>
			Geotrigona	<i>Geotrigona subterranea</i>
			Nannotrigona	<i>Nannotrigona testaceicornis</i>
			Paratrigona	<i>Paratrigona aff. subnuda</i>
			Plebeia	<i>Plebeia aff. droryana</i>
				<i>Plebeia droryana</i>
				<i>Plebeia phrynostoma</i>
				<i>Plebeia remota</i>
				<i>Plebeia saiqui</i>
				<i>Plebeia</i> sp.
			Scaptotrigona	<i>Scaptotrigona tubiba</i>
				<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>
			Schwarziana	<i>Schwarziana quadripunctata</i>
			Tetragona	<i>Tetragona clavipes</i>
				<i>Tetragona</i> sp.
			Tetragonisca	<i>Tetragonisca angustula</i>
			Trigona	<i>Trigona aff. fuscipennis</i>
				<i>Trigona braueri</i>
				<i>Trigona hyalinata</i>
				<i>Trigona spinipes</i>
		Tapinotaspidini	Arhysoceble	<i>Arhysoceble</i> sp.
			Paratetrapedia	<i>Paratetrapedia</i> sp.
			Tapinotaspoides	<i>Tapinotaspoides</i> sp.

Continua.

Family	Subfamily	Tribe	Genus	Species
Apidae	Apinae	Tetrapediini	Tetrapedia	<i>Tetrapedia</i> sp.
	Meliponinae	Meliponini	Melipona	<i>Melipona anthidioides</i>
				<i>Melipona marginata</i>
				<i>Melipona marginata carioca</i>
	Nomadinae	Brachynomadini	Brachynomada	<i>Brachynomada</i> sp.
		Epeolini	Thalestria	<i>Thalestria spinosa</i>
	Xylocopinae	Ceratinini	Ceratina	<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.
		Xylocopini	Xylocopa	<i>Ceratina (Crewella)</i> sp.
				<i>Xylocopa artifex</i>
				<i>Xylocopa brasiliatorum</i>
Colletidae	Colletinae	Colletini	Colletes	<i>Colletes</i> sp.
		Paracolletini	Eulonchopria	<i>Eulonchopria</i> sp.
			Nomiocolletes	<i>Nomiocolletes</i> sp.
			Perditomorpha	<i>Perditomorpha</i> sp.
	Diphaglossinae	Caupolicanini	Ptiloglossa	<i>Ptiloglossa</i> sp.
	Hylaeinae		Hylaeus	<i>Hylaeus</i> sp.
	Xeromelissinae		Chilicola	<i>Chilicola</i> sp.
Halictidae	Halictinae	Augochlorini	Augochlora	<i>Augochlora</i> sp.
			Augochlorella	<i>Augochlorella</i> sp.
			Augochloropsis	<i>Augochloropsis cupreola</i>
				<i>Augochloropsis</i> sp.
			Neocorynura	<i>Neocorynura aff. dilutipes</i>
			Neocorynura	<i>Neocorynura</i> sp.
			Pseudaugochlora	<i>Pseudaugochlora</i> sp.
			Rhinocorynura	<i>Rhinocorynura</i> sp.
			Thectochlora	<i>Thectochlora alaris</i>
		Halictini	Dialictus	<i>Dialictus opacus</i>
Megachilidae	Anthidiinae	Anthidiini	Dicranthidium	<i>Dicranthidium aff. arenarium</i>
			Larocanthidium	<i>Larocanthidium</i> sp.
		Dianthidiini	Ananthidium	<i>Ananthidium</i> sp.
	Megachilinae	Anthidiini	Anthidium	<i>Anthidium aff. hallinani</i>
			Austrostelis	<i>Austrostelis iheringi</i>
			Epanthidium	<i>Epanthidium autumnale</i>
				<i>Epanthidium tigrinum</i>
			Hypanthidium	<i>Hypanthidium divaricatum</i>
		Megachilini	Megachile	<i>Megachile (Acentron)</i> sp.
				<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp.
				<i>Megachile (Dactylomegachile)</i> sp.
				<i>Megachile (Holcomegachile)</i> sp.
				<i>Megachile (Leptorachina)</i> sp.
				<i>Megachile (Leptorahis)</i> sp.
				<i>Megachile (Moureapis)</i> sp.
				<i>Megachile (Pseudocentron)</i> sp.
				<i>Megachile</i> sp.

Conclusão.

Apêndice 6

Tabela com as referências utilizadas para o preenchimento da tabela das características. No cabeçalho as colunas abreviadas por uma letra se referem: S: Socialidade, T: Tamanho do corpo, B: Comprimento do aparato bucal, N: Recursos para nidificação, L: Tipo de local para nidificação, R: Recurso buscado, P: Estrutura de coleta de pólen, C: Cleptoparasitismo, V: Polinização por vibração, D: Corpo coberto por cerdas.

Citação	Grupo	S	T	B	N	L	R	P	C	V	D
Michener 2007	All genus										
Michener 1974	All tribes										
Nogueira-Neto 1997	Apidae										
Cardinal 2010	Apidae										
Camargo et al. 1983	Oxaea flavescens										
Silveira et al. 2002	Oxaea										
Engel 2015	Oxaea										
Sabino, 2017	Anthrenoides										
Gegensatz 1837	Psaenythia										
Schrottky 1902	Psaenythia										
Henríquez-Piskulich et al. 2018	Rhophitulus										
Rozen 2014	Rhophitulus										
Ferreira et al. 2015	Apis mellifera										
Lima & Rocha 2012	Apis mellifera										
Santos 2013	Apis mellifera										
Malerbo-Souza & Silva 2011	Apis mellifera										
Kleinert et al. 2009	Apini										
	Bombus										
Laroca 1972	brasiliensis										
	Bombus										
Bustamante 2017	brasiliensis										
Françoso, 2011	Bombus morio										
Laroca 1976	Bombus morio										
Silva et al. 2014	Bombus morio										
Bustamante 2017	Bombus morio										
	Bombus										
Françoso, 2011	pauloensis										
	Bombus										
Silva et al. 2014	pauloensis										
Ferreira et al. 2015	Bombus										
Françoso, 2011	Bombus										
Hagen, 2011	Bombus										
Brunet et al. 2019	Bombus										
Kleinert et al. 2009	Bombini										
Oliveira et al. 2015	Centris nitens										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Centris										
Sabino, 2017	Centris										
Aguiar & Garófalo 2004	Centris										
Gaglianone et al. 2011	Centris										
Oliveira et al. 2015	Epicharis flava										
Silva et al. 2014	Epicharis flava										
Ferreira et al. 2015	Epicharis										
Gaglianone 2005	Epicharis										
Gaglianone et al. 2011	Epicharis										

Continua.

Citação	Grupo	S	T	B	N	L	R	P	C	V	D
Schindwein, Pick & Martins 2009	Ptilothrix plumata										
Nunes-Silva et al. 2010	Eufriesea violacea										
Silveira, Melo & Almeida 2002	Eufriesea violacea										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Eufriesea										
Ferreira et al. 2015	Eufriesea										
Silveira, Melo & Almeida 2002	Eufriesea										
	Euglossa										
Augusto & Garófalo 2004	townsendi										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Euglossa										
Ferreira et al. 2015	Euglossa										
Silveira, Melo & Almeida 2002	Euglossa										
Augusto & Garófalo 2009	Euglossa										
Rabelo 2016	Exomalopsis										
Imperatriz-Fonseca & Nogueira-Neto	Cephalotrigona capitata										
Teixeira & Campos 2005	Friesella schrottkyi										
	Geotrigona										
Barbosa et al 2013	subterranea										
Ferreira et al. 2015	Plebeia										
	Scaptotrigona										
Silveira, Melo & Almeida 2002	tubiba										
Lima & Rocha 2012	Scaptotrigona										
Imperatriz-Fonseca & Nogueira-Neto	Tetragona clavipes										
Siqueira et al. 2012	Tetragona clavipes										
	Tetragonisca										
Cortopassi-Laurino, 2005	angustula										
	Tetragonisca										
Kaehler 2017	angustula										
	Tetragonisca										
Nanzer 2017	angustula										
	Tetragonisca										
Siqueira et al. 2012	angustula										
Ferreira et al. 2015	Trigona										
Silveira, Melo & Almeida 2002	Trigona										
Kleinert et al. 2009	Meliponini										
Araújo et al. 2004	Meliponini										
Aguiar & Melo 2009	Arhysoceble										
Aguiar & Melo 2009	Paratetrapedia										
Melo & Gaglianone 2005	Tapinotaspoidea										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Tetrapedia										
Cavalcante et al. 2019	Tetrapedia										
Gaglianone et al. 2011	Tetrapedia										
Alves-dos-Santos et al. 2002	Tetrapediini										
	Melipona										
Lima & Rocha 2012	marginata										
Ferreira et al. 2015	Melipona										
Nanzer 2017	Melipona										
Rightmyer 2004	Thalestria										
Ferreira et al. 2015	Ceratina										

Continuação.

Citação	Grupo	S	T	B	N	L	R	P	C	V	D
Mikát et al. 2019	Ceratina										
Bezerra & Machado 2003	Xylocopa suspecta										
Santos 2013	Xylocopa suspecta										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Xylocopa										
Ferreira et al. 2015	Xylocopa										
Marchi & Alves-dos-Santos 2013	Xylocopa										
Stephen 1954	Colletes										
Moure & Urban 2002a	Colletini										
Almeida & Gibran 2017	Tetraglossula sp.										
De Luca et al. 2019	Ptiloglossa										
Rozen 1984	Ptiloglossa										
Moure 1987	Ptiloglossa										
Ferreira et al. 2015	Chilicola										
Moure & Urban 2002b	Xeromelissinae										
Santos 2013	Augochloropsis cupreola										
Ferreira et al. 2015	Augochloropsis										
Ferreira et al. 2015	Neocorynura										
Almeida 2008	Pseudaugochlora										
Meira & Gonçalves 2018	Augochlorini										
Aguiar & Zanella 2005	Dialictus opacus										
Urban 2002	Dicranthidium										
Parizotto & Melo 2015	Dicranthidium										
Urban 1997a	Larocanthidium										
Burrows et al. 2018	Anthidium hallinani										
Gonzalez & Griswold 2013	Anthidium hallinani										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Anthidium										
Burrows et al. 2018	Austrostelis iheringi										
Cordeiro et al. 2015	Austrostelis iheringi										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Epanthidium										
Gomes 2016	Epanthidium										
Burrows et al. 2018	Hypanthidium										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Hypanthidium										
Rocha & Garófalo 2015	Megachile (Chrysosarus)										
Da Costa & Gonsalvez 2019	Megachile										
Camillo et al. 1993	Melitoma segmentaria										
Mello & Gaglianone 2019	Megachilidae										

Conclusão.

Referências

- AGUIAR, Antonio J. C.; MELO, Gabriel A. R. Notes on oil sources for the bee genus *Caenonomada* (Hymenoptera, Apidae, Tapinotaspini). *Revista Brasileira de Entomologia*, [S. l.], v. 53, n. 1, p. 154–156, 2009. DOI: 10.1590/s0085-56262009000100033.
- AGUIAR, Cândida M. L.; GARÓFALO, Carlos A. Nesting biology of *Centris* (*Hemisiella*) *tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini). *Revista Brasileira de Zoologia*, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 477–486, 2004. DOI: 10.1590/s0101-81752004000300009.
- AGUIAR, Cândida M. L.; ZANELLA, Fernando C. V. Estrutura da comunidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea: Apiformis) de uma área na margem do domínio da caatinga (Itatim, BA). *Neotropical Entomology*, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 15–24, 2005. DOI: 10.1590/S1519-566X2005000100003.
- ALMEIDA, Eduardo A. B. Revision of the Brazilian species of *Pseudaugochlora* Michener 1954 (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini). *Zootaxa*, [S. l.], v. 1954, n. 1679, p. 1–38, 2008. DOI: 10.11646/zootaxa.1679.1.1.
- ALMEIDA, Eduardo A. B.; GIBRAN, Nadia S. Taxonomy of neopasiphaeinae bees: Review of *Tetraglossula* Ogloblin, 1948 (Hymenoptera: Colletidae). *Zootaxa*, [S. l.], v. 4303, n. 4, p. 521–544, 2017. DOI: 10.11646/zootaxa.4303.4.5.
- ALVES-DOS-SANTOS, Isabel; MELO, Gabriel A. R.; ROZEN, Jerome G. Biology and Immature Stages of the Bee Tribe Tetrapediini (Hymenoptera: Apidae). *American Museum Novitates*, [S. l.], v. 3377, n. 3377, p. 1–45, 2002. DOI: 10.1206/0003-0082(2002)377<0001:baisot>2.0.co;2.
- ARAÚJO, E. D.; COSTA, M.; CHAUD-NETTO, J.; FOWLER, H. G. BODY SIZE AND FLIGHT DISTANCE IN STINGLESS BEES (HYMENOPTERA: MELIPONINI): INFERENCE OF FLIGHT RANGE AND POSSIBLE ECOLOGICAL IMPLICATIONS. *Brazilian Journal of Biology = Revista brasileira de biologia*, [S. l.], v. 64, p. 563–568, 2004.
- AUGUSTO, S. C.; GARÓFALO, C. A. Bionomics and sociological aspects of *Euglossa fimbriata* (Apidae, Euglossini). *Genetics and Molecular Research*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 525–538, 2009. DOI: 10.4238/vol8-2kerr004.
- AUGUSTO, S. C.; GARÓFALO, C. A. Nesting biology and social structure of *Euglossa* (*Euglossa*) *townsendi* Cockerell (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). *Insectes Sociaux*, [S. l.], v. 51, n. 4, p. 400–409, 2004. DOI: 10.1007/s00040-004-0760-2.
- BARBOSA, Fernando Mendes; ALVES, Rogério Marcos de Oliveira; SOUZA, Bruno de Almeida; DE CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes. Arquitetura do ninho de *Geotrigona subterranea* (Friese, 1901) (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Biota Neotropica*, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 147–152, 2013. DOI: 10.1590/S1676-06032013000100017.
- BEZERRA, Elisângela Lúcia de S.; MACHADO, Isabel Cristina. Biologia floral e sistema de polinização de *Solanum stramonifolium* Jacq. (solanaceae) em remanescente de mata atlântica, pernambuco. *Acta Botanica Brasilica*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 247–257, 2003. DOI: 10.1590/S0102-33062003000200007.
- BRUNET, Johanne; ZHAO, Yang; CLAYTON, Murray K. Linking the foraging behavior of three bee species to pollen dispersal and gene flow. *PLoS ONE*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 1–14, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0212561.
- BUSTAMANTE, Patrícia Goulart; BARBIERI, Rosa Lía; SANTILLI, Juliana. Conservação e uso da agrobiodiversidade: relatos de experiências locais. Brasília: Embrapa, 2017.
- CAMARGO, João Maria Franco De; GOTTSBERGER, Gerhard; SILBERBAUER-GOTTSBERGER, Ilse. On the phenology and flower visiting behavior of *Oxaea flavescens* (Oxaeinae, Andrenidae, Hymenoptera) in Sao Paulo, Brazil. *Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, [S. l.], v. 2, n. 59, p. 159–179, 1983.
- CAMILLO, Evandro; GARÓFALO, Carlos Alberto; SERRANO, José Carlos. Hábitos de nidificação de *Melitoma segmentaria*, *Centris fuscata* e *Paratetrapedia gigantea* (Hymenoptera, Anthophoridae). *Revista Brasileira de Entomologia*, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 145–156, 1993.
- CARDINAL, Sophie Carole. Molecular phylogenetic analysis of the bees (Hymenoptera), with an emphasis on Apidae and the evolutionary history of social and cleptoparasitic behavior. 2010. Faculty of the Graduate School of Cornell University, [S. l.], 2010.
- CAVALCANTE, A. M.; SILVA, C. I.; GOMES, A. M. S.; PINTO, G. S.; BOMFIM, I. G. A.; FREITAS, B. M. Bionomic aspects of the solitary bee *Tetrapedia diversipes* Klug, 1810 (Hymenoptera: Apidae: Tetrapediini). *Sociobiology*, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 113–119, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i1.3338.
- CORDEIRO, Guaraci D.; NASCIMENTO, Ana Luíza O.; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel; GARÓFALO, Carlos A. The Cleptoparasitic Bee *Austrostelis iheringi* (Schrottky, 1910) (Anthidiini, Megachilidae): New Geographical Records and Potential Hosts. *Journal of the Kansas Entomological Society*, [S. l.], v. 88, n. 4, p. 453–456, 2015. DOI: 10.2317/kent-88-04-453-456.1.
- DE LUCA, Paul A.; BUCHMANN, Stephen; GALEN, Candace; MASON, Andrew C.; VALLEJO-MARÍN, Mario. Does body size predict the buzz-pollination frequencies used by bees? *Ecology and Evolution*, [S. l.], v. 9, n. 8, p. 4875–4887, 2019. DOI: 10.1002/ece3.5092.
- DUARTE, Raoni da Silva. Aspectos da biologia destinados à criação de *Tetragona clavipes* (Fabricius, 1804) (Apidae, Meliponini). 2012. USP - FFCLRP, [S. l.], 2012.
- ENGEL, Michael S. A review of the genera and subgenera of Oxaeinae (Hymenoptera: Andrenidae). *Journal of Melittology*, [S. l.], n. 52, p. 1, 2015. DOI: 10.17161/jom.v0i52.4902.
- FERREIRA, Patrícia Alves; BOSCOLO, Danilo; CARVALHEIRO, Luísa G.; BIESMEIJER, Jacobus C.; ROCHA, Pedro L. B.; VIANA, Blandina F. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. *Landscape Ecology*, [S. l.], v. 30, n. 10, p. 2067–2078, 2015. DOI: 10.1007/s10980-015-0231-3.
- FRANÇOSO, Elaine. Phylogeography of *Bombus morio* and *B. pauloensis* (Hymenoptera, Apidae). [S. l.], p. 28, 2011.
- GAGLIANONE, Maria Cristina. Nesting biology, seasonality, and flower hosts of *Epicharis nigrita* (Friese, 1900) (Hymenoptera: Apidae: Centridini), with a comparative analysis for the genus. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 191–200, 2005. DOI: 10.1080/01650520500250145.

- GAGLIANONE, Maria Cristina; AGUIAR, Antonio José Camillo De; VIVALLO, Felipe; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. Checklist das abelhas coletoras de óleos do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, [S. l.], v. 11, n. suppl 1, p. 657–666, 2011. DOI: 10.1590/s1676-06032011000500030.
- GEGENSATZ, Art. *Psaenythia*, eine neue Bienengattung mit gezähnten Schienensporen. [S. l.], 1837. Disponível em: <http://www.biodiversitylibrary.org>.
- GOMES, A. M. S. Bionomia e compartimento de nidificação da abelha *Epanthidium tigrinum* (Hymenoptera-Megachilidae) em ninhos-armadilha. [S. l.], p. 52, 2016.
- GONZALEZ, Victor H.; GRISWOLD, Terry L. Wool carder bees of the genus *Anthidium* in the Western Hemisphere (Hymenoptera: Megachilidae): Diversity, host plant associations, phylogeny, and biogeography. *Zoological Journal of the Linnean Society*, [S. l.], v. 168, n. 2, p. 221–425, 2013. DOI: 10.1111/zoj.12017.
- HAGEN, Melanie; WIKELSKI, Martin; KISSLING, W. Daniel. Space use of bumblebees (*Bombus* spp.) revealed by radio-tracking. *PLoS ONE*, [S. l.], v. 6, n. 5, 2011. DOI: 10.1371/journal.pone.0019997.
- HENRÍQUEZ-PISKULICH, Patricia; VERA, Alejandro; SANDOVAL, Gino; VILLAGRA, Cristian. Along urbanization sprawl, exotic plants distort native bee (Hymenoptera: Apoidea) assemblages in high elevation Andes ecosystem. *PeerJ*, [S. l.], v. 2018, n. 11, 2018. DOI: 10.7717/peerj.5916.
- IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lúcia; NOGUEIRA-NETO, Paulo; CORTOPASSI-LAURINO, Marilda; NUNES-SILVA, Patrícia; GIANNINI, Tereza C. Guia Ilustrado das Abelhas sem Ferrão do Estado de São Paulo: *Cephalotrigona capitata* (Smith 1854). 2015. Disponível em: http://www.ib.usp.br/beesp/cephalotrigona_capitata.htm. Acesso em: 8 abr. 2019.
- KAHLER, Tatiana Guterres. Forrageio de operárias de *Tetragonisca fiebrigi* (Apidae: Meliponini): potencial de obtenção de recursos e polinização. [S. l.], n. 051, p. 55, 2017.
- KLEINERT, Astrid de M. P.; CORTOPASSI-LAURINO, Marilda; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L. Abelhas sociais (Bombini, Apini, Meliponini). *Miolo-Bioecologia*, [S. l.], p. 373–426, 2009.
- LAROCA, Sebastião. Bionomia de *Bombus morio*.pdf. *Act Biol Par*, [S. l.], v. 5, p. 107–127, 1976.
- LAROCA, Sebastião. Sobre a bionomia de *Bombus brasiliensis* (Hymenoptera, Apoidea). *Acta Biológica Paranaense*, [S. l.], v. 1/2, p. 7–28, 1972.
- LIMA, Maria Cecília; ROCHA, Sá de Alencar. Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas silvestres no Brasil. Brasília: Ibama, 2012.
- MALERBO-SOUZA, Darlet Teresinha; SILVA, Flávio Augusto Santos. Comportamento forrageiro da abelha Africanizada *Apis mellifera* L. no decorrer do ano. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 183–190, 2011. DOI: 10.4025/actascianimsci.v33i2.9252.
- MARCHI, Paola; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (Xylocopini, Apidae) do estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotropica*, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 249–269, 2013. DOI: 10.1590/S1676-06032013000200025.
- MEIRA, Odair M.; GONÇALVES, Rodrigo B. The relevance of the mesosomal internal structures to the phylogeny of Augochlorini bees (Hymenoptera: Halictinae). *Zoologica Scripta*, [S. l.], v. 47, n. 2, p. 197–205, 2018. DOI: 10.1111/zsc.12270.
- MELLO, B. N. S.; GAGLIANONE, M. C. Nesting biology of sympatric species of Megachilidae bees in a conservation area in Brazilian Atlantic Forest. *Sociobiology*, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 52–60, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i1.2881.
- MELO, Gabriel A. R.; GAGLIANONE, Maria Cristina. Females of *Tapinotaspidius*, a genus in the oil-collecting bee tribe Tapinotaspini, collect secretions from non-floral trichomes (Hymenoptera, Apidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, [S. l.], v. 49, n. 1, p. 167–168, 2005. DOI: 10.1590/s0085-56262005000100022.
- MICHENER, Charles D. The bees of the world. 2. ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007.
- MICHENER, Charles D. The Social Behavior of the Bees: A Comparative Study. Cambridge: Harvard University Press, 1974.
- MIKÁT, Michael; JANOŠÍK, Lukáš; ČERNÁ, Kateřina; MATOUŠKOVÁ, Eva; HADRAVA, Jiří; BUREŠ, Vít; STRAKA, Jakub. Polyandrous bee provides extended offspring care biparentally as an alternative to monandry based eusociality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [S. l.], v. 116, n. 13, p. 6238–6243, 2019. DOI: 10.1073/pnas.1810092116.
- MOURE, Jesus Santiago. Contribuição para o conhecimento do gênero *Ptiloglossa* (Hymenoptera, Colletidae). *Acta Biológica Paranaense*, [S. l.], v. 16, n. 1,2,3,4, p. 107–131, 1987.
- MOURE, Jesus Santiago; URBAN, Danúncia. Catálogo de Apoidea da região neotropical (Hymenoptera, Colletidae). III: colletini. *Revista Brasileira de Zoologia*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 1–30, 2002. DOI: 10.1590/s0101-81752002000100001.
- MOURE, Jesus Santiago; URBAN, Danúncia. Catálogo de Apoidea da Região Neotropical (Hymenoptera, Colletidae). V. Xeromelissinae. *Revista Brasileira de Zoologia*, [S. l.], v. 19, n. suppl 1, p. 1–25, 2002. DOI: 10.1590/s0101-81752002000500001.
- NANZER, Samanta Letícia Lopes. Atividade de forrageamento das abelhas sem ferrão *Tetragonisca angustula* e *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera, Apidae). 2017. USP - ESALQ, [S. l.], 2017.
- NOGUEIRA-NETO, Paulo. Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão. [s.l.] : Nogueirapis, 1997.
- NUNES-SILVA, Namepatricia; HRNCIR, Michael; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia. A polinização por vibração. *Oecologia Australis*, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 140–151, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.07.
- OLIVEIRA, José Eduardo Martins De; NICODEMO, Daniel; OLIVEIRA, Favízia Freitas De. Contribuição da polinização entomófila para a produção de frutos de aceroleira. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 56–65, 2015. DOI: 10.1590/1983-40632015v4529199. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000100012&lng=pt&lng=pt.
- PARIZOTTO, Daniele R.; MELO, Gabriel A. R. Nests of bees of the anthidiine genus *Ananthidium* Urban (Hymenoptera, Apidae, Megachilinae). *Journal of Hymenoptera Research*, [S. l.], v. 47, p. 115–122, 2015. DOI: 10.3897/JHR.47.6805.
- RABELO, Laíce Souza; BASTOS, Esther Margarida Alves Ferreira; AUGUSTO, Solange Cristina. Food niche of *Exomalopsis* (*Exomalopsis*) *fulvofasciata* Smith (Hymenoptera: Apidae) in Brazilian savannah: the importance of oil-

- producing plant species as pollen sources. *Journal of Natural History*, [S. l.], v. 50, n. 29–30, p. 1859–1873, 2016. DOI: 10.1080/00222933.2016.1169328. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00222933.2016.1169328>.
- RIGHTMYER, M. G. Phylogeny and classification of the parasitic bee tribe Epeolini (Hymenoptera: Apidae, Nomadinae). *Natural History Museum The University of Kansas*, [S. l.], v. 33, n. 1094, p. 1–51, 2004.
- ROCHA FILHO, Léo Correia Da; GARÓFALO, Carlos Alberto. Nesting biology of *Megachile* (*Chrysosarus*) *guaranitica* and high mortality caused by its cleptoparasite *Coelioxys bertonii* (Hymenoptera: Megachilidae) in Brazil. *Austral Entomology*, [S. l.], v. 55, n. 1, p. 25–31, 2015. DOI: 10.1111/aen.12148.
- ROZEN, Jerome G. Nesting biology and immature stages of the panurgine bee genera *Rhopitulus* and *Cephalurgus* (Apoidea: Andrenidae: Protandrenini). *American Museum Novitates*, [S. l.], n. 3814, p. 1–16, 2014.
- ROZEN, Jerome G. Nesting Biology of Diphaglossine Bees (Hymenoptera, Colletidae). *American Museum Novitates*, [S. l.], v. 2786, n. 2786, p. 1–33, 1984.
- SABINO, William De Oliveira. História natural de *Centris* (*Paracentris*) *burgdorfi* Friese, 1901 (Apidae, Centridini) Natural history of *Centris* (*Paracentris*) *burgdorfi* Friese, 1901 (Apidae, Centridini). [S. l.], v. 1901, p. 1–25, 2017.
- SAKAGAMI, Shoichi F.; ZUCCHI, Ronaldo. Oviposition behavior of two dwarf stingless bees, *Hypotrigona* (*Leurotrigona*) *muelleri* and (*Trigonisca*) *duckeii*, With notes on the temporal articulation of oviposition process in stingless bees. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University*, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 361–421, 1974.
- SANTOS, Alexandre Oliveira Resende. Polinizadores potenciais de *Lycopersicon esculentum* mill . (Solanaceae) em áreas de cultivo aberto. 2013. UFU (Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2013.
- SCHLINDWEIN, Clemens; PICK, Raquel A.; CELSO, F. Coleta de Alimento por uma Abelha Solitária (*Ptilothrix plumata*) da Caatinga Food Collection by a Solitary Bee (*Ptilothrix plumata*) in the Caatinga Abstract Introdução. [S. l.], p. 173–184, 2006.
- SILVA, Cláudia Inês; ALEIXO, Kátia Paula; NUNES-SILVA, Bruno; FREITAS, Breno Magalhães; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia. Guia ilustrado de abelhas polinizadoras no Brasil. 1a. ed. São Paulo: USP (Universidade de São Paulo), 2014.
- SIQUEIRA, Estefane Nascimento Leoncini; BARTELLI, Bruno Ferreira; NASCIMENTO, André Rosalvo Terra; NOGUEIRA-FERREIRA, Fernanda Helena. Diversity and nesting substrates of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in a forest remnant. *Psyche* (London), [S. l.], v. 2012, 2012. DOI: 10.1155/2012/370895.
- STEPHEN, W. P. A Revision of the Bee Genus *Colletes* in America North of Mexico (Hymenoptera, Colletidae). *The University Science Bulletin*, [S. l.], v. 36, n. 6, p. 149–248, 1954. DOI: 10.1086/401085. Disponível em: www.biodiversitylibrary.org.
- TEIXEIRA, Lila Vianna; CAMPOS, Fernanda de Nitto Melo. Início da atividade de vôo em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae): influência do tamanho da abelha e da temperatura ambiente. *Revista Brasileira de Zoociências*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 195–202, 2005.
- URBAN, Danúncia. Duas espécies novas de *Dicranthidium* Moure & Urban (Hymenoptera, Megachilidae) e chave para a identificação das espécies. *Revista Brasileira de Zoologia*, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 637–643, 2002. DOI: 10.1590/s0101-81752002000300002.
- URBAN, Danúncia. *Larocanthidium* gen.n. de Anthidiinae do Brasil (Hymenoptera, Megachilidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 299–317, 1997. a. DOI: 10.1590/s0101-81751997000200004.
- URBAN, Danúncia. Notas taxonômicas e espécies novas de *Hypanthidium* Cockerell (Hymenoptera, Megachilidae). *Acta Biológica Paranaense*, 1997. b. DOI: 10.5380/abpr.v26i0.692.

Apêndice 7

Características comportamentais (nidificação e socialidade) com base nas referências presentes no Apêndice 4.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Ananthidium</i> sp. 1	solitary	resin	burrow
<i>Anthidium</i> aff. <i>hallinani</i>	solitary	cleptoparasite	cleptoparasite
<i>Anthrenoides</i> sp. 1	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Anthrenoides</i> sp. 2	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Apis mellifera</i>	eusocial	wax, propolis	large cavities above the ground
<i>Arhysoceble</i> sp. 1	solitary	excavated, wax, propolis	soil
<i>Arhysoceble</i> sp. 2	solitary	excavated, wax, propolis	soil
<i>Augochlora</i> sp. 1	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 10	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 11	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 12	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 13	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 14	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 15	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 16	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 2	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 3	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 4	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 5	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 6	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 7	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 8	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlora</i> sp. 9	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Augochlorella</i> sp. 1	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Augochlorella</i> sp. 2	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Augochlorella</i> sp. 3	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil

Continua.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Augochlorella</i> sp.4	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Augochlorella</i> sp.5	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Augochlorella</i> sp.6	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis cupreola</i>	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 1	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 10	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 11	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 12	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 13	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 14	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 15	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp. 16	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.2	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.3	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.5	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.6	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.7	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Augochloropsis</i> sp.9	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Austrostelis iheringi</i>	solitary	resin, vegetable fibers	burrow
<i>Bombus brasiliensis</i>	eusocial	wax, propolis	cavities close to the ground, with short vegetation
<i>Bombus morio</i>	eusocial	wax, propolis	cavities close to the ground, with short vegetation
<i>Bombus pauloensis</i>	eusocial	wax, propolis	cavities
<i>Brachynomada</i> sp.	solitary	cleptoparasite	cleptoparasite
<i>Centris nitens</i>	solitary	oil	soil
<i>Cephalotrigona capitata</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.?	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.1	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.2	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig

Continuação.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.3</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.4</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.5</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.6</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.7</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.1</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.1.1</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.2</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.3</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.4</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.5</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Ceratina (Crewella) sp.6</i>	social	excavated, wax, propolis	thick stems, rotten wood or broken end of a twig
<i>Chilicola sp.1</i>	solitary	cellophane-like material	burrows in stems or in wood
<i>Colletes sp.1</i>	solitary	cellophane-like material	soil
<i>Dialictus opacus</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil or rotten wood
<i>Dialictus sp.1</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil or rotten wood
<i>Dialictus sp.4</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil or rotten wood
<i>Dialictus sp.5</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil or rotten wood
<i>Dialictus sp.6</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil or rotten wood
<i>Dicranthidium aff. arenarium</i>	solitary	resin	burrow
<i>Epanthidium autumnale</i>	solitary	resin, vegetable fibers	burrow
<i>Epanthidium tigrinum</i>	solitary	resin, vegetable fibers	burrow
<i>Epicharis flava</i>	solitary	mud	sandy soil, sunny
<i>Eufriesea violacea</i>	solitary (gregarious)	resin, vegetable fibers	burrow
<i>Euglossa townsendi</i>	parasocial	resin	burrow
<i>Eulonchopria sp.1</i>	solitary	cellophane-like material	burrows
<i>Exomalopsis analis</i>	parasocial	excavated, waxlike, propolis	soil
<i>Exomalopsis auropilosa</i>	parasocial	excavated, waxlike, propolis	soil

Continuação.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Exomalopsis</i> sp.1	parasocial	excavated, wax, propolis	soil
<i>Exomalopsis</i> sp.2	parasocial	excavated, wax, propolis	soil
<i>Friesella schrottkyi</i>	social	wax, propolis	cavities
<i>Geotrigona subterranea</i>	social	wax, propolis	underground cavities
<i>Hylaeus</i> sp.1	solitary	cellophane-like material	burrows in stems or in wood
<i>Hypanthidium divaricatum</i>	solitary	resin, vegetable fibers	burrow
<i>Larocanthidium</i> sp.1	solitary	resin	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Acentron</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Acentron</i>) sp.2	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp.1	solitary	leaf, mud	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp.2	solitary	leaf, mud	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Dactylomegachile</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Holcomegachile</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Leptorachina</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Leptorahis</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.2	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.3	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.4	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.5	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.1	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.2	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.3	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.4	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.5	solitary	leaf	burrow
<i>Megachile</i> sp.1	solitary	resin, mud, leaf, pebble, excavated	burrow
<i>Megachile</i> sp.2	solitary	resin, mud, leaf, pebble, excavated	burrow
<i>Megachile</i> sp.3	solitary	resin, mud, leaf, pebble, excavated	burrow

Continuação.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Melipona anthidioides</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Melipona marginata</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Melipona marginata carioca</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Melissodes (Ecplectica) nigroaenea</i>	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Melissodes</i> sp. 1	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Melissoptila buzzi</i>	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Melissoptila pubescens</i>	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Melissoptila</i> sp. 1	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Melissoptila</i> sp. 2	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Melissoptila</i> sp. 3	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Melitoma segmentaria</i>	solitary	excavated, mud	clay soil (ravine)
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Neocorynura</i> aff. <i>dilutipes</i>	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Neocorynura</i> sp. 1	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Neocorynura</i> sp. 3	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Neocorynura</i> sp. 4	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Neocorynura</i> sp. 5	solitary or parasocial	excavated, waxlike	rotten wood
<i>Nomiocolletes</i> sp. 1	solitary	cellophane-like material	soil or stems
<i>Oxaea flavescens</i>	solitary	excavated, waxlike	clay soil, with short vegetation, without stones
<i>Paratetrapedia</i> sp. 1	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 10	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 12	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 14	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 15	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 16	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 17	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 18	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp. 2	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood

Continuação.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Paratetrapedia</i> sp.3	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.4	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.5	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.6	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.7	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.8	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratetrapedia</i> sp.9	solitary	excavated, wax, propolis	soil with sparse vegetation or wood
<i>Paratrigona</i> aff. <i>subnuda</i>	eusocial	wax, propolis	underground cavities
<i>Perditomorpha</i> sp.1	solitary	cellophane-like material	soil or stems
<i>Plebeia</i> aff. <i>droryana</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Plebeia</i> <i>droryana</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Plebeia</i> <i>phrynostoma</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk or underground cavities
<i>Plebeia</i> <i>remota</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk or underground cavities
<i>Plebeia</i> <i>saiqui</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk or underground cavities
<i>Plebeia</i> sp.1	eusocial	wax, propolis	cavities
<i>Psaenythia</i> <i>quinquefasciata</i>	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Psaenythia</i> sp.2	solitary	excavated, waxlike	soil
<i>Pseudagapostemon</i> sp.1	parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine or flat ground)
<i>Pseudaugochlora</i> sp.1	parasocial	excavated, waxlike	sandbank
<i>Pseudaugochlora</i> sp.3	parasocial	excavated, waxlike	sandbank
<i>Ptiloglossa</i> sp.1	solitary	cellophane-like material	burrows
<i>Ptilothrix</i> <i>plumata</i>	solitary	excavated, wax, propolis	soil
<i>Rhinocorynura</i> sp.1	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine or flat ground)
<i>Rhinocorynura</i> sp.2	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine or flat ground)
<i>Rhinocorynura</i> sp.3	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine or flat ground)
<i>Rhinocorynura</i> sp.4	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine or flat ground)
<i>Rhopitulus</i> sp.1	solitary	excavated, waxlike	soil, sunny, with short vegetation
<i>Rhopitulus</i> sp.2	solitary	excavated, waxlike	soil, sunny, with short vegetation
<i>Rhopitulus</i> sp.3	solitary	excavated, waxlike	soil, sunny, with short vegetation

Continuação.

Morphotype	Sociality	Nesting resources	Nesting sites
<i>Rhopitulus</i> sp.4	solitary	excavated, waxlike	soil, sunny, with short vegetation
<i>Scaptotrigona tubiba</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	eusocial	wax, propolis	soil
<i>Tapinotaspoides</i> sp.1	solitary	excavated	soil
<i>Tetraglossula</i> sp.1	solitary	cellophane-like material	soil or stems
<i>Tetragona clavipes</i>	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk
<i>Tetragona</i> sp.1	eusocial	wax, propolis	cavities in live trunk or among tree roots
<i>Tetragonisca angustula</i>	eusocial	wax, propolis	cavities
<i>Tetrapedia</i> sp.1	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.1.1	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.2	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.2.1	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.3	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.3.1	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.4	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.5	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Tetrapedia</i> sp.6	solitary	sand, oil	burrows in wood
<i>Thalestria spinosa</i>	solitary	cleptoparasite	cleptoparasite
<i>Thectochlora alaris</i>	solitary or parasocial	excavated, waxlike	soil
<i>Thygater analis</i>	parasocial	excavated, waxlike	soil (ravine)
<i>Thygater palliventris</i>	solitary	excavated, waxlike	soil (ravine)
<i>Trigona</i> aff. <i>fuscipennis</i>	eusocial	wax, propolis	cavities or exposed
<i>Trigona braueri</i>	eusocial	wax, propolis	cavities or exposed
<i>Trigona hyalinata</i>	eusocial	wax, propolis	cavities
<i>Trigona spinipes</i>	eusocial	wax, propolis, vegetable fibers	cavities or exposed
<i>Xylocopa artifex</i>	solitary	excavated, wax, propolis	wood
<i>Xylocopa brasiliatorum</i>	solitary	excavated, wax, propolis	wood
<i>Xylocopa suspecta</i>	solitary	excavated, wax, propolis	rotten wood, twig or bamboo hollow

Conclusão.

Apêndice 8

Dados das características relacionadas ao comportamento (recursos buscados e polinização por vibração) e à morfologia (tamanhos categóricos e presença de estruturas) com base nas referências presentes no Apêndice 4. Cerdas no corpo: lisa (1), moderadamente coberta (2) e densamente coberta (3). Recurso buscado: pólen (p), néctar (n), óleo (o) e fragrância (f). Tamanho do corpo: minúscula (<8 mm), pequena (8 à 14 mm), média (14 à 20 mm), grande (20 à 26 mm), muito grande (26 à 32 mm) e enorme (>32 mm) (tamanho das abelhas do mundo é de 2 mm à 39 mm, segundo Michener 2007)

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Ananthidium</i> sp.1	tiny	long	long	no	no	yes	1	p, n	no
<i>Anthidium</i> aff. <i>hallinani</i>	small	long	long	no	no	yes	2	n	no
<i>Anthrenoides</i> sp.1	tiny	sort	sort	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Anthrenoides</i> sp.2	tiny	sort	sort	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Apis mellifera</i>	medium	longa	long	yes	no	no	2	p, n	no
<i>Arhysoceble</i> sp.1	tiny	long	long	no	yes	yes	1	o, p, n	no
<i>Arhysoceble</i> sp.2	tiny	long	long	no	yes	yes	1	o, p, n	no
<i>Augochlora</i> sp.1	small	sort	sort	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.10	small	sort	long	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.11	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.12	small	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.13	small	sort	long	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.14	small	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.15	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.16	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.2	small	sort	sort	yes	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.3	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.4	small	sort	sort	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.5	small	sort	long	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.6	small	sort	long	no	no	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.7	small	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.8	small	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlora</i> sp.9	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	yes
<i>Augochlorella</i> sp.1	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no

Continua.

Morphotype	Body	Tongue	Probos -cis	Corbi- culate?	Scopa ?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollina- tion?
<i>Augochlorella</i> sp.2	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Augochlorella</i> sp.3	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Augochlorella</i> sp.4	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Augochlorella</i> sp.5	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Augochlorella</i> sp.6	tiny	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Augochloropsis cupreola</i>	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.1	small	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.10	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.11	small	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.12	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.13	small	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.14	tiny	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.15	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.16	tiny	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.2	small	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.3	small	sort	long	no	no	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.5	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.6	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.7	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Augochloropsis</i> sp.9	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	yes
<i>Austrostelis iheringi</i>	tiny	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Bombus brasiliensis</i>	medium	long	long	yes	no	no	3	p, n	yes
<i>Bombus morio</i>	medium	long	long	yes	no	no	3	p, n	yes
<i>Bombus pauloensis</i>	medium	long	long	yes	no	no	3	p, n	yes
<i>Brachynomada</i> sp.	tiny	long	long	no	no	no	1	n	no
<i>Centris nitens</i>	medium	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	yes
<i>Cephalotrigona capitata</i>	small	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.?	tiny	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.1	tiny	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.2	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no

Continuação.

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.3</i>	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.4</i>	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.5</i>	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.6</i>	tiny	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.7</i>	tiny	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.1</i>	small	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.1.1</i>	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.2</i>	small	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.3</i>	small	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.4</i>	small	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.5</i>	tiny	long	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ceratina (Crewella) sp.6</i>	small	long	long	no	no	no	1	p, n	no
<i>Chilicola sp.1</i>	tiny	sort	sort	no	yes	no	2	p, n	no
<i>Colletes sp.1</i>	small	sort	sort	yes	no	no	2	p, n	no
<i>Dialictus opacus</i>	tiny	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Dialictus sp.1</i>	tiny	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Dialictus sp.4</i>	tiny	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Dialictus sp.5</i>	tiny	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Dialictus sp.6</i>	tiny	sort	sort	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Dicranthidium aff. arenarium</i>	tiny	long	long	no	no	yes	1	p, n	no
<i>Epanthidium autumnale</i>	tiny	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Epanthidium tigrinum</i>	tiny	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Epicharis flava</i>	large	long	long	no	yes	no	3	o, p	yes
<i>Eufriesea violacea</i>	medium	long	long	yes	no	no	1	p, n, f	yes
<i>Euglossa townsendi</i>	small	long	long	yes	no	no	1	p, n, f	no
<i>Eulonchopria sp.1</i>	small	sort	sort	no	no	no	3	p, n	no
<i>Exomalopsis analis</i>	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Exomalopsis auropilosa</i>	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no

Continuação.

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Exomalopsis</i> sp. 1	tiny	long	long	no	no	no	3	o, p, n	no
<i>Exomalopsis</i> sp.2	tiny	long	long	no	no	no	3	o, p, n	no
<i>Friesella schrottkyi</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Geotrigona subterranea</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Hylaeus</i> sp. 1	tiny	sort	sort	no	no	no	2	p, n	no
<i>Hypanthidium divaricatum</i>	tiny	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Larocanthidium</i> sp. 1	tiny	long	long	no	no	yes	1	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Acentron</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Acentron</i>) sp.2	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp.2	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Dactylomegachile</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Holcomegachile</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Leptorachina</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Leptorahis</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.2	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.3	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.4	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Moureapis</i>) sp.5	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.2	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.3	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.4	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> (<i>Pseudocentron</i>) sp.5	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> sp. 1	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> sp.2	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no
<i>Megachile</i> sp.3	small	long	long	no	no	yes	2	p, n	no

Continuação.

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Melipona anthidioides</i>	small	long	long	no	no	no	2	o, p, n	no
<i>Melipona marginata</i>	tiny	long	long	yes	no	no	2	o, p, n	yes
<i>Melipona marginata carioca</i>	small	long	long	no	no	no	2	o, p, n	yes
<i>Melissodes (Ecplectica) nigroaenea</i>	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melissodes</i> sp. 1	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melissoptila buzzi</i>	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melissoptila pubescens</i>	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melissoptila</i> sp. 1	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melissoptila</i> sp. 2	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Melissoptila</i> sp. 3	small	long	long	no	yes	no	3	o, p, n	no
<i>Melitoma segmentaria</i>	small	long	long	no	yes	no	2	p, n	no
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Neocorynura</i> aff. <i>dilutipes</i>	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Neocorynura</i> sp. 1	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Neocorynura</i> sp. 3	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Neocorynura</i> sp. 4	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Neocorynura</i> sp. 5	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Nomiocolletes</i> sp. 1	medium	sort	sort	no	yes	yes	2	p, n	no
<i>Oxaea flavescens</i>	large	sort	long	no	yes	yes	3	p, n	yes
<i>Paratetrapedia</i> sp. 1	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 10	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 12	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 14	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 15	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 16	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 17	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 18	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp. 2	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no

Continuação.

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Paratetrapedia</i> sp.3	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.4	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.5	tiny	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.6	tiny	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.7	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.8	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratetrapedia</i> sp.9	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Paratrigona</i> aff. <i>subnuda</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	o, p, n	no
<i>Perditomorpha</i> sp.1	small	sort	sort	no	yes	yes	3	p, n	no
<i>Plebeia</i> aff. <i>droryana</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Plebeia</i> <i>droryana</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Plebeia</i> <i>phrynostoma</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Plebeia</i> <i>remota</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Plebeia</i> <i>saiqui</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Plebeia</i> sp.1	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Psaenythia</i> <i>quinquefasciata</i>	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Psaenythia</i> sp.2	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Pseudagapostemon</i> sp.1	small	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Pseudaugochlora</i> sp.1	small	sort	long	no	yes	yes	1	p, n	no
<i>Pseudaugochlora</i> sp.3	small	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Ptiloglossa</i> sp.1	medium	sort	sort	yes	no	no	3	p, n	yes
<i>Ptilothrix</i> <i>plumata</i>	small	long	long	no	no	no	3	p, n	no
<i>Rhinocorynura</i> sp.1	small	sort	sort	no	no	no	1	p, n	no
<i>Rhinocorynura</i> sp.2	small	sort	sort	no	no	no	1	p, n	no
<i>Rhinocorynura</i> sp.3	tiny	sort	sort	no	no	no	1	p, n	no
<i>Rhinocorynura</i> sp.4	small	sort	sort	no	no	no	1	p, n	no
<i>Rhopitulus</i> sp.1	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Rhopitulus</i> sp.2	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Rhopitulus</i> sp.3	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no

Continuação.

Morphotype	Body	Tongue	Proboscis	Corbiculate?	Scopa?	Metasomal scopa	Hairy body?	Floral resources sought	Buzz pollination?
<i>Rhopitulus</i> sp.4	tiny	sort	long	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Scaptotrigona tubiba</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	o, p, n	no
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Tapinotaspoidea</i> sp.1	small	long	long	no	no	yes	1	o, p, n	no
<i>Tetraglossula</i> sp.1	small	sort	sort	no	no	yes	1	p, n	no
<i>Tetragona clavipes</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Tetragona</i> sp.1	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Tetragonisca angustula</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.1	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.1.1	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.2	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.2.1	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.3	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.3.1	small	long	long	no	yes	no	1	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.4	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.5	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Tetrapedia</i> sp.6	small	long	long	no	yes	no	2	o, p, n	no
<i>Thalestria spinosa</i>	medium	long	long	no	no	no	1	n	no
<i>Thectochlora alaris</i>	tiny	sort	sort	no	yes	no	1	p, n	no
<i>Thygater analis</i>	small	long	long	no	no	no	2	o, p, n	no
<i>Thygater palliventris</i>	tiny	long	long	no	no	no	2	o, p, n	no
<i>Trigona</i> aff. <i>fuscipennis</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Trigona braueri</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Trigona hyalinata</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	p, n	no
<i>Trigona spinipes</i>	tiny	long	long	yes	no	no	1	o, p, n	no
<i>Xylocopa artifex</i>	medium	long	long	no	no	no	3	p, n	yes
<i>Xylocopa brasiliatorum</i>	large	long	long	no	no	no	3	p, n	yes
<i>Xylocopa suspecta</i>	large	long	long	no	no	no	3	p, n	yes

Conclusão.

Apêndice 9

Metodologia empregada para a medição da distância intertegular. A linha tracejada indica o plano do foco (informação verbal - Profa. Dra. Favízia Freitas de Oliveira). Os espécimes foram medidos em lupas com ocular micrométrica (Laboratório de Bionomia, Biogeografia e Sistemática de Insetos - Profa. Dra. Favízia Freitas de Oliveira, Universidade Federal da Bahia) e estereomicroscópio (Leica MZ16) com equipamento fotográfico (Leica DFC500) e utilizando o programa Leica Application Suite versão 3.8.0 (Laboratório de Ecologia e Evolução de abelhas e vespas - Prof. Dr. Carlos Alberto Garófalo, Faculdade de Ciências e Letras da Universidade de São Paulo).

Apêndice 10

Dados de medida de distância intertegular média (em centímetros) e desvio padrão dos espécimes mensurados. Estão listadas as quantidades totais de indivíduos e o número de indivíduos medidos (que não apresentaram tégula e/ou escuto em condições de permitir a medição) ou que ultrapassam o número pré-definido (10 indivíduos).

Morfotipo	Total de indivíduos	Indivíduos medidos	DI (média)	DI (dev. Padrão)
<i>Ananthidium sp.1</i>	1	1	0.166	0.000
<i>Anthidium aff. hallinani</i>	1	1	0.273	0.000
<i>Anthrenoides sp.1</i>	13	9	0.120	0.122
<i>Anthrenoides sp.2</i>	1	1	0.120	0.000
<i>Apis mellifera</i>	446	10	0.315	0.071
<i>Arhysoceble sp.1</i>	8	8	0.166	0.090
<i>Arhysoceble sp.2</i>	2	2	0.169	0.130
<i>Augochlora sp.1</i>	4	4	0.192	0.088
<i>Augochlora sp.10</i>	4	3	0.152	0.879
<i>Augochlora sp.11</i>	10	8	0.101	0.053
<i>Augochlora sp.12</i>	6	6	0.184	0.048
<i>Augochlora sp.13</i>	7	7	0.146	0.156
<i>Augochlora sp.14</i>	11	9	0.125	0.242
<i>Augochlora sp.15</i>	8	8	0.120	0.122
<i>Augochlora sp.16</i>	2	2	0.160	0.174
<i>Augochlora sp.2</i>	3	1	0.171	0.000
<i>Augochlora sp.3</i>	1	1	0.152	0.000
<i>Augochlora sp.4</i>	5	4	0.158	0.027
<i>Augochlora sp.5</i>	4	4	0.164	0.116
<i>Augochlora sp.6</i>	5	5	0.151	0.126
<i>Augochlora sp.7</i>	10	10	0.154	0.092
<i>Augochlora sp.8</i>	3	3	0.149	0.086
<i>Augochlora sp.9</i>	1	1	0.152	0.000
<i>Augochlorella sp.1</i>	3	3	0.131	0.055
<i>Augochlorella sp.2</i>	1	1	0.122	0.012
<i>Augochlorella sp.3</i>	12	11	0.129	0.087
<i>Augochlorella sp.4</i>	6	6	0.093	0.035
<i>Augochlorella sp.5</i>	1	1	0.104	0.174
<i>Augochlorella sp.6</i>	1	1	0.127	0.065
<i>Augochloropsis cupreola</i>	5	5	0.216	0.072
<i>Augochloropsis sp.1</i>	3	2	0.170	0.013
<i>Augochloropsis sp.10</i>	2	2	0.180	0.065
<i>Augochloropsis sp.11</i>	4	4	0.208	0.159
<i>Augochloropsis sp.12</i>	1	1	0.183	0.000
<i>Augochloropsis sp.13</i>	13	10	0.175	0.092
<i>Augochloropsis sp.14</i>	4	4	0.165	0.064
<i>Augochloropsis sp.15</i>	2	2	0.175	0.043
<i>Augochloropsis sp.16</i>	7	4	0.154	0.093
<i>Augochloropsis sp.2</i>	3	3	0.164	0.231
<i>Augochloropsis sp.3</i>	6	6	0.182	0.178
<i>Augochloropsis sp.5</i>	1	1	0.227	0.000
<i>Augochloropsis sp.6</i>	1	1	0.187	0.000
<i>Augochloropsis sp.7</i>	1	1	0.181	0.000
<i>Augochloropsis sp.9</i>	1	1	0.212	0.000
<i>Austrostelis iheringi</i>	1	1	0.175	0.000
<i>Bombus brasiliensis</i>	27	10	0.368	0.207
<i>Bombus morio</i>	5	5	0.438	0.107
<i>Bombus pauloensis</i>	2	1	0.392	0.000
<i>Brachynomada sp.</i>	1	1	0.144	0.000

Continua.

Morfotipo	Total de indivíduos	Indivíduos medidos	DI (média)	DI (dev. Padrão)
<i>Centris nitens</i>	1	1	0.384	0.000
<i>Cephalotrigona capitata</i>	1	1	0.252	0.000
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.?</i>	1	1	0.091	0.000
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.1</i>	46	10	0.091	1.000
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.2</i>	3	3	0.114	0.623
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.3</i>	2	2	0.095	0.673
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.4</i>	7	7	0.091	0.510
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.5</i>	4	4	0.092	0.506
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.6</i>	1	1	0.065	0.000
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.7</i>	1	1	0.089	0.000
<i>Ceratina (Crewella) sp.1</i>	32	10	0.151	0.159
<i>Ceratina (Crewella) sp.1.1</i>	4	4	0.145	0.806
<i>Ceratina (Crewella) sp.2</i>	2	2	0.189	0.195
<i>Ceratina (Crewella) sp.3</i>	3	3	0.187	1.084
<i>Ceratina (Crewella) sp.4</i>	1	1	0.123	0.000
<i>Ceratina (Crewella) sp.5</i>	3	1	0.154	0.000
<i>Ceratina (Crewella) sp.6</i>	1	1	0.126	0.000
<i>Chilicola sp.1</i>	1	1	0.065	0.000
<i>Colletes sp.1</i>	2	2	0.208	0.035
<i>Dialictus opacus</i>	1	1	0.095	0.672
<i>Dialictus sp.1</i>	16	10	0.097	0.068
<i>Dialictus sp.4</i>	4	4	0.079	0.055
<i>Dialictus sp.5</i>	3	1	0.088	0.000
<i>Dialictus sp.6</i>	2	1	0.088	0.000
<i>Dicranthidium aff. arenarium</i>	2	1	0.178	0.000
<i>Epanthidium autumnale</i>	1	1	0.227	0.000
<i>Epanthidium tigrinum</i>	3	3	0.245	0.231
<i>Epicharis flava</i>	2	1	0.491	0.000
<i>Eufriesea violacea</i>	6	2	0.435	0.064
<i>Euglossa townsendi</i>	1	1	0.335	0.000
<i>Eulonchopria sp.1</i>	1	1	0.154	0.000
<i>Exomalopsis analis</i>	12	10	0.165	0.205
<i>Exomalopsis auropilosa</i>	5	8	0.163	0.161
<i>Exomalopsis sp.1</i>	1	1	0.163	0.000
<i>Exomalopsis sp.2</i>	1	1	0.163	0.000
<i>Friesella schrottkyi</i>	4	4	0.111	0.020
<i>Geotrigona subterranea</i>	25	10	0.160	0.041
<i>Hylaeus sp.1</i>	1	1	0.111	0.000
<i>Hypanthidium divaricatum</i>	13	13	0.208	0.216
<i>Larocanthidium sp.1</i>	7	7	0.195	0.066
<i>Megachile (Acentron) sp.1</i>	3	3	0.319	0.061
<i>Megachile (Acentron) sp.2</i>	3	3	0.297	0.197
<i>Megachile (Chrysosarus) sp.1</i>	2	2	0.319	0.043
<i>Megachile (Chrysosarus) sp.2</i>	2	1	0.335	0.000
<i>Megachile (Dactylomegachile) sp.1</i>	8	8	0.248	0.186
<i>Megachile (Holcomegachile) sp.1</i>	1	1	0.261	0.261
<i>Megachile (Leptorachina) sp.1</i>	1	1	0.393	0.000
<i>Megachile (Leptorachis) sp.1</i>	2	2	0.281	0.543
<i>Megachile (Moureapis) sp.1</i>	5	5	0.299	0.133
<i>Megachile (Moureapis) sp.2</i>	4	4	0.312	0.088
<i>Megachile (Moureapis) sp.3</i>	3	3	0.305	0.064
<i>Megachile (Moureapis) sp.4</i>	1	1	0.307	0.000

Continuação.

Morfotipo	Total de indivíduos	Indivíduos medidos	DI (média)	DI (dev. Padrão)
<i>Megachile (Moureapis) sp.5</i>	1	1	0.283	0.000
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.1</i>	2	2	0.307	0.130
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.2</i>	2	2	0.316	0.043
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.3</i>	2	2	0.307	0.130
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.4</i>	1	1	0.267	0.000
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.5</i>	2	2	0.276	0.087
<i>Megachile sp.1</i>	1	1	0.295	0.000
<i>Megachile sp.2</i>	1	1	0.298	0.000
<i>Megachile sp.3</i>	1	1	0.289	0.000
<i>Melipona anthidioides</i>	2	1	0.233	0.000
<i>Melipona marginata</i>	4	4	0.220	0.046
<i>Melipona marginata carioca</i>	2	2	0.213	0.109
<i>Melissodes (Ecplectica) nigroaenea</i>	4	4	0.266	0.239
<i>Melissodes sp.1</i>	3	3	0.263	0.047
<i>Melissoptila buzzi</i>	1	1	0.246	0.000
<i>Melissoptila pubescens</i>	1	1	0.203	0.000
<i>Melissoptila sp.1</i>	2	2	0.244	0.043
<i>Melissoptila sp.2</i>	10	8	0.220	0.191
<i>Melissoptila sp.3</i>	1	1	0.273	0.000
<i>Melitoma segmentaria</i>	6	6	0.276	0.170
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	3	3	0.133	0.042
<i>Neocorynura aff. dilutipes</i>	2	2	0.163	0.043
<i>Neocorynura sp.1</i>	59	10	0.158	0.074
<i>Neocorynura sp.3</i>	1	1	0.157	0.000
<i>Neocorynura sp.4</i>	1	1	0.147	0.000
<i>Neocorynura sp.5</i>	1	1	0.157	0.000
<i>Nomiocolletes sp.1</i>	3	2	0.184	0.030
<i>Oxaea flavescens</i>	3	2	0.490	0.456
<i>Paratetrapedia sp.1</i>	4	3	0.211	0.301
<i>Paratetrapedia sp.10</i>	1	1	0.181	0.000
<i>Paratetrapedia sp.12</i>	1	1	0.194	0.000
<i>Paratetrapedia sp.14</i>	1	1	0.240	0.000
<i>Paratetrapedia sp.15</i>	3	3	0.192	0.077
<i>Paratetrapedia sp.16</i>	1	1	0.218	0.000
<i>Paratetrapedia sp.17</i>	6	6	0.205	0.079
<i>Paratetrapedia sp.18</i>	5	5	0.199	0.151
<i>Paratetrapedia sp.2</i>	1	1	0.225	0.094
<i>Paratetrapedia sp.3</i>	4	4	0.225	0.104
<i>Paratetrapedia sp.4</i>	1	1	0.166	0.000
<i>Paratetrapedia sp.5</i>	9	8	0.178	0.099
<i>Paratetrapedia sp.6</i>	6	6	0.184	0.084
<i>Paratetrapedia sp.7</i>	1	1	0.240	0.000
<i>Paratetrapedia sp.8</i>	1	1	0.206	0.000
<i>Paratetrapedia sp.9</i>	1	1	0.200	0.000
<i>Paratrigona aff. subnuda</i>	68	10	0.120	0.062
<i>Perditomorpha sp.1</i>	1	1	0.160	0.000
<i>Plebeia aff. droryana</i>	2	1	0.111	0.000
<i>Plebeia droryana</i>	18	10	0.111	0.473
<i>Plebeia phrynostoma</i>	6	5	0.105	0.020
<i>Plebeia remota</i>	1	1	0.104	0.000
<i>Plebeia saiqui</i>	5	3	0.135	0.048
<i>Plebeia sp.1</i>	6	3	0.106	0.014

Continuação.

Morfotipo	Total de indivíduos	Indivíduos medidos	DI (média)	DI (dev. Padrão)
<i>Psaenythia quinquefasciata</i>	3	3	0.216	0.153
<i>Psaenythia</i> sp.2	1	1	0.178	0.000
<i>Pseudagapostemon</i> sp.1	3	1	0.154	0.000
<i>Pseudaugochlora</i> sp.1	1	1	0.206	0.050
<i>Pseudaugochlora</i> sp.3	2	2	0.218	0.304
<i>Ptiloglossa</i> sp.1	1	1	0.467	0.000
<i>Ptilothrix plumata</i>	11	8	0.237	0.232
<i>Rhinocorynura</i> sp.1	3	3	0.160	0.092
<i>Rhinocorynura</i> sp.2	2	1	0.152	0.000
<i>Rhinocorynura</i> sp.3	3	3	0.116	0.032
<i>Rhinocorynura</i> sp.4	1	1	0.104	0.000
<i>Rhophitulus</i> sp.1	34	10	0.104	0.036
<i>Rhophitulus</i> sp.2	2	2	0.108	0.174
<i>Rhophitulus</i> sp.3	1	1	0.117	0.000
<i>Rhophitulus</i> sp.4	1	1	0.117	0.000
<i>Scaptotrigona tubiba</i>	6	6	0.161	0.052
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	1	1	0.187	0.000
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	7	7	0.170	0.832
<i>Tapinotaspidoides</i> sp.1	2	2	0.178	0.261
<i>Tetraglossula</i> sp.1	7	2	0.208	0.004
<i>Tetragona clavipes</i>	6	5	0.136	0.092
<i>Tetragona</i> sp.1	10	10	0.136	0.060
<i>Tetragonisca angustula</i>	12	10	0.093	0.014
<i>Tetrapedia</i> sp.1	15	10	0.257	0.152
<i>Tetrapedia</i> sp.1.1	5	1	0.252	0.000
<i>Tetrapedia</i> sp.2	6	6	0.238	0.186
<i>Tetrapedia</i> sp.2.1	10	5	0.198	0.892
<i>Tetrapedia</i> sp.3	2	2	0.212	0.130
<i>Tetrapedia</i> sp.3.1	2	2	0.206	0.043
<i>Tetrapedia</i> sp.4	5	5	0.203	0.087
<i>Tetrapedia</i> sp.5	3	3	0.203	1.030
<i>Tetrapedia</i> sp.6	3	2	0.249	0.130
<i>Thalestria spinosa</i>	3	2	0.381	0.217
<i>Thectochlora alaris</i>	1	1	0.119	0.000
<i>Thygater analis</i>	2	2	0.280	0.304
<i>Thygater palliventris</i>	1	1	0.344	0.000
<i>Trigona aff. fuscipennis</i>	1	1	0.151	0.069
<i>Trigona braueri</i>	137	10	0.144	0.042
<i>Trigona hyalinata</i>	76	10	0.170	0.061
<i>Trigona spinipes</i>	85	10	0.167	0.055
<i>Xylocopa artifex</i>	3	1	0.328	0.000
<i>Xylocopa brasiliatorum</i>	4	2	0.603	0.047

Conclusão.

Apêndice 11

Análise e seleção das características das abelhas.

As características selecionadas estavam presentes em trabalhos relacionados às interações de visitação e polinização.

Correlação de Kendall das características binárias. Em cinza estão as características que foram descartadas por apresentarem uma correlação superior a 0.70 (valores em preto). Os valores em cinza indicam correlação maior que 0.6 (correlação moderada). As características foram removidas na seguinte ordem:

- 1) Características com correlação superior a 0.70 com várias outras características (mais que duas);
- 2) Características com correlação superior a 0.70 com mais de uma característica e correlação maior que 0.6 com mais de uma característica;
- 3) Características com correlação superior a 0.70 com mais de uma característica.

As características em negrito seriam removidas por apresentarem correlação com outras características, mas após a remoção das características seguindo a ordem estipulada (das com mais correlações para as com menos correlações), elas deixaram de estar correlacionadas com outras características.

		Nesting substract									Tongue length	Proboscis length	Corbiculate	Scopa	Metasomal.scopa	Search for				Buzz pollination
		clay	trunk	rotten.wood	sandbank	soil	stems	thick.stems	twig	wood						oil	pollen	nectar	fragrances	
Nesting substract	clay	1.00	0.60	0.33	0.82	0.19	0.31	0.86	0.86	0.26	0.11	0.03	0.36	-0.17	-0.09	0.00	0.03	0.02	-0.03	-0.09
	trunk	0.60	1.00	0.17	0.60	0.14	0.15	0.63	0.63	0.09	0.23	0.08	0.71	-0.34	-0.21	-0.05	0.04	0.02	-0.04	-0.19
	rotten.wood	0.33	0.17	1.00	0.33	-0.22	0.29	0.41	0.41	-0.20	-0.19	-0.13	0.02	0.04	0.12	-0.27	0.07	0.04	-0.06	0.15
	sandbank	0.82	0.60	0.33	1.00	0.19	0.31	0.86	0.86	0.26	0.06	0.03	0.36	-0.17	-0.09	0.00	0.03	0.02	-0.03	-0.14
	soil	0.19	0.14	-0.22	0.19	1.00	-0.30	0.21	0.21	-0.13	-0.24	-0.18	-0.02	0.31	-0.27	0.29	0.12	-0.08	0.01	-0.07
	stems	0.31	0.15	0.29	0.31	-0.30	1.00	0.39	0.39	0.42	0.34	0.03	-0.03	-0.37	0.25	-0.29	0.08	0.05	-0.06	-0.31
	thick.stems	0.86	0.63	0.41	0.86	0.21	0.39	1.00	1.00	0.29	0.14	0.02	0.38	-0.24	-0.12	0.01	0.03	0.02	-0.02	-0.08
	twig	0.86	0.63	0.41	0.86	0.21	0.39	1.00	1.00	0.29	0.14	0.02	0.38	-0.24	-0.12	0.01	0.03	0.02	-0.02	-0.08
	wood	0.26	0.09	-0.20	0.26	-0.13	0.42	0.29	0.29	1.00	0.49	0.17	-0.02	-0.16	0.08	0.34	0.09	0.05	0.03	-0.29
Tongue length		0.11	0.23	-0.19	0.06	-0.24	0.34	0.14	0.14	0.49	1.00	0.49	0.24	-0.29	-0.21	0.45	-0.10	-0.05	0.08	-0.43
Proboscis length		0.03	0.08	-0.13	0.03	-0.18	0.03	0.02	0.02	0.17	0.49	1.00	0.03	-0.01	-0.13	0.22	-0.05	-0.03	0.04	0.01
Corbiculate		0.36	0.71	0.02	0.36	-0.02	-0.03	0.38	0.38	-0.02	0.24	0.03	1.00	-0.42	-0.28	-0.09	0.05	0.03	0.23	0.00
Scopa		-0.17	-0.34	0.04	-0.17	0.31	-0.37	-0.24	-0.24	-0.16	-0.29	-0.01	-0.42	1.00	-0.10	0.32	0.12	-0.07	-0.10	-0.04
Metasomal.scopa		-0.09	-0.21	0.12	-0.09	-0.27	0.25	-0.12	-0.12	0.08	-0.21	-0.13	-0.28	-0.10	1.00	-0.34	0.00	0.05	-0.07	0.06
Search for	oil	0.00	-0.05	-0.27	0.00	0.29	-0.29	0.01	0.01	0.34	0.45	0.22	-0.09	0.32	-0.34	1.00	0.07	-0.12	-0.06	-0.20
	pollen	0.03	0.04	0.07	0.03	0.12	0.08	0.03	0.03	0.09	-0.10	-0.05	0.05	0.12	0.00	0.07	1.00	-0.01	0.01	0.07
	nectar	0.02	0.02	0.04	0.02	-0.08	0.05	0.02	0.02	0.05	-0.05	-0.03	0.03	-0.07	0.05	-0.12	-0.01	1.00	0.01	-0.13
	fragrances	-0.03	-0.04	-0.06	-0.03	0.01	-0.06	-0.02	-0.02	0.03	0.08	0.04	0.23	-0.10	-0.07	-0.06	0.01	0.01	1.00	0.07
	Buzz pollination	-0.09	-0.19	0.15	-0.14	-0.07	-0.31	-0.08	-0.08	-0.29	-0.43	0.01	0.00	-0.04	0.06	-0.20	0.07	-0.13	0.07	1.00

Correlação de Spearman das características ordinais e quantitativas. Em cinza está a característica que foi descartada por apresentarem uma correlação superior a 0.70 (valores em preto). Os valores em cinza indicam correlação maior que 0.6 (correlação moderada).

	Sociality	Body categorical size	Hairy body	Intertegular distance
Sociality	1.00	-0.39	-0.31	-0.50
Body categorical size	-0.39	1.00	0.43	0.72
Hairy body	-0.31	0.43	1.00	0.63
Intertegular distance	-0.50	0.72	0.63	1.00

Apêndice 12

Metodologia de agrupamento funcional no R 3.4 (R Core Team, 2020). A partir da tabela de características de tipos mistos de variáveis, obtém-se a distância entre as espécies utilizando o método de Gower (função “dist.ktab” do pacote “ade4”) (Dray & Dufour 2007, Pavoine et al. 2009). Para o agrupamento hierárquico, é construído um PCoA (*Principal Coordinate Analysis* - Análise de Coordenadas Principais - função “pcoa” do pacote “ape”) (Paradis & Schliep 2019) e uma matriz de distâncias euclidianas (função “dist”) a partir dos sete primeiros componentes, seguindo o que Maire et al. (2015) propuseram para a construção do índice. Porém, como o foco foi a construção de grupos funcionais, a partir dessa matriz de distâncias realizamos o agrupamento hierárquico (função “hclust”) com menor Silhouette (função “silhouette” do pacote “cluster”) (Maechler et al. 2019). Para o agrupamento utilizando redes neurais, a partir da matriz de distâncias, selecionamos qual das malhas de saída do Kohonen (função “trainSOM” do pacote “SOMbrero”) (Vialaneix et al. 2020) apresentou a menor energia para selecionar o agrupamento resultante dessa malha.

Referências

- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Pavoine, S., Vallet, J., Dufour, A.-B., Gachet, S., & Daniel, H. (2009). On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity. *Oikos*, **118**(3), 391–402. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.16668.x>
- Dray S, Dufour A (2007). “The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists.” *Journal of Statistical Software*, **22**(4), 1-20. <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>
- Paradis E. & Schliep K. 2019. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics* 35:526-528.

- Pavoine, S., Vallet, J., Dufour, A.-B., Gachet, S. & Daniel, H. (2009) On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity. *Oikos*, **118**, 391–402.
- Maire, E., Grenouillet, G., Brosse, S. & Villéger, S. (2015) How many dimensions are needed to accurately assess functional diversity? A pragmatic approach for assessing the quality of functional spaces. *Global Ecology and Biogeography*, **24**, 728–740.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K. (2019). cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 2.1.0.
- Vialaneix N., Maigne E., Mariette J., Olteanu M., Rossi F., Bendhaiba L., Bolaert J. (2020) SOMbrero: SOM Bound to Realize Euclidean and Relational Outputs. R package version 1.3-1.

Apêndice 13

Metodologia da análise dos pares de interações. A partir da rede bipartida (1), construímos a projeção da rede para as abelhas (2). A partir da rede projetada, obtivemos a lista dos pares de interação (3) utilizada para a análise das interações dos grupos funcionais (4). Primeiro construímos a lista de interações entre grupos por coleta, ponto e paisagem (a) e a lista de interações totais (b) para calcularmos os pares iguais e diferentes totais (c).

Apêndice 14

Relação entre a quantidade de pares (iguais e pares diferentes) observados e esperados. Etapas para determinar se presença de diferenças significativas entre o observado e o esperado nos diferentes agrupamentos é decorrente de características relacionadas a coleta ou a características do ambiente.

Apêndice 16

Composição taxonômica (famílias e gêneros em cores diferentes) dentro de cada tipo de agrupamento funcional (números). Comprimento das barras é proporcional à quantidade de espécies dentro de cada grupo. Seguindo o critério de formação de grupos com base em sete dimensões do PCoA, cada método gerou conjuntos diferentes de organismos. Cada número é o identificador de cada grupo, porém a numerações são independentes para cada tipo de agrupamento (ex. o grupo 1 do agrupamento hierárquico não tem relação com o grupo 1 do agrupamento por combinação de características).

Composição de famílias, sendo que cada cor representa uma família (notar que os grupos mais diversos dentro de cada agrupamento funcional são compostos principalmente por Apidae e Megachilidae):

Composição de gêneros, sendo que cada cor representa um gênero:

Apêndice 17

Identificadores das coletas, pontos e paisagens em que ocorreram pares de interação com frequências significativamente diferentes do esperado. Os valores entre parênteses indicam a quantidade total de paisagens, pontos e coletas, respectivamente. Os valores entre colchetes indicam a quantidade de paisagens, pontos e coletas com pares de interação com frequências significativamente diferentes do esperado, respectivamente. Em negrito estão paisagens, pontos e coletas que apresentaram pares de interação com frequências significativamente diferentes do esperado para todas as formas de agrupamento.

Agrupamento	Paisagem (10)	Ponto (28)	Coleta (59)
Família	[3] 16%, 69%, 35%	[3] 2p5, 1p16, 1p9	[3] 15/12/2015 2p5, 16/12/2015 1p9 , 26/01/2016 2p5
Subfamília	[3] 60%, 16%, 35%	[3] 2p5, 1p5, 1p9	[4] 15/12/2015 2p5, 16/12/2015 1p9 , 22/02/2017 2p48, 26/01/2016 2p5
Gênero	[4] 16%, 69%, 35% , 48%	[5] 1p16, 3p16, 1p9 , 4p48, 2p48	[6] 15/01/2017 3p16, 16/12/2015 1p9 , 17/12/2016 1p16, 21/02/2017 4p48, 22/02/2017 2p48, 24/01/2016 3p3
Combinação	[3] 35% , 48%, 28%	[5] 3p3, 2p5, 1p9 , 1p10, 4p48	[4] 15/12/2015 2p5, 16/12/2015 1p9 , 17/12/2015 1p10, 21/02/2017 4p48
Hierárquico	[3] 35% , 48%, 28%	[4] 3p3, 1p9 , 1p10, 4p48	[4] 12/12/2015 3p3, 16/12/2015 1p9 , 17/12/2015 1p10, 21/02/2017 4p48
Kohonen	[4] 16%, 35% , 48%, 28%	[5] 3p16, 1p9 , 1p10, 3p60, 4p48	[4] 15/01/2017 3p16, 16/12/2015 1p9 , 17/12/2015 1p10, 21/02/2017 4p48

Apêndice 18

Detalhe das paisagens de 1450 m de raio em torno dos pontos de coleta.

(c) indica a quantidade de classes de uso do solo (Mapbiomas) que compõe a paisagem e (n) é a porcentagem de área natural.

Apêndice 19

Análise e seleção das métricas de paisagem consideradas na análise do capítulo 3.

Lista de métricas da paisagem consideradas. As métricas em cinza foram descartadas da análise por apresentarem uma correlação de Spearman. As siglas presentes na coluna “Short form” da tabela são as mesmas siglas presentes na matriz de correlação (tabela a seguir):

Level	Type	Subject	Short form	Metric
class	Composition	antropic	pland.a	Percentage of landscape of class
		forest	area_mn.fflo	Mean of patch area
			dif_pland.fflo	Percentage of landscape of class (2014-1985)
			pland.fflo	Percentage of landscape of class
		natural	pland.n	Percentage of landscape of class
		pasture	area_mn.past	Mean of patch area
			pland.past	Percentage of landscape of class
		pature + mosaic (agriculture and pasture)	pland.psts	Percentage of landscape of class
	Configuration	forest	ed.fflo	Edge Density
			iji.fflo	Interspersion and Juxtaposition index
			shape_mn.fflo	Mean shape index
		pasture	ed.past	Edge Density
			frac_cv.past	Coefficient of variation fractal dimension index
			iji.past	Interspersion and Juxtaposition index
landscape	Configuration	all classes	shape_mn.past	Mean shape index
			shdi	Shannon's diversity index
			contag	Contagion
			dif_ed	Edge Density (2014-1985)
			ed	Edge Density
			iji	Interspersion and Juxtaposition index
			lsi	Landscape shape index
			shape_mn	Mean shape index

Correlação das métricas de paisagem. As métricas em cinza foram descartadas da análise por apresentarem uma correlação de Spearman superior a 0.70 (valores em preto). As características foram removidas na seguinte ordem:

- 4) Características com correlação superior a 0.70 com várias outras características (mais que duas);
- 5) Características com correlação superior a 0.70 com mais de uma característica e correlação maior que 0.6 com mais de uma característica;
- 6) Características com correlação superior a 0.70 com mais de uma característica.

	contag	ed	iji	lsi	shape_mn	shdi	ed.fflo	ed.past	area_mn.fflo	area_mn.past	frac_cv.past	shape_mn.fflo	shape_mn.past	iji.fflo	iji.past	pland.fflo	pland.past	pland.psts	pland.n	pland.a	dif_ed	dif_pland.fflo
contag	1.00	-0.56	-0.66	-0.56	0.00	-0.54	-0.32	-0.36	0.36	-0.06	-0.02	0.23	-0.10	-0.43	-0.36	0.30	-0.17	-0.20	0.34	-0.33	-0.02	-0.04
ed	-0.56	1.00	-0.05	1.00	0.22	0.53	0.52	0.59	-0.28	-0.12	0.14	-0.10	0.28	-0.10	-0.24	-0.23	0.18	0.44	-0.23	0.22	0.42	0.05
iji	-0.66	-0.05	1.00	-0.05	-0.33	0.26	0.00	-0.05	-0.07	0.15	-0.03	-0.21	0.00	0.82	0.77	0.02	-0.01	-0.22	-0.02	0.02	-0.23	0.02
lsi	-0.56	1.00	-0.05	1.00	0.22	0.53	0.52	0.59	-0.28	-0.12	0.14	-0.10	0.28	-0.10	-0.24	-0.23	0.18	0.44	-0.23	0.22	0.42	0.05
shape_mn	0.00	0.22	-0.33	0.22	1.00	-0.25	0.17	0.05	0.20	-0.29	-0.11	0.45	0.13	-0.52	-0.50	0.12	-0.16	0.10	0.10	-0.10	-0.02	-0.08
shdi	-0.54	0.53	0.26	0.53	-0.25	1.00	0.10	0.47	-0.68	0.27	0.30	-0.62	0.34	0.24	0.20	-0.55	0.33	0.35	-0.52	0.51	0.41	0.02
ed.fflo	-0.32	0.52	0.00	0.52	0.17	0.10	1.00	-0.23	0.18	-0.52	-0.37	0.11	-0.29	0.14	0.12	0.36	-0.45	-0.33	0.34	-0.34	-0.12	0.05
ed.past	-0.36	0.59	-0.05	0.59	0.05	0.47	-0.23	1.00	-0.59	0.56	0.70	-0.34	0.67	-0.11	-0.27	-0.69	0.84	0.90	-0.69	0.69	0.46	-0.11
area_mn.fflo	0.36	-0.28	-0.07	-0.28	0.20	-0.68	0.18	-0.59	1.00	-0.61	-0.48	0.70	-0.44	-0.05	0.05	0.90	-0.69	-0.64	0.90	-0.90	-0.20	0.11
area_mn.past	-0.06	-0.12	0.15	-0.12	-0.29	0.27	-0.52	0.56	-0.61	1.00	0.84	-0.50	0.68	0.23	0.02	-0.73	0.86	0.63	-0.75	0.75	0.26	-0.13
frac_cv.past	-0.02	0.14	-0.03	0.14	-0.11	0.30	-0.37	0.70	-0.48	0.84	1.00	-0.37	0.85	0.10	-0.12	-0.58	0.76	0.66	-0.59	0.59	0.47	-0.13
shape_mn.fflo	0.23	-0.10	-0.21	-0.10	0.45	-0.62	0.11	-0.34	0.70	-0.50	-0.37	1.00	-0.23	-0.30	-0.16	0.55	-0.50	-0.39	0.53	-0.53	-0.20	0.19
shape_mn.past	-0.10	0.28	0.00	0.28	0.13	0.34	-0.29	0.67	-0.44	0.68	0.85	-0.23	1.00	0.02	-0.22	-0.52	0.60	0.58	-0.52	0.52	0.55	-0.03
iji.fflo	-0.43	-0.10	0.82	-0.10	-0.52	0.24	0.14	-0.11	-0.05	0.23	0.10	-0.30	0.02	1.00	0.80	0.11	0.00	-0.31	0.08	-0.08	-0.27	-0.02
iji.past	-0.36	-0.24	0.77	-0.24	-0.50	0.20	0.12	-0.27	0.05	0.02	-0.12	-0.16	-0.22	0.80	1.00	0.18	-0.18	-0.47	0.16	-0.16	-0.36	0.03
pland.fflo	0.30	-0.23	0.02	-0.23	0.12	-0.55	0.36	-0.69	0.90	-0.73	-0.58	0.55	-0.52	0.11	0.18	1.00	-0.83	-0.80	0.99	-0.99	-0.25	0.04
pland.past	-0.17	0.18	-0.01	0.18	-0.16	0.33	-0.45	0.84	-0.69	0.86	0.76	-0.50	0.60	0.00	-0.18	-0.83	1.00	0.89	-0.83	0.83	0.27	-0.09
pland.psts	-0.20	0.44	-0.22	0.44	0.10	0.35	-0.33	0.90	-0.64	0.63	0.66	-0.39	0.58	-0.31	-0.47	-0.80	0.89	1.00	-0.79	0.79	0.39	-0.07
pland.n	0.34	-0.23	-0.02	-0.23	0.10	-0.52	0.34	-0.69	0.90	-0.75	-0.59	0.53	-0.52	0.08	0.16	0.99	-0.83	-0.79	1.00	-1.00	-0.25	0.06
pland.a	-0.33	0.22	0.02	0.22	-0.10	0.51	-0.34	0.69	-0.90	0.75	0.59	-0.53	0.52	-0.08	-0.16	-0.99	0.83	0.79	-1.00	1.00	0.25	-0.06
dif_ed	-0.02	0.42	-0.23	0.42	-0.02	0.41	-0.12	0.46	-0.20	0.26	0.47	-0.20	0.55	-0.27	-0.36	-0.25	0.27	0.39	-0.25	0.25	1.00	0.06
dif_pland.fflo	-0.04	0.05	0.02	0.05	-0.08	0.02	0.05	-0.11	0.11	-0.13	-0.13	0.19	-0.03	-0.02	0.03	0.04	-0.09	-0.07	0.06	-0.06	0.06	1.00

Análise dos componentes principais das métricas de paisagem. As métricas em cinza foram descartadas por serem equivalentes a informação de outras métricas (com relação à direção, ângulo e intensidade).

Apêndice 20

Porcentagem média da variação de cada uma das variáveis incluídas. Relação das métricas da paisagem com as interações para os agrupamentos por gênero, hierárquico, combinação e Kohonen utilizando a versão HMSC 2.0. A identidade dos pontos de coleta explica uma porcentagem maior que as demais variáveis. O contexto de 5 km e as métricas da paisagem explicam uma proporção maior dos dados de ocorrências das interações, seguido das métricas de densidade de borda de pasto (ed.past), cobertura de floresta (pland.fflo), densidade de borda da paisagem (ed), índice de Shannon da paisagem (shdi) e forma média da floresta (shape.mn.fflo). Siglas: contag: contágio; shape.mn: forma média da paisagem; ed.fflo: borda de floresta; shape.mn.past: forma média de pasto; dif.pland.fflo: diferença de cobertura de floresta entre os anos de 1985 e 2014; alttd: altitude com relação ao nível do mar; altura: altura estimada do dossel; subboscque: número de troncos presentes no subboscque por metro quadrado; tronco: número de troncos caídos; dossel.media: cobertura do dossel média; diâmetro na altura do peito por metro quadrado. Os fatores “pontos(hexágono)” e “contexto(5km)” representa as variações relacionadas ao desenho experimental.

Apêndice 21

Análise e seleção das características das plantas. As características selecionadas estavam presentes em trabalhos relacionados às interações de visitação e polinização (CAMPBELL, 2009; HOEHN et al., 2008; NORDSTRÖM et al., 2017; NUNES-SILVA; HRNCIR; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010; VÁZQUEZ et al., 2009; VIZENTIN-BUGONI et al., 2018).

Correlação de Kendall das características binárias. Em cinza está a característica que foi descartada por apresentarem uma correlação superior a 0.70 (valores em preto). Os valores em cinza indicam correlação maior que 0.6 (correlação moderada).

	Habit. herbaceous	Habit. subshrub	Habit. bush	Habit. climb	Habit. tree	flower.positionA	flower.positionT	flower.positionL	Proffer.pollen	Proffer.nectar	Proffer.oil	Anther.active	Anther.exposed	Anther.unexposed	Anther.restrict	Anther.pollen
Habit. herbaceous	1.00	-0.12	-0.65	-0.22	-0.32	-0.13	-0.01	-0.02	0.07	0.09	-0.11	0.02	-0.04	-0.10	-0.18	-0.16
Habit. subshrub	-0.12	1.00	-0.02	-0.03	-0.14	0.07	-0.04	0.16	-0.12	0.24	0.21	0.01	-0.01	0.07	-0.08	0.08
Habit. bush	-0.65	-0.02	1.00	-0.11	0.03	-0.06	0.15	-0.04	-0.19	-0.06	-0.07	0.13	-0.12	0.32	0.13	0.12
Habit. climb	-0.22	-0.03	-0.11	1.00	-0.08	0.07	-0.05	-0.05	0.02	0.03	0.37	-0.06	0.00	-0.12	-0.12	0.05
Habit. tree	-0.32	-0.14	0.03	-0.08	1.00	0.10	-0.03	0.13	0.13	-0.25	-0.03	-0.07	0.12	-0.13	0.46	0.05
flower.positionA	-0.13	0.07	-0.06	0.07	0.10	1.00	-0.61	-0.18	0.04	-0.05	0.11	-0.02	0.10	-0.12	0.02	-0.08
flower.positionT	-0.01	-0.04	0.15	-0.05	-0.03	-0.61	1.00	-0.29	-0.04	0.10	-0.14	0.16	-0.06	0.13	-0.02	0.00
flower.positionL	-0.02	0.16	-0.04	-0.05	0.13	-0.18	-0.29	1.00	-0.05	0.04	-0.02	-0.05	-0.06	0.05	0.05	0.04
Proffer.pollen	0.07	-0.12	-0.19	0.02	0.13	0.04	-0.04	-0.05	1.00	-0.27	0.04	-0.26	0.48	-0.75	-0.01	0.23
Proffer.nectar	0.09	0.24	-0.06	0.03	-0.25	-0.05	0.10	0.04	-0.27	1.00	-0.14	-0.03	-0.18	0.20	-0.40	0.00
Proffer.oil	-0.11	0.21	-0.07	0.37	-0.03	0.11	-0.14	-0.02	0.04	-0.14	1.00	-0.02	0.04	-0.04	-0.04	0.02
Anther.active	0.02	0.01	0.13	-0.06	-0.07	-0.02	0.16	-0.05	-0.26	-0.03	-0.02	1.00	-0.55	0.40	0.51	-0.50
Anther.exposed	-0.04	-0.01	-0.12	0.00	0.12	0.10	-0.06	-0.06	0.48	-0.18	0.04	-0.55	1.00	-0.66	-0.19	0.26
Anther.unexposed	-0.10	0.07	0.32	-0.12	-0.13	-0.12	0.13	0.05	-0.75	0.20	-0.04	0.40	-0.66	1.00	0.10	-0.08
Anther.restrict	-0.18	-0.08	0.13	-0.12	0.46	0.02	-0.02	0.05	-0.01	-0.40	-0.04	0.51	-0.19	0.10	1.00	-0.23
Anther.pollen	-0.16	0.08	0.12	0.05	0.05	-0.08	0.00	0.04	0.23	0.00	0.02	-0.50	0.26	-0.08	-0.23	1.00

Correlação de Spearman das características ordinais. Nenhuma das características apresentou forte correlação.

	Colour.Cia	Colour.Mag	Colour.Yel	Diameter	Depth
Colour.Cia	1.00	0.16	0.22	-0.15	-0.24
Colour.Mag	0.16	1.00	-0.43	0.09	0.46
Colour.Yel	0.22	-0.43	1.00	0.01	-0.14
Diameter	-0.15	0.09	0.01	1.00	0.17
Depth	-0.24	0.46	-0.14	0.17	1.00

Resultados do teste Qui-quadrado para a relação da variável nominal de tipo floral e as características de tamanho (diâmetro e profundidade).

```
# tipo de flor e diametro da flor
> chisq.test(temp$nom,temp$diam)
Pearson's Chi-squared test
data: temp$nom and temp$diam
X-squared = 75.366, df = 28, p-
value = 3.203e-06
```

```
# tipo de flor e profundidade da
flor
> chisq.test(temp$nom,temp$dept)
Pearson's Chi-squared test
data: temp$nom and temp$dept
X-squared = 55.776, df = 28, p-
value = 0.00137
```

Apêndice 22

Características funcionais das plantas relacionadas às interações de polinização e visitação floral. A fonte de cada uma das características está no Apêndice 12. Habit: herbaceous (herb), subshrub (sub), bush, shrub (shr), voluvel (climb), tree. Position (flower position): axilar, terminal, both (axilar+terminal), ramiflorous, leaf opposed. Proffer: pollen, nectar, oil. Colour (flower): greenish, pink, red, violet, white, yellow. Diameter (Dia) and depth (Dep): inconspicuous (0), small (1), medium (2), large (3), very large (4).

Species	Habit	Position	Proffer	Colour	Dia	Dep	Flower type	Anther type
<i>Adenostemma brasilianum</i>	herb	terminal	p, n	white	s	s	tube	outer
<i>Ageratum conyzoides</i>	herb	terminal	p, n	violet	i	s	brush	outer
<i>Alternanthera brasiliana</i>	herb	axilar	p, n	white	i	i	i	outer
<i>Amaranthus deflexus</i>	herb	terminal	p, n	greenish	i	i	i	outer
<i>Amaranthus retroflexus</i>	herb	both	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Asclepias curassavica</i>	herb	terminal	n	red	m	s	dish	pollinium
<i>Baccharis anomala</i>	climb	terminal	p, n	white	s	i	brush	secondary
<i>Baccharis cognata</i>	bush	axilar	p, n	yellow	s	s	brush	outer
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	bush	both	p, n	greenish	i	s	brush	outer
<i>Baccharis trinervis</i>	bush, climb	terminal	p, n	greenish	i	s	brush	outer
<i>Bidens pilosa</i>	herb	terminal	p, n	white	i	s	prt	outer
<i>Chromolaena maximiliani</i>	shr	terminal	p, n	violet	i	s	brush	secondary
<i>Chrysolaena cognata</i>	sub	terminal	n	violet	i	s	brush	outer
<i>Cirsium vulgare</i>	herb	terminal	p, n	pink	i	m	brush	outer
<i>Commelina benghalensis</i>	herb	terminal	p	violet	s	i	flag	outer
<i>Commelina erecta</i>	herb	terminal	p	violet	vl	i	flag	outer
<i>Croton lundianus</i>	herb	terminal	p, n	white	i	i	i	outer
<i>Cuphea racemosa</i>	herb	terminal	n	violet	i	s	tube	inner
<i>Cyperus luzulae</i>	herb	terminal	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Desmodium adscendens</i>	sub	terminal	p	violet	s	i	flag	active
<i>Desmodium affine</i>	sub	terminal	p	white	s	i	flag	active
<i>Desmodium incanum</i>	sub	terminal	p	violet	s	s	flag	outer
<i>Desmodium uncinatum</i>	sub	terminal	p	violet	s	s	flag	outer
<i>Dichorisandra pubescens</i>	herb	terminal	p	violet	m	m	flag	porous
<i>Dichorisandra thyrsiflora</i>	herb	terminal	p	violet	s	s	dish	porous
<i>Digitaria horizontalis</i>	herb	terminal	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Elephantopus mollis</i>	herb	axilar	p, n	violet	i	s	brush	secondary
<i>Eleusine indica</i>	herb	terminal	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Emilia fosbergii</i>	herb	terminal	p, n	pink	i	m	brush	outer
<i>Emilia sonchifolia</i>	herb	terminal	p, n	yellow	i	m	brush	outer
<i>Erechtites valerianifolius</i>	herb	axilar	p, n	violet	i	m	brush	outer
<i>Euphorbia heterophylla</i>	herb	terminal	p, n	greenish	i	i	i	outer
<i>Galinsoga parviflora</i>	herb	axilar	p, n	white	i	i	dish	outer
<i>Grazelia intermedia</i>	sub	both	p, n	white	i	s	brush	outer
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	bush	terminal	p, n	red	vl	m	dish	outer
<i>Hypoxis decumbens</i>	herb	terminal	p	yellow	m	i	dish	outer
<i>Hyptis radicans</i>	herb	terminal	p, n	yellow	i	i	flag	outer
<i>Impatiens walleriana</i>	herb	axilar	n	pink	vl	l	tube	inner
<i>Ipomoea cairica</i>	climb	axilar	p, n	violet	m	vl	funnel	outer
<i>Jaegeria hirta</i>	herb	terminal	p, n	yellow	s	i	dish	outer
<i>Lantana camara</i>	sub	leaf	n	white	s	s	tube	inner
<i>Leandra melastomoides</i>	bush, tree	terminal	p	white	s	i	funnel	porous
<i>Leandra sericea</i>	sub	terminal	p	white	s	s	funnel	porous
<i>Leandra variabilis</i>	bush, tree	terminal	p	white	i	i	i	porous
<i>Leonurus japonicus</i>	herb, climb	terminal	p, n	violet	i	s	gullet	outer
<i>Ludwigia sericea</i>	bush	terminal	p, n	yellow	vl	s	dish	outer
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	herb	terminal	p, n	violet	m	m	flag	outer
<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	herb, sub	leaf	p, n	violet	i	s	flag	outer
<i>Mesosphaerum suaveolens</i>	herb, sub	opposed leaf	p, n	violet	i	s	flag	outer
<i>Miconia valtheri</i>	tree	opposed leaf	p	white	i	i	i	porous
		opposed						

Continua.

Species	Habit	Position	Proffer	Colour	Dia	Dep	Flower type	Anther type
<i>Mimosa debilis</i>	herb, sub	terminal	p, n	violet	i	i	brush	outer
<i>Mimosa pudica</i>	herb, sub	terminal	p, n	violet	i	i	brush	outer
<i>Mimosa ramosissima</i>	sub	terminal	p, n	violet	i	i	brush	outer
<i>Moquiniastrium polymorphum</i>	tree	both	p, n	yellow	i	s	brush	outer
<i>Neomarica caerulea</i>	herb	terminal		white	vl	l	dish	outer
<i>Olyra glaberrima</i>	herb	terminal	p	greenish	i	s	i	outer
<i>Orthopappus angustifolius</i>	herb	terminal	p, n	white	i	s	brush	outer
<i>Oxalis latifolia</i>	herb	terminal	p, n	pink	m	m	funnel	outer
<i>Palicourea forsteronioides</i>	bush, tree	terminal	n	white	i	i	i	distyly
<i>Palicourea marcgravii</i>	bush	terminal	n	violet	s	l	tube	distyly
<i>Paspalum mandiocanum</i>	herb	terminal	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Paspalum notatum</i>	herb	axilar	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Pavonia communis</i>	sub	terminal	p, n	yellow	vl	s	dish	outer
<i>Peixotoa parviflora</i>	shr, climb	terminal	p, o	yellow	vl	s	dish	outer
<i>Piper aduncum</i>	bush, tree	both	p	greenish	vl	i	brush	outer
<i>Piper amalago</i>	bush	terminal	p	greenish	vl	i	brush	outer
<i>Piper gaudichaudianum</i>	bush	both	p	greenish	vl	i	brush	outer
<i>Piper richardiifolium</i>	bush	axilar	p	greenish	vl	i	brush	outer
<i>Pombalia atropurpurea</i>	sub	terminal	n	greenish	i	i	i	inner
<i>Praxelis diffusa</i>	herb	terminal	p, n	violet	i	s	brush	outer
<i>Psychotria aff. hoffmannseggiana</i>	sub	terminal	n	white	i	i	i	distyly
<i>Psychotria cf. leiocarpa</i>	bush	both	n	white	s	s	tube	distyly
<i>Psychotria suterella</i>	bush	terminal	n	white	s	m	tube	distyly
<i>Renealmia petasites</i>	herb	terminal	n	pink	s	l	tube	inner
<i>Rubus rosifolius</i>	herb, sub	axilar	p, n	white	l	i	brush	outer
<i>Salvia splendens</i>	bush, herb, sub	both	n	red	s	vl	tube	active
<i>Scleria distans</i>	herb	apical	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Sida glaziovii</i>	sub	both	p, n	white	m	s	dish	outer
<i>Sida planicaulis</i>	herb, sub	both	p, n	greenish	s	i	dish	outer
<i>Sida rhombifolia</i>	herb	apical	p, n	greenish	m	i	dish	outer
<i>Sida tuberculata</i>	sub	both	p, n	greenish	s	i	dish	outer
<i>Solanum americanum</i>	herb	axilar	p	white	s	i	dish	porous
<i>Solanum grandiflorum</i>	tree	both	p, n	violet	m	l	tube	porous
<i>Solanum granuloseprosum</i>	tree	terminal	p	violet	m	s	funnel	porous
<i>Solidago chilensis</i>	sub	apical	p, n	yellow	i	s	dish	outer
<i>Sonchus oleraceus</i>	herb	terminal	p, n	yellow	s	m	brush	outer
<i>Sphagneticola trilobata</i>	herb	apical	p, n	yellow	i	s	prt	outer
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	herb, shr	apical	n	violet	s	s	tube	inner
<i>Stylosanthes guianensis</i>	herb, shr	both	p, n	yellow	s	s	flag	outer
<i>Stylosanthes viscosa</i>	herb	both	n	yellow	i	i	i	active
<i>Tibouchina herbacea</i>	sub	apical	p	violet	l	s	dish	porous
<i>Tibouchina pulchra</i>	tree	apical	p	violet	vl	s	dish	porous
<i>Tradescantia zebrina</i>	herb	apical	p	pink	m	i	dish	outer
<i>Tragia volubilis</i>	climb	both	p	greenish	i	i	i	outer
<i>Trichogoniopsis adenantha</i>	bush	apical	p, n	violet	i	s	brush	outer
<i>Tripogandra diuretica</i>	herb	apical	p	white	s	i	dish	antherodes
<i>Vernonanthura polyanthes</i>	bush	apical	p, n	violet	i	s	brush	outer
<i>Wilbrandia verticillata</i>	climb	axilar	n	white	s	s	funnel	outer
<i>Zornia latifolia</i>	sub	both	p, n	yellow	s	s	flag	outer
<i>Ctenanthe compressa</i>	herb	terminal	p, n	white	s	i	tube	secondary
<i>Saranthe eichleri</i>	herb	terminal	p, n	white	m	i	tube	outer
<i>Solanum palinacanthum</i>	bush	axilar	p	violet	l	s	funnel	porous

Conclusão.

Apêndice 23

Fonte utilizadas como referências para o preenchimento da tabela das características das plantas.

Os trabalhos adotados para a nomenclatura de algumas características foram: Kok & Biffin (2010) para posição da flor; Machado & Lopes (2004) e Rech et al. (2014) para cor da flor e Faegri & Pijl (1979) para tipo da flor. Para os dados de hábito e posição da flor foram utilizados os dados de descrição das plantas e as exsicatas presentes no Re flora (Re flora, 2020a, 2020b), além dos dados da planilha de campo. Para recurso oferecido, hábito e cor da flor foram utilizados dados do RCPol (RCPol, 2020) além dos dados da planilha de campo. Os dados de 84 espécies sobre tipo de antera, tamanho, cor e tipo floral foram pesquisados pela Karoline Batista de Lima. Algumas plantas (88 espécies) demandaram a busca por artigos específicos para preencher todas as colunas da tabela. As fontes relacionadas a cada espécie estão na tabela a seguir:

Espécie	Fonte
<i>Adenostemma brasilianum</i>	Godinho, 2007; Valentin-Silva et al., 2016
<i>Ageratum conyzoides</i>	Dores et al., 2014; Global Invasive Species Database GISD, 2015
<i>Alternanthera brasiliana</i>	Lopes et al., 2016; Aluri & Chappidi, 2017
<i>Amaranthus deflexus</i>	Weaver & McWilliams, 1980
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Weaver & McWilliams, 1980
<i>Asclepias curassavica</i>	Wyatt & Broyles, 1994
<i>Baccharis anomala</i>	Leins & Erbar, 1990
<i>Baccharis cognata</i>	Simpson, 2010
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Simpson, 2010
<i>Baccharis trinervis</i>	Simpson, 2010
<i>Bidens pilosa</i>	Grombone-Guaratini et al., 2004; Simpson, 2010
<i>Chromolaena maximilianii</i>	Almeida-Neto et al., 2010; Simpson, 2010
<i>Chrysolaena cognata</i>	Simpson, 2010; Fagundes et al., 2015
<i>Cirsium vulgare</i>	Simpson, 2010; CABI, 2019
<i>Commelina benghalensis</i>	Faden, 1992
<i>Commelina erecta</i>	Faden, 1992
<i>Croton lundianus</i>	Freitas et al., 2001; De-Paula et al., 2011
<i>Ctenanthe compressa</i>	Vieira et al., 2012
<i>Cuphea racemosa</i>	Facco, 2015
<i>Cyperus luzulae</i>	Simpson, 2010; Soares et al., 2015
<i>Desmodium adscendens</i>	Martini et al., 2010; Alemán et al., 2014
<i>Desmodium affine</i>	Freitas, 2012; Alemán et al., 2014; Garcia et al., 2017
<i>Desmodium incanum</i>	Alemán et al., 2014
<i>Desmodium uncinatum</i>	Alemán et al., 2014
<i>Dichorisandra pubescens</i>	Faden, 1992; Aona, 2008
<i>Dichorisandra thyrsiflora</i>	Faden, 1992; Aona, 2008
<i>Elephantopus mollis</i>	Simpson, 2010
<i>Eleusine indica</i>	Sartorelli et al., 2018
<i>Emilia fosbergii</i>	Simpson, 2010
<i>Emilia sonchifolia</i>	Simpson, 2010
<i>Erechtites valerianifolius</i>	Simpson, 2010
<i>Euphorbia heterophylla</i>	CABI, 2019
<i>Galinsoga parviflora</i>	Ferreira, 2006; Simpson, 2010
<i>Grazielia intermedia</i>	Simpson, 2010; Castro, 2017
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Sawidis et al., 1989
<i>Hypoxis decumbens</i>	Imaguire, 1974; Raimúndez & Ramírez, 1998
<i>Hyptis radicans</i>	Raju & Reddi, 1989; Lopes & Jardim, 2008
<i>Ipomoea cairica</i>	Maimoni-Rodella & Yanagizawa, 2007; Simpson, 2010

Continua.

Espécie	Fonte
<i>Jaegeria hirta</i>	Simpson, 2010; Meneguzzo, 2013
<i>Lantana camara</i>	Barrows, 1976
<i>Leandra melastomoides</i>	Goldenberg & Varassin, 2001
<i>Leonurus japonicus</i>	Galetto & Torres, 2010
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Toledo et al., 2005
<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	Sena, 2013
<i>Mimosa debilis</i>	Döhler & Pina, 2017
<i>Mimosa pudica</i>	Döhler & Pina, 2017
<i>Mimosa ramosissima</i>	Döhler & Pina, 2017
<i>Moquiniastrum polymorphum</i>	Simpson, 2010; Corrêa, 2016
<i>Neomarica caerulea</i>	Simpson, 2010; Corrêa, 2016
<i>Orthopappus angustifolius</i>	Simpson, 2010
<i>Palicourea forsteronioides</i>	Coelho & Barbosa, 2003; Consolaro, 2008
<i>Palicourea marcgravii</i>	Consolaro, 2008
<i>Paspalum mandiocanum</i>	CABI, 2019
<i>Pavonia communis</i>	Grings & Boldrini, 2013
<i>Peixotoa parviflora</i>	Anderson, 1982; Pansarin et al., 2017
<i>Piper aduncum</i>	Figueiredo & Sazima, 2000
<i>Piper amalago</i>	Figueiredo & Sazima, 2000
<i>Piper gaudichaudianum</i>	Figueiredo & Sazima, 2000
<i>Piper richardiifolium</i>	Figueiredo & Sazima, 2000
<i>Pombalia atropurpurea</i>	Paula-Souza, 2009
<i>Praxelis diffusa</i>	Simpson, 2010
<i>Psychotria aff. hoffmannseggiana</i>	Consolaro, 2008
<i>Psychotria cf. leiocarpa</i>	Consolaro, 2008
<i>Psychotria suterella</i>	Lopes & Buzato, 2005
<i>Rubus rosifolius</i>	Viana & Silva, 2015
<i>Salvia splendens</i>	Sanchez et al., 2002
<i>Saranthe eichleri</i>	Garcia, 2012; Vieira et al., 2012
<i>Scleria distans</i>	Simpson, 2010
<i>Sida glaziovii</i>	Morato & Campos, 2000
<i>Sida planicaulis</i>	Morato & Campos, 2000
<i>Sida rhombifolia</i>	Morato & Campos, 2000
<i>Sida tuberculata</i>	Morato & Campos, 2000
<i>Solanum americanum</i>	Bezerra & Machado, 2003
<i>Solanum grandiflorum</i>	Lafetá, 2002
<i>Solanum granulosoaleprosum</i>	Soares et al., 2008
<i>Solanum palinacanthum</i>	Carvalho et al., 2001
<i>Solidago chilensis</i>	Simpson, 2010
<i>Sonchus oleraceus</i>	Simpson, 2010; CABI, 2019
<i>Sphagneticola trilobata</i>	Simpson, 2010
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	Corrêa et al., 2001
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Silberbauer-Gottsberger & Gottsberger, 1988
<i>Stylosanthes viscosa</i>	Ramvalho & Rosa, 2010
<i>Tradescantia zebrina</i>	Faden, 1992
<i>Tragia volubilis</i>	Romero & Sanguinetti, 1989
<i>Trichogoniopsis adenantha</i>	Simpson, 2010; Castro, 2017
<i>Tripogandra diuretica</i>	Gamerro, 1986; Faden, 1992
<i>Vernonanthura polyanthes</i>	Simpson, 2010; Castro, 2017

Conclusão.

Referências

- ALEMÁN, Mercedes; FIGUEROA-FLEMING, Trinidad; ETCHEVERRY, Ángela; SÜHRING, Silvia; ORTEGA-BAES, Pablo. The explosive pollination mechanism in Papilionoideae (Leguminosae): An analysis with three *Desmodium* species. **Plant Systematics and Evolution**, [S. l.], v. 300, n. 1, p. 177–186, 2014. DOI: 10.1007/s00606-013-0869-8.
- ALMEIDA-NETO, Mário; KUBOTA, Umberto; BRAUN, Marina Reiter; LEWINSOHN, Thomas Michael. The impact of flower head endophages on seed set of a native population of *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson (Asteraceae). **Bioikos**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 107–114, 2010.
- ALURI, J. S. R.; CHAPPIDI, P. R. Pollination ecology of *Alternanthera paronychioides* and *Gomphrena serrata* (family: Amaranthaceae; sub-family Gomphrenoideae). **Romanian Journal of Biology**, [S. l.], v. 62, n. 1, p. 13, 2017.

- ANDERSON, Christiane. A monograph of the genus *Peixotoa* (Malpighiaceae). **Contribution University of Michigan Herbarium**, [S. l.], v. 15, p. 1–92, 1982. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- AONA, Lidyanne Yuriko Saleme. **Revisão taxonômica e análise cladística do gênero *Dichorisandra* J.C. Mikan (Commelinaceae)**. 2008. Universidade Estadual De Campinas, [S. l.], 2008.
- BARROWS, Edward M. Nectar Robbing and Pollination of *Lantana camara* (Verbenaceae). **Biotropica**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 132–135, 1976. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2989633>.
- BEZERRA, Elisângela Lúcia de S.; MACHADO, Isabel Cristina. Biologia floral e sistema de polinização de *Solanum Stramonifolium* Jacq. (solanaceae) em remanescente de mata atlântica, pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 247–257, 2003. DOI: 10.1590/S0102-33062003000200007.
- CABI. **Datasheet**. 2019. Disponível em: <https://www.cabi.org/isc>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes De; MARQUES, Oton Meira; VIDAL, Carlos Augusto; NEVES, Antônio Marcos Silva. Comportamento forrageiro de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em flores de *Solanum palinacanthum* Dunal (Solanaceae). **Revista Brasileira de Zoociências**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 35–44, 2001.
- CASTRO, Márcia Santos De. **Eupatorieae Cass. e Vernoniaceae Cass. (Asteraceae) na Reserva do Patrimônio Particular Natural Santuário do Caraça, Minas Gerais, Brasil**. 2017. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), [S. l.], 2017.
- COELHO, Christiano P.; BARBOSA, Ana Angélica A. Biologia reprodutiva de *Palicourea macrobotrys* Ruiz & Pavon (Rubiaceae): um possível caso de homostilia no gênero *Palicourea* Aubl. **Revista Brasileira de Botânica**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 403–413, 2003. DOI: 10.1590/s0100-84042003000300013.
- CONSOLARO, Hélder Nagai. **A distília em espécies de Rubiaceae do bioma Cerrado**. 2008. Universidade de Brasília, [S. l.], 2008.
- CORRÊA, Bruno Jan Schramm. **Fenofases reprodutivas, biologia floral e qualidade de sementes de *Moquiniastrium polymorphum* (Mabrer) G. Sancho. no sudoeste do Paraná**. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.
- CORRÊA, Claudine A.; IRGANG, Bruno E.; MOREIRA, Gilson R. P. Estrutura floral das angiospermas usadas por *Heliconius erato phyllis* (Lepidoptera, Nymphalidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia - Serie Zoologia**, [S. l.], v. s, n. v/90, p. 71–84, 2001. DOI: 10.1590/s0073-47212001000100008.
- DE-PAULA, Orlando Cavalari; DAS SAJO, Maria Graças; PRENNER, Gerhard; CORDEIRO, Inês; RUDALL, Paula J. Morphology, development and homologies of the perianth and floral nectaries in *Croton* and *Astraea* (Euphorbiaceae-Malpighiales). **Plant Systematics and Evolution**, [S. l.], v. 292, n. 1–2, p. 1–14, 2011. DOI: 10.1007/s00606-010-0388-9.
- DÖHLER, Thiago Lacerda; PINA, Welber Da Costa. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes florais do sabiá (*Mimosa Caesalpinifolia* Benth.) em Teixeira de Freitas, Bahia, Brasil. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 13, n. 8, p. 1–7, 2017. DOI: 10.14808/sci.plena.2017.088001.
- DORES, Rosana GR; GUIMARÃES, Sarah F.; BRAGA, Tatiane V; FONSECA, Maira CM; MARTINS, Pauliane M.; FERREIRA, Thaian C. Phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity of leaves, flowers and roots of goat weed. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 32, n. 4, p. 486–490, 2014. DOI: 10.1590/s0102-053620140000400019.
- FACCO, Marlon Garlet. **Estudo taxonômico do gênero *Cuphea* P. Browne (Lythraceae) no Rio Grande Do Sul, Brasil**. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2015.
- FADEN, Robert B. Proposal to conserve *Commelina benghalensis* (Commelinaceae) with a conserved type under Art. 69.3. **Taxon**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 341–342, 1992.
- FAEGRI, K.; PIJL, L. Van Der. **The principles of pollination ecology**. 3. ed. New York: Pergamon, 1979. DOI: 10.1016/C2009-0-00736-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080231600/principles-of-pollination-ecology>.
- FAGUNDES, Joice Feil; HORBACH, Roberta Klein; ESSI, Liliana; GARLET, Tânea Maria Bisognin. Levantamento florístico de Asteraceae em Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 181–193, 2015. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/3271>.
- FERREIRA, S. D. C. Asteraceae Martinov. em um fragmento florestal, Viçosa, Minas Gerais, Brasil: florística e aspectos reprodutivos (2006). **En.Scientificcommons.Org**, [S. l.], 2006. Disponível em: <http://en.scientificcommons.org/20263098>.
- FIGUEIREDO, Rodolfo Antônio De; SAZIMA, Marlies. Pollination biology of Piperaceae species in southeastern Brazil. **Annals of Botany**, [S. l.], v. 85, n. 4, p. 455–460, 2000. DOI: 10.1006/anbo.1999.1087.
- FREITAS, Daiane Martins. **O gênero *Desmodium* Desv. (Fabaceae-Faboideae) no estado de Santa Catarina**. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012. Disponível em: <http://laveg.paginas.ufsc.br/files/2012/08/Dissertação-Desmodium-Freitas-2012.pdf>.
- FREITAS, Leandro; BERNARDELLO, Gabriel; GALETTO, Leonardo; PAOLI, Adelita A. S. Nectaries and reproductive biology of *croton sarcopetalus* (euphorbiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 136, n. 3, p. 267–277, 2001. DOI: 10.1006/bojl.2000.0437.

- GALETTTO, Leonardo; TORRES, Carolina. Nectar sugar composition and pollinators for the naturalized exotic *Leonurus japonicus* (Lamiaceae) in central Argentina. *[S. l.]*, n. May, 2010.
- GAMERRO, Juan Carlos. Propagacion y dispersion de *Tripogandra diuretica* (Commelinaceae) en la region Delta del Parana Rio de la Plata. **Darwiniana**, *[S. l.]*, v. 27, n. 1–4, p. 153–156, 1986.
- GARCIA, Letícia Couto. **Avaliação da sustentabilidade ecológica de matas ciliares em processo de restauração**. 2012. Universidade Estadual de Campinas, *[S. l.]*, 2012. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/GarciaLeticiaCouto_D.pdf.
- GARCIA, Patrícia Borck; PAVANELO, Anderson Machado; SOUZA, Suzana dos Santos De; PINHEIRO, Mardiore. Biologia da reprodução e da polinização de *Desmodium affine* Schlttdl., uma leguminosa nativa no Rio Grande do Sul, com potencial forrageiro. In: ANAIS DA VII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA 2017, **Anais [...]**. [s.l.: s.n.] p. 1–4.
- GLOBAL INVASIVE SPECIES DATABASE (GISD). **Species profile *Ageratum conyzoides***. 2015. Disponível em: <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=19>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- GODINHO, Mariana Aparecida Silva. **Biologia reprodutiva e germinação de sementes em *Adenostemma brasilianum* (Pers.) Cass. (Asteraceae)**. 2007. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- GOLDENBERG, Renato; VARASSIN, Isabela Galarda. Sistemas reprodutivos de espécies de Melastomataceae da Serra do Japi, Jundiá, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, *[S. l.]*, v. 24, n. 3, p. 283–288, 2001. DOI: 10.1590/s0100-84042001000300006.
- GRINGS, Martin; BOLDRINI, Ilsi Iob. FLORA ILUSTRADA DO RIO GRANDE DO SUL O gênero *Pavonia* Cav. (Malvaceae) no Rio Grande do Sul , Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, *[S. l.]*, v. 11, n. 3, p. 352–380, 2013.
- GROMBONE-GUARATINI, Maria Tereza; SOLFERINI, Vera Nisaka; SEMIR, João. Reproductive biology in species of *Bidens* L. (Asteraceae). **Scientia Agricola**, *[S. l.]*, v. 61, n. 2, p. 185–189, 2004. DOI: 10.1590/s0103-90162004000200010.
- IMAGUIRE, Nobor. Fatores para instalação e adaptação nas diversas comunidades vegetais. **Acta Biológica Paranaense**, *[S. l.]*, v. 8, n. 9, p. 73–105, 1974.
- KOK, Rogier De; BIFFIN, Ed. **The pea key [online version]**. 2010. Disponível em: <http://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/rfk/index.html>. Acesso em: 6 jan. 2020.
- LAFETÁ, Rita de Cássia Almeida. Espécies lenhosas de *Solanum* (Solanaceae) na Reserva Biológica de Santa Cândida, Juiz de Fora, Minas Gerais. **Hoehnea**, *[S. l.]*, v. 29, n. 2, p. 133–149, 2002.
- LEINS, P.; ERBAR, Claudia. On the Mechanisms of Secondary Pollen Presentation in the Campanulales-Asterales-Complex. **Botanica Acta**, *[S. l.]*, v. 103, n. 1, p. 87–92, 1990. DOI: 10.1111/j.1438-8677.1990.tb00131.x.
- LOPES, Clarissa Gomes Reis; BEIRÃO, Dhyôvanna Carine Cardoso; PEREIRA, Leudimar Aires; ALENCAR, Laurielson Chaves. Levantamento da flora apícola em área de cerrado no município de Floriano, estado do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, *[S. l.]*, v. 14, n. 2, 2016.
- LOPES, Isaac Magalhães; JARDIM, Mario Augusto Gonçalves. Fenologia , biologia floral e germinação de plantas aromáticas : *Hyptis suaveolens* (L .) Poit . e *Mansoa standleyi* (Steyerm.) A. H. Gentry (Bignoniaceae) Museu Paraense Emilio Goeldi. **Revista Brasileira Farmácia**, *[S. l.]*, v. 89, n. 4, p. 361–365, 2008.
- LOPES, Luciano E.; BUZATO, Silvana. Biologia reprodutiva de *Psychotria suterella* Muell. Arg. (Rubiaceae) e a abordagem de escalas ecológicas para a fenologia de floração e frutificação. **Revista Brasileira de Botânica**, *[S. l.]*, v. 28, n. 4, p. 785–795, 2005. DOI: 10.1590/s0100-84042005000400013.
- MACHADO, Isabel Cristina; LOPES, Ariadna Valentina. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest. **Annals of Botany**, *[S. l.]*, v. 94, n. 3, p. 365–376, 2004. DOI: 10.1093/aob/mch152.
- MAIMONI-RODELLA, R. C. S.; YANAGIZAWA, Y. A. N. P. Floral biology and breeding system of three *Ipomoea* weeds. **Planta Daninha**, *[S. l.]*, v. 25, n. 1, p. 35–42, 2007.
- MARTINI, Angeline; BIONDI, Daniela; BATISTA, Antonio Carlos; NATAL, Camila Maria. Fenologia de espécies nativas com potencial paisagístico. **Semina: Ciências Agrárias**, *[S. l.]*, v. 31, n. 1, p. 75–84, 2010. DOI: 10.5433/1679-0359.2010v31n1p75.
- MENEGUZZO, Maísa Karla. **Fontes de alimentos usadas por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em áreas campestres da floresta densa montana, no sul de Santa Catarina**. 2013. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2013. Disponível em: <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>.
- MORATO, Elder Ferreira; CAMPOS, Lúcio Antônio de O. Partição de recursos florais de espécies de *Sida* Linnaeus e *Malvastrum coromandelianum* (Linnaeus) Garcke (Malvaceae) entre *Cephalurgus anomalus* Moure & Oliveira (Hymenoptera, Andrenidae, Panurginae) e *Melissoptila cnecomala* (Moure) (Hymenoptera, Apidae, E. **Revista Brasileira de Zoologia**, *[S. l.]*, v. 17, n. 3, p. 705–727, 2000. DOI: 10.1590/s0101-81752000000300016.

- PANSARIN, E. R.; ALVES-DOS-SANTOS, I.; PANSARIN, L. M. Comparative reproductive biology and pollinator specificity among sympatric *Gomesa* (Orchidaceae: Oncidiinae). **Plant Biology**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 147–155, 2017. DOI: 10.1111/plb.12525.
- PAULA-SOUZA, Juliana De. **Estudos Filogenéticos em Violaceae com ênfase na Tribo Violeae e Revisão Taxonômica dos Gêneros Lianescentes de Violaceae na Região Neotropical**. 2009. Universidade de São Paulo, [S. l.], 2009.
- RAIMÚNDEZ, Elena U.; RAMÍREZ, Nelson. Estrategia reproductiva de una hierba perenne: *Hypoxis decumbens* (Hypoxidaceae). **Revista de Biología Tropical**, [S. l.], v. 46, n. 3, p. 555–565, 1998.
- RAJU, A. J. S.; REDDI, C. S. Pollination ecology of *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae). **Proceedings of the Indian National Science Academy**, [S. l.], v. 55, n. 5–6, p. 411–416, 1989.
- RAMALHO, Mauro; ROSA, Jaqueline Figuerêdo. Ecologia da interação entre as pequenas flores de quilha de *Stylosanthes viscosa* Sw. (Fabaceae) e as grandes abelhas *Xylocopa* (Neoxylocopa) *cearensis* Ducke, 1910 (Apoidea, Hymenoptera), em duna tropical. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 93–100, 2010. DOI: 10.1590/S1676-06032010000300010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032010000300010&lng=pt&tlng=pt.
- RCPOL. **Rede de Catálogos Polínicos online**. 2020. Disponível em: <http://rcpol.org.br>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio Macedo De; MACHADO, Isabel Cristina. **Biologia da Polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014.
- REFLORA. **Virtual Herbarium**. 2020a. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- REFLORA. **Flora do Brasil 2020 under construction**. 2020b. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- ROMERO, Maria E. Mulgura De; SANGUINETTI, Maria M. Gutierrez De. Actualizacion taxonomica de *Tragia* (Euphorbiaceae) para argentina y regiones limitrofes. **Darwiniana**, [S. l.], v. 29, n. 1/4, p. 77–138, 1989. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/23218913>.
- SANCHEZ, L. A.; PICADO, A.; SOMMEIJER, M. J.; SLAA, E. J. Floral biology, pollination ecology and seed production of the ornamental plant *Salvia splendens* Sello. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S. l.], v. 77, n. 4, p. 498–501, 2002. DOI: 10.1080/14620316.2002.11511529. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511529>.
- SARTORELLI, Paulo Alessandro Rodrigues; BENEDITO, André Luiz Dadona; CAMPOS FILHO, Eduardo Malta; SAMPAIO, Alexandre Bonesso; GOUVÊA, Ana Paula de Moraes Lira. **Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal**. São Paulo: Agricone, 2018.
- SAWIDIS, T. H.; ELEFTHERIOU, E. P.; TSEKOS, I. The floral nectaries of *Hibiscus rosa-sinensis* in. A morphometric and ultrastructural approach. **Nordic Journal of Botany**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 63–71, 1989. DOI: 10.1111/j.1756-1051.1989.tb00987.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1989.tb00987.x>.
- SENA, Márcia Yuriko Hashimoto Curado De. **Estudos taxonômicos do gênero *Marsypianthes* Mart. Ex Benth. (Hyptidinae, Lamiaceae) no Brasil**. 2013. Universidade Federal de Goiás, [S. l.], 2013. Disponível em: <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>.
- SILBERBAUER-GOTTSBERGER, Ilse; GOTTSBERGER, Gerhard. A polinização de plantas do Cerrado. **Revista Brasileira de Biologia**, [S. l.], v. 48, n. 4, p. 651–663, 1988.
- SIMPSON, Michael G. **Plant systematics**. 2. ed. San Diego: Elsevier, 2010.
- SOARES, Amapola Corrêa; VILLAR, Jozeane Lopes; HEFLER, Sonia Marisa. Sinopse da família Cyperaceae em uma área do extremo sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Rodriguesia**, [S. l.], v. 66, n. 2, p. 441–453, 2015. DOI: 10.1590/2175-7860201566212.
- SOARES, Edson Luís Carvalho; VIGNOLI-SILVA, Márcia; VENDRUSCOLO, Giovanna Secretti; THODE, Verônica Aydos; SILVA, Janaína Gomes Da; MENTZ, Lilian Auler. A família Iridaceae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 167–175, 2008.
- TOLEDO, Vagner De Alencar Arnaut De; OLIVEIRA, Arildo José Braz De; RUVOLO-TAKASUSUKI, Maria Claudia Colla; MITSUI, Marina Hitumi; VIEIRA, Renata Eunice; KOTAKA, Carolina Satie; CHIARI, Wainer César; GOBBI FILHO, Lucílio; TERADA, Yoko. Sugar content in nectar flowers of *Macroptilium atropurpureum* (Urb.). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, [S. l.], v. 27, n. 1, 2005. DOI: 10.4025/actascianims.v27i1.1248.
- VALENTIN-SILVA, Adriano; GODINHO, Mariana Aparecida Silva; VIEIRA, Milene Faria. Life history of *Adenostemma brasilianum* (Pers.) Cass. (Eupatorieae, Asteraceae): A psychophilous herbaceous species of the Brazilian Atlantic Forest understory 1. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, [S. l.], v. 143, n. 1, p. 87–92, 2016. DOI: 10.3159/torrey-d-14-00088.1.
- VIANA, Blandina Felipe; SILVA, Fabiana O. **Biologia e Ecologia da Polinização: Cursos de Campo**. Rio de Janeiro - RJ, Brazil: Funbio, 2015. v. 4 DOI: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

- VIEIRA, Silvana; FORZZA, Rafaela Campostrini; WANDERLEY, Maria das Graças Lapa. Marantaceae. *In*: WANDERLEY, Maria das Graças Lapa et al. (org.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2012. v. 7p. 205–232.
- WEAVER, Susan E.; MCWILLIAMS, Edward L. The Biology of Canadian Weeds.: 44. *Amaranthus retroflexus* L., *A. powellii* S. Wats. and *A. hybridus* L. **Canadian Journal of Plant Science**, [S. l.], v. 60, n. 4, p. 1215–1234, 1980.
- WYATT, R.; BROYLES, S. B. Ecology and evolution of reproduction in milkweeds. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [S. l.], v. 25, p. 423–441, 1994. DOI: 10.1146/annurev.es.25.110194.002231.

Apêndice 24

Total de grupos de abelhas e de plantas que interagiram até quatro vezes, considerando os diferentes agrupamentos.

Total de grupos de abelhas que interagiram de uma a quatro vezes, considerando os diferentes agrupamentos. Os agrupamentos com pior Silhouette agruparam as abelhas em dois grandes grupos, o que resultou em muitas interações em cada um desses dois grupos. Os valores entre parênteses indicam a quantidade de grupos de abelhas gerados em cada agrupamento.

Número de interações	Porcentagem de grupos de abelhas que realizaram de 1 a 4 interações			
	Gênero (59 grupos)	Combinação (37 grupos)	Hierárquico (31 grupos)	Kohonen (24 grupos)
1	16	7	2	1
2	3	4	3	2
3	6	4	3	1
4	1	1	1	1
Total (1-4)	26	16	9	5
Porcentagem (1-4)	44,07%	43,24%	29,03%	33,33%

Total de grupos de plantas que interagiram de uma a quatro vezes, considerando os diferentes agrupamentos. Os agrupamentos com pior Silhouette agruparam as abelhas em dois grandes grupos, o que resultou em plantas apresentando quantidade de interação únicas para cada conjunto de planta. Os valores entre parênteses indicam a quantidade de grupos de plantas gerados em cada agrupamento.

Número de interações	Porcentagem de grupos de plantas que realizaram de 1 a 4 interações			
	Gênero (80 grupos)	Combinação (68 grupos)	Hierárquico (64 grupos)	Kohonen (16 grupos)
1	13	6	6	1
2	10	9	8	1
3	8	4	3	1
4	5	10	10	1
Total (1-4)	36	29	27	4
Porcentagem (1-4)	45,00%	42,65%	42,19%	25,00%

Apêndice 25

Agrupamento das abelhas segundo as diferentes metodologias. A tabela está ordenada pelo número de interações. Os números nas colunas dos agrupamentos são os identificadores dos grupos. Os números na coluna socialidade indicam: (1) solitário, (2) parassocial, (3) social e (4) eussocial. O valor um na coluna de *buzz pollination* indica que a abelha realiza esse comportamento.

Morfotipo	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Socialidade	Buzz pollination
<i>Ananthidium sp.1</i>	44	1	1	1	1	0
<i>Anthidium aff. hallinani</i>	73	2	2	1	1	0
<i>Anthrenoides sp.2</i>	45	3	3	1	1	0
<i>Augochlora sp.10</i>	2	7	7	1	2	1
<i>Augochlora sp.2</i>	1	11	6	1	2	1
<i>Augochlora sp.3</i>	9	8	8	1	2	1
<i>Augochlora sp.9</i>	9	8	8	1	2	1
<i>Augochlorella sp.2</i>	18	12	9	1	2	0
<i>Augochlorella sp.6</i>	18	12	9	1	2	0
<i>Augochloropsis sp.11</i>	78	14	10	1	1	1
<i>Augochloropsis sp.5</i>	79	13	10	1	1	1
<i>Augochloropsis sp.7</i>	79	13	10	1	1	1
<i>Augochloropsis sp.9</i>	79	13	10	1	1	1
<i>Austrostelis iheringi</i>	73	16	1	1	1	0
<i>Brachynomada sp.</i>	45	18	13	1	1	0
<i>Centris nitens</i>	73	19	14	1	1	1
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.3</i>	9	22	16	1	3	0
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.7</i>	9	21	16	1	3	0
<i>Ceratina (Crewella) sp.2</i>	3	24	17	1	3	0
<i>Ceratina (Crewella) sp.4</i>	3	24	17	1	3	0
<i>Chilicola sp.1</i>	64	25	3	1	1	0
<i>Colletes sp.1</i>	65	26	18	1	1	0
<i>Dicranthidium aff. arenarium</i>	52	28	1	1	1	0
<i>Epanthidium autumnale</i>	73	29	1	1	1	0
<i>Epicharis flava</i>	73	19	20	1	1	1
<i>Euglossa townsendi</i>	2	31	22	1	2	0
<i>Eulonchopria sp.1</i>	73	32	18	1	1	0
<i>Exomalopsis sp.1</i>	37	35	24	1	2	0
<i>Exomalopsis sp.2</i>	37	35	24	1	2	0
<i>Friesella schrottkyi</i>	9	36	16	1	3	0
<i>Hylaeus sp.1</i>	64	37	3	1	1	0
<i>Megachile (Acentron) sp.2</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Holcomegachile) sp.1</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Moureapis) sp.3</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Moureapis) sp.4</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.1</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.2</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.3</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.4</i>	73	39	25	1	1	0

Continua.

Morfotipo	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Socialidade	Buzz pollination
<i>Megachile sp.1</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile sp.2</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Megachile sp.3</i>	73	39	25	1	1	0
<i>Melipona anthidioides</i>	28	40	26	1	4	0
<i>Melipona marginata carioca</i>	28	40	28	1	4	1
<i>Melissoptila sp.3</i>	73	43	29	1	1	0
<i>Melitoma segmentaria</i>	73	45	25	1	1	0
<i>Neocorynura sp.4</i>	9	47	9	1	2	0
<i>Oxaea flavescens</i>	73	50	33	1	1	1
<i>Paratetrapedia sp.10</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.12</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.14</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.15</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.16</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.2</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.4</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.7</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Paratetrapedia sp.9</i>	81	51	29	1	1	0
<i>Perditomorpha sp.1</i>	73	54	18	1	1	0
<i>Plebeia remota</i>	9	55	30	1	4	0
<i>Plebeia sp.1</i>	9	55	30	1	4	0
<i>Psaenythia quinquefasciata</i>	79	56	25	1	1	0
<i>Pseudaugochlora sp.1</i>	3	58	31	1	2	0
<i>Pseudaugochlora sp.3</i>	13	59	31	1	2	0
<i>Ptiloglossa sp.1</i>	73	60	35	1	1	1
<i>Rhinocorynura sp.1</i>	1	62	36	1	2	0
<i>Rhopitulus sp.3</i>	45	64	1	1	1	0
<i>Scaptotrigona xanthotricha</i>	9	46	30	1	4	0
<i>Tapinotaspoides sp.1</i>	78	66	29	1	1	0
<i>Tetrapedia sp.5</i>	73	69	29	1	1	0
<i>Tetrapedia sp.6</i>	73	69	29	1	1	0
<i>Thygater palliventris</i>	65	73	5	1	1	0
<i>Trigona aff. fuscipennis</i>	9	74	30	1	4	0
<i>Xylocopa suspecta</i>	73	76	33	1	1	1
<i>Augochlora sp.12</i>	3	9	7	2	2	1
<i>Augochlora sp.16</i>	9	8	8	2	2	1
<i>Augochlora sp.4</i>	1	6	6	2	2	1
<i>Augochlora sp.8</i>	3	9	7	2	2	1
<i>Augochloropsis cupreola</i>	79	13	10	2	1	1
<i>Augochloropsis sp.1</i>	78	14	10	2	1	1
<i>Bombus pauloensis</i>	28	17	12	2	4	1
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.5</i>	9	22	16	2	3	0
<i>Ceratina (Crewella) sp.1.1</i>	9	22	16	2	3	0
<i>Ceratina (Crewella) sp.5</i>	9	22	16	2	3	0

Continua.

Morfotipo	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Socialidade	Buzz pollination
<i>Eufriesea violacea</i>	78	30	21	2	1	1
<i>Megachile (Acentron) sp.1</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Chrysosarus) sp.1</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Chrysosarus) sp.2</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Leptorahis) sp.1</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Moureapis) sp.1</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Moureapis) sp.2</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Megachile (Pseudocentron) sp.5</i>	73	39	25	2	1	0
<i>Melissoptila sp.1</i>	73	43	29	2	1	0
<i>Melissoptila sp.2</i>	73	44	29	2	1	0
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>	9	46	30	2	4	0
<i>Neocorynura aff. dilutipes</i>	9	47	9	2	2	0
<i>Nomiocolletes sp.1</i>	73	49	32	2	1	0
<i>Paratetrapedia sp.1</i>	81	51	29	2	1	0
<i>Paratetrapedia sp.3</i>	81	51	29	2	1	0
<i>Plebeia aff. droryana</i>	9	46	30	2	4	0
<i>Rhinocorynura sp.2</i>	1	62	36	2	2	0
<i>Rhopitulus sp.2</i>	45	64	1	2	1	0
<i>Tetragona clavipes</i>	9	46	30	2	4	0
<i>Tetrapedia sp.1.1</i>	81	68	29	2	1	0
<i>Tetrapedia sp.2</i>	73	69	29	2	1	0
<i>Tetrapedia sp.3</i>	81	68	29	2	1	0
<i>Tetrapedia sp.3.1</i>	81	68	29	2	1	0
<i>Thygater analis</i>	37	72	23	2	2	0
<i>Augochlora sp.1</i>	1	6	6	3	2	1
<i>Augochlora sp.13</i>	2	7	7	3	2	1
<i>Augochlora sp.15</i>	9	8	8	3	2	1
<i>Augochlora sp.7</i>	3	9	7	3	2	1
<i>Augochlorella sp.1</i>	18	12	9	3	2	0
<i>Augochloropsis sp.2</i>	78	14	10	3	1	1
<i>Ceratina (Ceratinula) sp.4</i>	9	22	16	3	3	0
<i>Ceratina (Crewella) sp.3</i>	4	23	17	3	3	0
<i>Dialictus sp.4</i>	18	27	19	3	2	0
<i>Dialictus sp.5</i>	18	27	19	3	2	0
<i>Epanthidium tigrinum</i>	73	29	1	3	1	0
<i>Exomalopsis auropilosa</i>	37	34	23	3	2	0
<i>Larocanthidium sp.1</i>	45	38	1	3	1	0
<i>Melipona marginata</i>	28	41	27	3	4	1
<i>Melissodes (Eclectica) nigroaenea</i>	37	42	23	3	2	0
<i>Melissodes sp.1</i>	37	42	23	3	2	0
<i>Paratetrapedia sp.5</i>	54	52	5	3	1	0
<i>Paratetrapedia sp.6</i>	54	52	5	3	1	0
<i>Plebeia saiqui</i>	9	55	30	3	4	0
<i>Ptilothrix plumata</i>	73	61	25	3	1	0

Continua.

Morfotipo	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Socialidade	Buzz pollination
<i>Rhinocorynura</i> sp.3	27	63	19	3	2	0
<i>Scaptotrigona tubiba</i>	9	65	34	3	4	0
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	9	46	30	3	4	0
<i>Tetragona</i> sp.1	9	46	30	3	4	0
<i>Tetrapedia</i> sp.1	81	68	29	3	1	0
<i>Thalestria spinosa</i>	78	70	37	3	1	0
<i>Trigona hyalinata</i>	9	74	30	3	4	0
<i>Xylocopa artifex</i>	73	75	38	3	1	1
<i>Xylocopa brasiliatorum</i>	73	75	33	3	1	1
<i>Arhysoceble</i> sp.1	54	5	5	4	1	0
<i>Augochlora</i> sp.6	2	7	7	4	2	1
<i>Augochloropsis</i> sp.14	52	15	11	4	1	1
<i>Bombus morio</i>	28	17	12	4	4	1
<i>Megachile (Dactylomegachile)</i> sp.1	73	39	25	4	1	0
<i>Paratetrapedia</i> sp.17	81	51	29	4	1	0
<i>Plebeia phrynostoma</i>	9	55	30	4	4	0
<i>Tetragonisca angustula</i>	9	53	34	4	4	0
<i>Tetrapedia</i> sp.2.1	73	69	29	4	1	0
<i>Anthrenoides</i> sp.1	45	3	3	5	1	0
<i>Augochlora</i> sp.11	9	8	8	5	2	1
<i>Augochlorella</i> sp.4	18	12	9	5	2	0
<i>Augochloropsis</i> sp.16	52	15	11	5	1	1
<i>Augochloropsis</i> sp.3	78	14	10	5	1	1
<i>Hypanthidium divaricatum</i>	73	29	1	5	1	0
<i>Paratetrapedia</i> sp.18	81	51	29	5	1	0
<i>Tetrapedia</i> sp.4	73	69	29	5	1	0
<i>Augochlora</i> sp.14	2	10	6	6	2	1
<i>Exomalopsis analis</i>	32	33	23	6	2	0
<i>Rhopitulus</i> sp.1	45	64	1	6	1	0
<i>Augochlorella</i> sp.3	18	12	9	7	2	0
<i>Ceratina (Ceratinula)</i> sp.1	9	21	16	7	3	0
<i>Augochloropsis</i> sp.13	78	14	10	8	1	1
<i>Dialictus</i> sp.1	18	27	19	8	2	0
<i>Bombus brasiliensis</i>	28	17	12	9	4	1
<i>Geotrigona subterranea</i>	9	36	16	9	3	0
<i>Plebeia droryana</i>	9	46	30	11	4	0
<i>Neocorynura</i> sp.1	4	48	31	13	2	0
<i>Ceratina (Crewella)</i> sp.1	4	23	17	15	3	0
<i>Trigona spinipes</i>	9	53	34	16	4	0
<i>Paratrigona</i> aff. <i>subnuda</i>	9	53	34	18	4	0
<i>Trigona braueri</i>	9	74	30	23	4	0
<i>Apis mellifera</i>	19	4	4	32	4	0

Apêndice 26

Agrupamento das plantas segundo as diferentes metodologias. A tabela está ordenada pelo número de interações. O valor 1 nas colunas “Herbáceo?” e “Antera restringe pólen?” indicam que a planta apresenta a característica. A característica de o pólen apresentar acesso restrito significa que a planta permite acesso ao pólen mediante um comportamento específico do polinizador, como por exemplo, buzz pollination.

Espécie	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Herbáceo?	Antera restringe pólen?
<i>Alternanthera brasiliana</i>	81	3	3	1	1	0
<i>Amaranthus deflexus</i>	73	4	4	1	1	0
<i>Amaranthus retroflexus</i>	73	5	5	1	1	0
<i>Baccharis anomala</i>	81	7	7	1	0	0
<i>Baccharis cognata</i>	1	8	8	1	0	0
<i>Chromolaena maximilianii</i>	9	11	11	1	0	0
<i>Commelina erecta</i>	18	14	15	1	1	0
<i>Ctenanthe compressa</i>	81	53	7	1	1	0
<i>Cyperus luzulae</i>	73	4	5	1	1	0
<i>Dichorisandra thyrsiflora</i>	9	19	21	1	1	1
<i>Lantana camara</i>	72	31	30	1	0	0
<i>Leandra variabilis</i>	81	32	33	1	0	1
<i>Miconia valtheri</i>	81	32	33	1	0	1
<i>Mimosa debilis</i>	27	34	36	1	1	0
<i>Mimosa pudica</i>	27	34	36	1	1	0
<i>Neomarica caerulea</i>	54	37	38	1	1	0
<i>Paspalum mandiocanum</i>	73	4	5	1	1	0
<i>Pombalia atropurpurea</i>	73	43	45	1	0	0
<i>Praxelis diffusa</i>	9	2	2	1	1	0
<i>Psychotria aff. hoffmannseggiana</i>	81	32	41	1	0	0
<i>Salvia splendens</i>	4	46	50	1	1	1
<i>Saranthe eichleri</i>	81	53	64	1	1	0
<i>Scleria distans</i>	73	20	5	1	1	0
<i>Solanum americanum</i>	81	45	31	1	1	1
<i>Stylosanthes guianensis</i>	1	8	8	1	1	0
<i>Tradescantia zebrina</i>	5	52	61	1	1	0
<i>Trichogoniopsis adenantha</i>	9	12	2	1	0	0
<i>Tripogandra diuretica</i>	81	45	62	1	1	0
<i>Wilbrandia verticillata</i>	72	47	63	1	0	0
<i>Zornia latifolia</i>	1	8	8	1	0	0
<i>Ageratum conyzoides</i>	9	2	2	2	1	0
<i>Commelina benghalensis</i>	9	14	14	2	1	0
<i>Desmodium uncinatum</i>	9	17	19	2	0	0
<i>Dichorisandra pubescens</i>	9	18	20	2	1	1
<i>Digitaria horizontalis</i>	73	20	5	2	1	0
<i>Eleusine indica</i>	73	20	5	2	1	0
<i>Impatiens walleriana</i>	5	28	27	2	1	0

Continua.

Espécie	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Herbáceo?	Antera restringe pólen?
<i>Leandra sericea</i>	81	31	32	2	0	1
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	9	18	35	2	1	0
<i>Mesosphaerum suaveolens</i>	9	21	2	2	1	0
<i>Olyra glaberrima</i>	64	38	39	2	1	0
<i>Palicourea marcgravii</i>	9	40	42	2	0	0
<i>Psychotria cf. leiocarpa</i>	81	31	46	2	0	0
<i>Renealmia petasites</i>	5	39	48	2	1	0
<i>Solanum grandiflorum</i>	9	29	54	2	0	1
<i>Solidago chilensis</i>	1	36	37	2	0	0
<i>Tibouchina pulchra</i>	9	49	60	2	0	1
<i>Tragia volubilis</i>	73	5	5	2	0	0
<i>Adenostemma brasilianum</i>	81	1	1	3	1	0
<i>Asclepias curassavica</i>	4	6	6	3	1	1
<i>Chrysolaena cognata</i>	9	12	12	3	0	0
<i>Desmodium affine</i>	81	7	18	3	0	1
<i>Emilia sonchifolia</i>	1	22	22	3	1	0
<i>Erechtites valerianifolius</i>	9	23	23	3	1	0
<i>Euphorbia heterophylla</i>	73	4	4	3	1	0
<i>Leandra melastomoides</i>	81	7	31	3	0	1
<i>Leonurus japonicas</i>	9	2	2	3	1	0
<i>Mimosa ramosissima</i>	27	35	36	3	0	0
<i>Piper aduncum</i>	73	42	44	3	0	0
<i>Piper richardiifolium</i>	73	42	44	3	0	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	1	50	56	3	1	0
<i>Tibouchina herbacea</i>	9	49	59	3	0	1
<i>Emilia fosbergii</i>	5	13	13	4	1	0
<i>Grazielia intermedia</i>	81	24	10	4	0	0
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	5	25	24	4	0	0
<i>Hypoxis decumbens</i>	28	26	25	4	1	0
<i>Jaegeria hirta</i>	19	30	29	4	1	0
<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	9	21	2	4	1	0
<i>Orthopappus angustifolius</i>	81	10	10	4	1	0
<i>Psychotria suterella</i>	72	44	47	4	0	0
<i>Sida tuberculata</i>	73	48	52	4	0	0
<i>Desmodium incanum</i>	9	17	19	5	0	0
<i>Hyptis radicans</i>	19	27	26	5	1	0
<i>Palicourea forsteronioides</i>	81	32	41	5	0	0

Continua.

Espécie	Kohonen	Hierárquico	Combinação	Interações	Herbáceo?	Antera restringe pólen?
<i>Peixotoa parviflora</i>	1	41	43	5	0	0
<i>Sida glaziovii</i>	72	47	51	5	0	0
<i>Baccharis trinervis</i>	74	9	9	6	0	0
<i>Cirsium vulgare</i>	5	13	13	6	1	0
<i>Oxalis latifolia</i>	5	39	40	6	1	0
<i>Piper amalago</i>	73	42	44	6	0	0
<i>Piper gaudichaudianum</i>	73	42	44	6	0	0
<i>Solanum palinacanthum</i>	9	49	60	6	0	1
<i>Moquiniastrium polymorphum</i>	1	36	37	7	0	0
<i>Solanum granulosoleprosum</i>	9	49	55	7	0	1
<i>Ludwigia sericea</i>	1	33	34	8	0	0
<i>Sida planicaulis</i>	73	48	52	8	1	0
<i>Galinsoga parviflora</i>	81	3	3	9	1	0
<i>Rubus rosifolius</i>	81	45	49	9	1	0
<i>Desmodium adscendens</i>	27	16	17	10	0	1
<i>Ipomoea cairica</i>	9	29	28	10	0	0
<i>Stylosanthes viscosa</i>	10	27	58	10	1	1
<i>Pavonia communis</i>	1	33	34	12	0	0
<i>Baccharis dracunculifolia</i>	73	9	9	13	0	0
<i>Paspalum notatum</i>	73	20	5	13	1	0
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	9	51	57	14	1	0
<i>Cuphea racemosa</i>	9	2	16	16	1	0
<i>Vernonanthura polyanthes</i>	9	12	2	16	0	0
<i>Croton lundianus</i>	81	15	3	17	1	0
<i>Bidens pilosa</i>	81	10	10	24	1	0
<i>Elephantopus mollis</i>	9	21	11	27	1	0
<i>Sphagneticola trilobata</i>	1	36	37	27	1	0
<i>Sida rhombifolia</i>	73	48	53	36	1	0

Apêndice 27

Quantidade e porcentagem dos pares de interações entre grupos de abelhas e plantas que ocorreram de um até 10 pontos de coleta. Os valores entre parênteses indicam a quantidade total de pares formada entre abelhas e animais segundo cada tipo de agrupamento.

Porcentagem de pares de interações que ocorreram de 1 a 10 pontos de coleta (total de 28 pontos)				
Quantidade de pontos	Gênero (367 pares)	Combinação (323 pares)	Hierárquico (320 pares)	Kohonen (109 pares)
1	269	220	216	39
2	66	53	54	23
3	19	25	25	12
4	7	16	16	5
5	2	5	5	10
6	0	3	3	4
7	2	0	0	1
8	0	0	0	1
9	0	0	0	3
10	1	0	0	2
Total (1-10)	366	322	319	100
% (1-10)	99,73%	99,69%	99,69%	91,74%

Apêndice 28

Avaliação do modelo das interações com relação às métricas da paisagem e características das interações. A avaliação constitui de medidas de ajuste da regressão (Apêndice 28.1), validação cruzada (Apêndice 28.2), tamanho teórico da amostra (Apêndice 28.3) e consistência das cadeias (Apêndice 28.4). O modelo foi construído e avaliado segundo as especificações do pacote HMSC 3.0-6 (Tikhonov et al. 2019 ¹). Como parâmetros para a função “sampleMcmc”, além da estrutura do modelo (com as variáveis resposta, preditivas, de delineamento experimental e de características, e a distribuição como “Poisson”), os parâmetros foram: nChains (número de cadeias *Markov Chain Monte Carlo* [MCMC])= 2; thin (de quantas em quantas interações gravar as amostras das MCMC)= 5; sample (número de amostras obtidas de cada cadeia)= 1000; transient (número de interações a serem desconsideradas antes de começar a amostragem das MCMC)= 2500.

Apêndice 28.1 – Medidas de ajuste da regressão

Cada interação (que no HMSC utilizado para ocorrência de espécies representa cada espécie) apresenta um valor de ajuste. Por se tratar de dados de contagem, as métricas de ajuste são não-paramétricas. O primeiro gráfico indica a frequência de interações (n. bee-plant interactions), indicando que há uma dominância de interações que ocorreram menos de três vezes para todos os tipos de agrupamento. Medidas de ajuste também são calculadas para avaliar a capacidade do modelo de prever dados de presença/ausência (marcados como “O.”, como por exemplo “O.RMSE”) e os dados apresentando contagem maior que um (marcados como “C.”, como por exemplo “C.RMSE”), totalizando 7 medidas. RMSE (*root-mean-square error*): indica as diferenças entre os valores observados e esperados, sendo que valores próximos a zero indicam ajustes melhores. SR2 (*pseudo-R squared*): ajuste para regressões logísticas que equivale ao R^2 , porém invés de considerar a correlação de Pearson ao quadrado do observado e esperado, considera a de Spearman, sendo que valores próximos a 1 indicam ajustes melhores. AUC (*area under the ROC [Receiver Operating Characteristic] curve*): Medida utilizada para avaliar a capacidade de prever dados de presença/ausência com base em predições que equivalem ou não aos valores observados (verdadeiro/falso positivo/negativo), sendo que valores próximos 1 indicam ajustes melhores. TjurR2 (*Tjur's R2*): é uma alternativa ao pseudo R^2 que calcula o coeficiente de discriminação para modelos lineares generalizados mistos (*generalized linear mixed models* - GLMM) com dados binários, sendo que valores próximos 1 indicam ajustes melhores.

¹ Tikhonov, G., Opedal, O., Abrego, N., Lehikoinen, A., Ovaskainen, O. (2019). Joint species distribution modelling with HMSC-R. bioRxiv

Combinação

Hierárquico

Continua.

Kohonen

Gênero

Apêndice 28.2 – Validação cruzada

Apresenta as mesmas medidas de ajuste da regressão, porém para o conjunto de dados separado em outro delineamento experimental. No caso as amostras eram aninhadas dentro de 10 grupos, que correspondiam as 10 paisagens de 5 km. Para a validação cruzada, as amostras foram aninhadas em dois conjuntos de maneira aleatória. Dessa forma, se o modelo apresentar um ajuste semelhante ao ajuste dos dados não aleatórios, isso representa que independe do delineamento experimental (o delineamento não representa uma fonte de variação).

Continua.

Kohonen

Gênero

Apêndice 28.3 – Tamanho teórico da amostra

Avalia o tamanho teórico da amostra (*effective size sample* – “ess”) para cada parâmetro (“*beta*” para a relação de cada interação com as variáveis da paisagem e “*gamma*” para a relação entre as variáveis da paisagem e as características da interação). Quanto mais próximo ao valor passado como parâmetro (no caso foi 1000) para a construção do modelo, mais adequado foi o tamanho da amostra.

Apêndice 28.4 – Consistência das cadeias

Avalia se os resultados das cadeias são consistentes para cada parâmetro através do *Potential scale reduction factors* calculado com a função “gelman.diag” do pacote “coda” (Plummer et al. 2006 ¹) do R. Valores próximos a 1 indicam cadeias com resultados consistentes.

¹ Plummer, M., Best, N., Cowles K., Vines, K. (2006). CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC, R News, vol 6, 7-11

Apêndice 29

Correlação entre os valores da proporção da paisagem na variância dos dados de interação e medidas relacionadas às interações: número de plantas de grupos diferentes que cada grupo de abelha interagiu, número de abelhas de grupos diferentes que interagiram com cada grupo de planta, quantidade de vezes que cada interação ocorreu e quantidade de pontos em que cada interação ocorreu.,

Apêndice 30

Relação entre apresentar ou não a proporção maior que 50% da paisagem na variância das interações e variáveis relacionadas à interação. Análise utilizando modelos lineares generalizados (Generalized Linear Model - GLM) para dados binários, considerando como variável resposta apresentar ou não a proporção maior que 50% da paisagem na variância das interações em função:

- de uma constante,
- da quantidade de vezes que a interação ocorreu,
- da quantidade de pontos em que cada interação ocorreu,
- de cada uma das quantidades e a interação entre elas (assumindo que quantidade de vezes que uma interação aconteceu é relacionada a quantidade de pontos em que essa interação aconteceu),
- da quantidade de interações que a planta realizou,
- da quantidade de interações diferentes que a planta realizou (número de abelhas que visitam uma planta),
- da quantidade de interações que a abelha realizou, e
- da quantidade de interações diferentes que a abelha realizou (número de plantas diferentes que a abelha visitou).

A variável explicativa do modelo com menor Critério de informação de Akaike (*Akaike Information Criterion* - AIC) para cada agrupamento, com os coeficientes da regressão e os valores de p para cada coeficiente se encontram na tabela a seguir:

Variável	Gênero	Combinação	Hierárquico	Kohonen
	N. de abelhas que visitam uma planta	N. de abelhas que visitam uma planta	N. de abelhas que visitam uma planta	N. de interações
Intercepto	0.87065***	2.46990***	2.53029***	1.80565***
Coeficiente	-0.06922***	-0.13986***	-0.13404***	-0.10298***

*** $p < 0,001$

Apêndice 31

Boxplot da proporção da variação relacionada a métricas da paisagem para cada conjunto de organismos. Cada organismo está representado no eixo x pelo identificador único do grupo dentro de cada um dos seis agrupamentos (no caso do agrupamento por gênero trata-se do próprio nome do gênero).

- N. interações: número de interações que cada grupo realizou.
- N. grupos: número de grupos diferentes que cada grupo interagiu, no caso de abelhas são grupos de plantas e no caso de plantas são grupos de abelhas.
- Prop. da var. rel. a: proporção da variância das interações daquele grupo que está relacionada aos diferentes conjuntos de métricas consideradas na análise, sendo “paisagem” todas as métricas de paisagem juntas, “configuração” as métricas de configuração (densidade de borda da paisagem, densidade de bordas de pasto na paisagem e forma média da floresta), “composição” as métricas de composição (índice de diversidade de Shannon e porcentagem de cobertura de floresta da paisagem) e “estrutura” as métricas de estrutura do fragmento (altura do dossel, número de troncos caídos e cobertura do dossel).

Combinação

Hierárquico

Kohonen

Anexos

Anexo 1 - Análises multivariadas

Figura extraída de Kleyer et al. (2012) demonstrando o fluxo das análises (setas) e a ordem de execução (números) de diferentes métodos para análise multivariada. Foram analisados sete métodos que trabalham com a relação das características dos organismos com as características ambientais através da abundância das espécies. L = tabela com dados de abundância; R = tabela com dados ambientais; Q = tabela com as características das espécies. CLUS-MOD (*Cluster regression*) = combinação de análises de cluster e regressão logística; RDA (*redundancy analysis*) = análise de redundância; sRTA (*univariate regression trees with abundance*) = regressão univariadas por árvore utilizando a abundância; mRTA (*multivariate regression trees with abundance*) = regressão multivariadas por árvore utilizando a abundância; OMI (*outlying mean index ordination procedure*) = ordena com base em medidas de distância entre médias (características requisitos e as encontradas no ambiente); GAM (*generalized additive models*) = modelos generalizados aditivos (generalização da regressão múltipla); RLQ (a double inertia analysis of two arrays [R and Q] with a link expressed by a contingency table [L]); CCA (*canonical correspondence analysis*) = análise de correspondência canônica; CWM (*average trait expression across all species of a community, weighted by their abundance*) = média das características presentes nas espécies da comunidade ponderada pela abundância.

Anexo 2 - Métricas utilizadas

Aninhamento

Medida de aleatoriedade da rede. Quanto maior o valor de aninhamento, mais aleatória (caótica) é a rede e menos aninhada ela é. Em uma rede perfeitamente aninhada as linhas e colunas com menos interações sempre são um subconjunto de outra linha ou coluna com mais interações, portanto a linha/coluna com o maior número de interações têm as mesmas interações presentes em todas as outras linhas/colunas (Figura 1). Isso significa que quanto mais aninhadas as redes mais os elementos da rede que são mais generalistas tendem a interagir com os mais especialistas. Em uma rede perfeitamente aninhada os elementos mais generalistas (a linha e a coluna com mais interações) estarão interagindo com todos os com menos interações (Fig. 1a).

Figura A2.1 - Apesar de ambas as matrizes terem a mesma quantidade de interações (49), a matriz (a) é perfeitamente aninhada enquanto a (b) não.

O cálculo dessa métrica pode envolver modelos nulos (redes aleatórias, que não apresentariam a estrutura aninhada) ou o quanto as interações de um elemento estão contidas nas interações de um elemento com mais interações. Dependendo do algoritmo utilizado para o cálculo do aninhamento pode variar, assim como a interpretação de seu resultado. Como exemplos de métricas de aninhamento temos:

- NTC (Nestedness Temperature Calculator): realiza o cálculo dos modelos nulos utilizando um algoritmo genético que gera um conjunto de matrizes iniciais criadas a partir da matriz fornecida, retirando duas matrizes com pior pontuação (temperaturas mais altas, ou seja, mais caóticas) e substituindo por elementos filhos de algumas das matrizes iniciais selecionadas aleatoriamente. As matrizes iniciais são uma permutação da matriz fornecida (matriz com os valores das células embaralhados). O número de gerações, de matrizes iniciais e de matrizes a serem selecionadas aleatoriamente podem ser alteradas pelo usuário. A matriz fornecida recebe então um valor de temperatura com base na comparação com as matrizes da população resultante. Retorna valores de temperatura da rede (0° - 100°), quanto maior, menos organizada/padronizada é a rede;
- ANINHADO: Similar ao NTC, mas conta com modelos nulos pré-determinados, que foram construídos a partir de uma série de estudos. Retorna valores como o NTC (uma escala de 0 a 100), em que as redes mais caóticas tendem a ter valores maiores;
- WINE (Weighted-Interaction Nestedness Estimator): Permite o cálculo do aninhamento para redes ponderadas (interações representadas de maneira quantitativa). O cálculo é

feito com base na distância média entre a célula com menor valor marginal (célula que corresponde a coluna e a linha com o menor valor marginal). A distância calculada é a distância geométrica ponderada ou “weighted Manhattan distance”. Redes com valor 0 são para matrizes aleatórias e valor 1 para matrizes totalmente aninhadas (ao contrário das medidas de temperatura, em que os valores maiores representam redes mais caóticas);

- NODF (Nestedness metric based on Overlap and Decreasing Fill): Também trabalha com a escala de temperatura, porém não compara com modelos nulos, se propondo a não superestimar o aninhamento (falar que uma rede é aninhada quando não é – erro estatístico do tipo I). Para o cálculo, tanto as linhas quanto as colunas da matriz são ordenadas da com mais interações para a com menos interações (da com maior soma marginal, para a com menor soma marginal). Para cada par possível de coluna e de linhas é calculada a temperatura, sendo 100 quando todas as interações presentes na linha/coluna de menor número de interações está presente na de maior número de interações. Esse valor é equivalente a proporção de interações da linha/coluna com menos interações presente na com mais interações.

Figura A2.2 - Cálculo do NODF. O valor do aninhamento é a média dos valores do aninhamento por colunas e linhas, que por sua vez é a média do aninhamento de cada par de coluna e cada par de linha. Por exemplo, para o cálculo do aninhamento por pares temos: Nas colunas c1 e c5 todas as interações de c5 estão em c1, portanto o aninhamento para esse par de colunas é 100. Nas colunas c2 e c3 dois terços das interações de c3 estão em c2, portanto o aninhamento para esse par de colunas é 67 ($2/3 = 0,666666...$). Nas colunas c2 e c4 metade das interações de c4 estão em c2, portanto o aninhamento para esse par de colunas é 50. Nas c2 e c5 nenhuma interação de c5 está em c2, portanto o aninhamento para esse par de colunas é 0. As colunas c1 e c2 tem o mesmo número de interações, portanto o aninhamento para esse par de colunas é 0. Fonte: Almeida-Neto et al. 2008.

Tabela A2.1 – Tipos de cálculo de aninhamento.

Nome	Desenvolvedores	Plataforma	Tipo de rede	Linguagem	Ano
ANINHADO	Paulo Guimarães and Paulo R. Guimarães Jr.	MS-DOS (Windows)	Binária	C++	2006
NTC	Miguel A. Rodríguez-Gironés and Luis Santamaría		Binária	Visual Basic	2006
WINE	Galeano et al. (2008)	Windows, linux or mac	Binária/ponderada	R, Matlab, C++	
NODF	Almeida-Neto et al. (2008)	Windows, linux or mac	Binária	R	2008

Conectância

Relação entre interações que foram observadas e as interações matematicamente possíveis (cada elemento interagindo todos os outros elementos) (Dunne et al. 2002). Representa quantas interações estão ocorrendo com relação a todas as interações que poderiam estar ocorrendo, caso não houvesse nenhuma restrição a interação. Essa métrica também é conhecida como densidade ou índice de conectividade. A figura abaixo demonstra o cálculo da conectância para redes bipartidas. As interações possíveis são restritas aos nós que estão presentes em camadas diferentes, diferente do que ocorre com as redes unipartidas em que todos os nós podem interagir entre si.

Modularidade e compartimentos

A modularidade é a medida da capacidade da rede de apresentar subconjuntos ou compartimentos dentro da rede. Esses compartimentos são caracterizados por elementos que tendem a apresentar mais interações entre si do que com o resto da rede (Olesen et al. 2007). Há formas de calcular a modularidade e a quantidade de módulos de uma rede.

Para determinar a quantidade de módulos de uma rede, Lewinsohn et al. 2006 propõe o uso da análise de componentes principais, com elementos pertencentes a um módulo apresentando uma densidade de interações maior entre os elementos membros do módulo e uma densidade de interações menor com os demais elementos da rede.

Número de interações

Média do número de links pelo número de nós (nós podem ser por exemplo, número de espécies interagindo).

Referências

- Almeida-Neto, M., P. Guimarães, P. R. J. Guimarães, R. D. Loyola, and W. Ulrich. 2008. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*:1227–1239.
- Dormann, C. F., Fruend, J., Bluethgen, N., & Gruber, B. (2009). Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*, (2), 7–24.
- Galeano, J., J. M. Pastor, and J. M. Iriando. 2009. Weighted-Interaction Nestedness Estimator (WINE): A new estimator to calculate over frequency matrices. *Environmental Modelling and Software* 24:1342–1346.
- Guimaraes, J. P. R., and P. Guimarães. 2006. Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling and Software* 21:1512–1513.
- Lewinsohn, T. M., and P. I. Prado. 2006. Structure in plant -animal interaction assemblages. *Oikos* 113:1–11.
- Olesen, J. M., J. Bascompte, Y. L. Dupont, and P. Jordano. 2007. The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:19891–19896.
- Rodríguez-Gironés, M. A., and L. Santamaría. 2006. A new algorithm to calculate the nestedness temperature of presence-absence matrices. *Journal of Biogeography* 33:924–935.
- Nielsen, A., & Bascompte, J. (2007). Ecological networks, nestedness and sampling effort. *Journal of Ecology*, 95(5), 1134–1141. doi:10.1111/j.1365-2745.2007.01271.x
- Guimaraes, J. P. R., & Guimarães, P. (2006). Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices. *Environmental Modelling and Software*, 21(10), 1512–1513. doi:10.1016/j.envsoft.2006.04.002
- Rodríguez-Gironés, M. A., & Santamaría, L. (2006). A new algorithm to calculate the nestedness temperature of presence-absence matrices. *Journal of Biogeography*, 33(5), 924–935. doi:10.1111/j.1365-2699.2006.01444.x