



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



**PADRÕES ESPACIAIS E DIVERSIDADE DE ABELHAS  
EM PAISAGENS ANTROPIZADAS NA MATA ATLÂNTICA**

*Tese de Doutorado*

Talita Guimarães de Araújo Piovezan

SÃO CRISTÓVÃO-SE

MAIO/2024

**TALITA GUIMARÃES DE ARAÚJO PIOVEZAN**

**PADRÕES ESPACIAIS E DIVERSIDADE DE ABELHAS  
EM PAISAGENS ANTROPIZADAS NA MATA ATLÂNTICA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Divino de Araujo

Coorientador: Prof. Dr. Maxwell Souza Silveira

SÃO CRISTÓVÃO-SE

MAIO/2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

P663p Piovezan, Talita Guimarães de Araújo.  
Padrões espaciais e diversidade de abelhas em paisagens antropizadas na Mata Atlântica / Talita Guimarães de Araújo Piovezan; orientador Edilson Divino de Araújo. – São Cristóvão, SE, 2024.  
155 f.; il.

Tese (doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Ecologia das paisagens. 2. Abelhas - Pólen. 3. Biodiversidade - Conservação. 4. Mata Atlântica. 5. Bibliometria. I. Araújo, Edilson Divino de, orient. II. Título.

CDU 591.5

# TERMO DE APROVAÇÃO

## Padrões Espaciais na Diversidade de Abelhas em Paisagens Antropizadas por

**Talita Guimarães de Araújo Piovezan**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Ecologia e Conservação.

**APROVADA** pela banca examinadora composta por

Documento assinado digitalmente  
 **EDILSON DIVINO DE ARAUJO**  
Data: 03/06/2024 18:25:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Edilson Divino de Araujo**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente  
 **CARLOS ALFREDO LOPES DE CARVALHO**  
Data: 03/06/2024 19:13:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Carlos Alfredo Lopes de Carvalho**  
UFRB

Documento assinado digitalmente  
 **RODRIGO NOGUEIRA DE VASCONCELOS**  
Data: 03/06/2024 18:47:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Rodrigo Nogueira de Vasconcelos**  
UEFS

Documento assinado digitalmente  
 **SIDNEY FEITOSA GOUVEIA**  
Data: 05/06/2024 08:25:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Sidney Feitosa Gouveia**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente  
 **ANA PAULA ALBANO ARAUJO**  
Data: 04/06/2024 10:18:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Ana Paula Albano**  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da  
Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão/SE, 31 de Maio de 2024

## AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo à Deus todo poderoso, ao mestre Jesus e toda egrégora espiritual São Miguel Arcanjo, Mãe Maria, meu anjo da guarda, pela oportunidade de viver neste plano, de poder apreciar a natureza maravilhosa e poder desenvolver conhecimento atrelado à mesma. Ademais, pela força, luz, inspiração, pelo pai que tive e pela família que tenho.

Sou grata pelo apoio de meus filhos Íris e Lucca, de minha irmã Professora Suzana e principalmente de minha mãe Zilma, auxílio este, enorme e cheio de amor, nos últimos meses do doutorado.

A todos meus amigos, em especial, Aline, Luciana, Bruninho, Vivi, Ana, Luis Carlos, pela força emocional.

Agradeço com carinho aos meus orientadores Edison Divino e Maxwell Silveira pelo apoio à tantos momentos difíceis que passei nesses 4 anos de doutorado, força, atenção, dedicação, boas estratégias logísticas e pelo aprendizado. Dentre os detalhes, auxílio com parcerias para a coleta de campo, organização do tempo para execução de tarefas, estratégias didáticas para otimizar o aprendizado e desenvolver a escrita científica, identificação das abelhas, classificação e validação das paisagens, análises estatísticas, organização da estrutura do texto e revisões, entre outras.

Agradeço à Isadora Correia pelo apoio e colaboração no trabalho desempenhado no capítulo 1, atenção e carinho.

À toda equipe do Laboratório GECON/UFS envolvida no desenvolvimento dessa tese, tanto nas coletas de abelha em campo, montagem dos insetos, organização e classificação de dados, auxílio em pesquisas e análises, principalmente, ao Doutorando Lucas Oliveira, Graziela Andrade e Miriellen dos Santos.

Ao Dr. Lucas Morais pelo auxílio na elaboração de imagem da área de estudo dessa Pesquisa.

Ao Professor Dr. José Dantas pelo auxílio em identificações do material coletado pelas *pan traps*, apoio com o empréstimo de materiais de laboratório e campo, disponibilização de laboratório para montagem de insetos, entre outros. À toda equipe de alunos do Laboratório ENTOMOIFS do Instituto Federal de Sergipe, pelo auxílio na coleta de abelhas e no processo de montagem, em especial à Caio Magno da Silva, Agripino Alves e João Ricardo Carvalho.

Agradeço aos Professores da PPEC pelo conhecimento-aprendizado em disciplinas. Em especial sou grata aos Professores que colaboraram nas Bancas de Qualificação e Defesa do Doutorado, Dr. Sidney Gouveia, Dra. Ana Paula Albano e Dr. Leandro Souto, Dr. Elias

Carnelossi e Dr. Jean Carlos Santos da UFS. Ao Dr. Carlos Alfredo Carvalho da UFRB e Dr. Rodrigo Vasconcelos da Universidade Estadual Feira de Santana. Agradeço à Secretaria do PPEC pela atenção e dedicação em me orientar quando precisei.

Pelo apoio logístico, recursos humanos e financeiros para coleta de abelhas em campo, ao Instituto Federal de Sergipe, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da UFS, à Secretaria de transporte da UFS, à Secretaria de Meio Ambiente do Município de Socorro/SE; Ao Parque Nacional Serra de Itabaiana-SE (PNSI), em nome de Marleno Costa, ao Parque dos Falcões em nome de José Percílio Costa (Percílio). Por fim, agradeço a todos proprietários de terrenos no entorno do PNSI que nos permitiram adentrar em suas propriedades e desempenhar a coleta de abelhas para essa pesquisa.

Ao Instituto Federal de Sergipe por me conceder o afastamento para capacitação na Pós-graduação.

Agradeço o apoio e carinho aos meus amigos da Pós Graduação, principalmente Suzyanne Moraes, André dos Santos e Jane Velma.

## RESUMO GERAL

O declínio de polinizadores, especialmente das abelhas, é uma preocupação mundial crescente devido a importância desse grupo de insetos na polinização. Nas últimas três décadas, muitos estudos têm sido feitos para orientar estratégias de conservação da biodiversidade frente às mudanças na paisagem e seus impactos na diversidade. Contudo, essas pesquisas são dispersas e utilizam diferentes métricas e abordagens, dificultando a associação dos resultados. A presente tese visa sintetizar e organizar esse conhecimento de forma espacial e temporal, identificando lacunas por meio de uma revisão sistemática no Capítulo 1. Inicialmente, os estudos de ecologia da paisagem sobre a diversidade de abelhas baseavam-se na teoria da Biogeografia de Ilhas, considerando que o tamanho e isolamento de manchas de habitat eram determinantes para a diversidade de polinizadores. Com o tempo, percebeu-se que a matriz da paisagem não é necessariamente hostil e que as espécies se movem entre manchas de habitat. Assim, os estudos passaram a considerar o contexto da paisagem e a avaliação em multiescalas, determinando escalas de efeito para as populações e/ou grupos de espécies, fundamentais para a conservação das comunidades de abelhas. Recentemente, em paisagens agrícolas e urbanas, tem sido valorizada a avaliação de respostas funcionais das comunidades de abelhas em diferentes escalas, considerando a heterogeneidade da paisagem. Recursos florais e de nidificação em habitats adjacentes podem favorecer a coexistência de espécies. Em áreas agrícolas, também se avalia o impacto da diversidade de abelhas na produção de sementes e frutos, destacando a importância da conservação desses polinizadores e das áreas naturais e seminaturais. No entanto, há lacunas em estudos sobre os efeitos da antropização em aspectos da diversidade funcional das abelhas, especialmente na região tropical, devido à escassez de registros e especialistas. O estudo empírico do Capítulo 2, por sua vez, avaliou o efeito da heterogeneidade da paisagem nas respostas da diversidade funcional de abelhas da região neotropical, incluindo registros de especialização alimentar, níveis de socialidade, tamanho dos centróides de asas, distâncias de voo e padrões de nidificação em 12 paisagens de matrizes agrícolas na Mata Atlântica em Sergipe. Foram capturados 498 espécimes pertencentes a 61 espécies de 16 tribos e 4 famílias de abelhas. Destes indivíduos, 421 foram coletados por rede com busca ativa em 192 horas (16 horas por ponto amostral) e 77 abelhas coletadas por *pan traps* durante 864 horas (3 dias por ponto amostral). A coleta por *pan traps* complementou os dados de forma a capturar espécies de abelhas que não foram coletadas em rede. Os modelos analisados mostram que tanto a proporção de floresta quanto a diversidade de habitats têm efeitos positivos na riqueza taxonômica e funcional das espécies de abelhas. Esse padrão é mais evidente em paisagens com níveis intermediários de habitat florestal e maior diversificação das classes de uso e cobertura do solo. Esses resultados destacam a importância da heterogeneidade e da distribuição equitativa de habitats para a conservação das espécies de abelhas e consequente manutenção dos serviços de polinização. Por fim, para aprimorar os resultados do Capítulo 2, incluímos o Capítulo 3 em formato de *short communication* que estima a distância máxima de voo para abelhas neotropicais a partir do tamanho dos centróides das asas de abelhas. Esta estimativa é crucial para compreender o potencial de movimento e dispersão das abelhas, o que por sua vez pode orientar planejamentos paisagísticos e estratégias de conservação.

**Palavras-chave:** zona tropical; ecologia da paisagem; heterogeneidade da paisagem; diversidade funcional; distâncias de voo; morfometria geométrica; análise bibliométrica.

## GENERAL ABSTRACT

The decline in pollinators, particularly bees, is not just a concern, but a pressing global issue. These insects play a pivotal role in pollination, and their dwindling numbers over the past three decades have sparked numerous studies. These studies, while informative, have been scattered and employed diverse metrics and approaches, making it challenging to arrive at consistent conclusions. This thesis, therefore, is a timely and unique effort to synthesize and chronologically organize this wealth of knowledge, pinpointing gaps through a systematic review in Chapter 1. By doing so, it provides a comprehensive overview of the current state of research on bee diversity and its impact on pollination services, and identifies areas where further research is needed, contributing to the conservation of bee communities. The journey of research on bee diversity within landscape ecology, initially rooted in the Island Biogeography Theory, has been a testament to adaptability and progress. The Island Biogeography Theory, proposed by MacArthur and Wilson in 1967, initially suggested that the size and isolation of habitat patches are the key factors influencing pollinator diversity. However, as time progressed, it became clear that the landscape matrix is not necessarily hostile, allowing species to move between habitat patches. This realization led to a shift in research focus towards the landscape context and multiscale assessments, determining effect scales for populations and species groups, which are crucial for the conservation of bee communities. Recent studies in agricultural and urban landscapes have evaluated the functional responses of bee communities at different scales, considering landscape heterogeneity. Floral and nesting resources in adjacent habitats can promote species coexistence. In agricultural areas, the impact of bee diversity on seed and fruit production has also been assessed, underscoring the importance of conserving these pollinators in natural and semi-natural areas. However, studies on the effects of human-induced changes on bees' dietary specialization, particularly in tropical regions, need more records and specialists. The empirical study in Chapter 2 assessed the functional diversity responses of neotropical bees, including dietary specialization, sociality levels, flight distances, and nesting patterns, across 12 heterogeneous agricultural landscapes in the Atlantic Forest in Sergipe. A total of 498 specimens, representing 61 species from 16 tribes and four families, were captured. Of these, 421 individuals were collected by net during 192 hours of active searching (16 hours per sampling point), while 77 bees were collected using pan traps over 864 hours (3 days per sampling point). The pan trap method complemented the research data by capturing bee species not collected by a net. The analyzed models reveal a significant correlation between the proportion of forest and the diversity of habitats, and the taxonomic and functional richness of bee species. This pattern is particularly pronounced in landscapes with intermediate levels of forest habitat and greater diversity of land use and cover classes. These findings underscore the importance of habitat heterogeneity and equitable distribution for conserving bee species and maintaining pollination services, emphasizing the relevance of your work in this field. Additionally, to enhance the results of Chapter 2, we included the Chapter 3 as a short communication estimating the maximum flight distance for Neotropical bees based on the centroid measurement of bee wings used in our methodology. This estimation is crucial for understanding the potential for bee movement and dispersal, which in turn can inform landscape planning and conservation strategies.

**Keywords:** tropical zone; landscape ecology; landscape heterogeneity; functional diversity; flight distances; geometric morphometrics; bibliometric analysis.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                                                                                 | <b>11</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                                                                 | <b>13</b> |
| <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                                                                | <b>14</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                     | <b>17</b> |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>                                                                                                       | <b>18</b> |
| <b>Lacunas e Tendências de Pesquisa em Diversidade de Abelhas e Ecologia da Paisagem:<br/>Uma revisão bibliométrica.....</b> | <b>18</b> |
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                                           | <b>19</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                        | <b>20</b> |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                      | <b>21</b> |
| <b>METODOLOGIA.....</b>                                                                                                      | <b>24</b> |
| Revisão não sistemática .....                                                                                                | 24        |
| Revisão sistemática.....                                                                                                     | 24        |
| Revisão Bibliométrica .....                                                                                                  | 26        |
| <b>RESULTADOS .....</b>                                                                                                      | <b>30</b> |
| Estrutura da influência intelectual .....                                                                                    | 33        |
| Tendências e Lacunas de pesquisa.....                                                                                        | 40        |
| <b>DISCUSSÃO .....</b>                                                                                                       | <b>42</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                     | <b>49</b> |
| <b>CAPÍTULO 2.....</b>                                                                                                       | <b>58</b> |
| <b>Efeitos da Heterogeneidade da Paisagem na Diversidade Funcional de Abelhas<br/>em Floresta Tropical .....</b>             | <b>58</b> |
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                                           | <b>59</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                        | <b>60</b> |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                      | <b>61</b> |
| <b>METODOLOGIA.....</b>                                                                                                      | <b>63</b> |

|                                                                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Área de Estudo.....                                                                                                | 63         |
| Seleção de unidades amostrais.....                                                                                 | 64         |
| Classificação dos elementos da paisagem .....                                                                      | 65         |
| Levantamento das espécies de abelhas na área de estudo .....                                                       | 66         |
| Classificação das abelhas por características ecológicas.....                                                      | 67         |
| Análise dos dados .....                                                                                            | 67         |
| Diversidade funcional das abelhas.....                                                                             | 67         |
| Estrutura da paisagem e diversidade de abelhas.....                                                                | 68         |
| <b>RESULTADOS .....</b>                                                                                            | <b>69</b>  |
| Composição Funcional da comunidade .....                                                                           | 69         |
| <b>DISCUSSÃO .....</b>                                                                                             | <b>73</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                           | <b>75</b>  |
| <b>CAPÍTULO 3 .....</b>                                                                                            | <b>78</b>  |
| <b>Distância potencial de Voo de Abelhas Neotropicais a partir de Dados Morfogeométricos da Asa anterior .....</b> | <b>78</b>  |
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                                 | <b>79</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                              | <b>80</b>  |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                            | <b>81</b>  |
| <b>METODOLOGIA.....</b>                                                                                            | <b>82</b>  |
| Coleta de dados.....                                                                                               | 82         |
| Ajuste do modelo.....                                                                                              | 83         |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                | <b>84</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                           | <b>87</b>  |
| <b>CONCLUSÕES E DIREÇÕES .....</b>                                                                                 | <b>91</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                           | <b>93</b>  |
| <b>MATERIAL SUPLEMENTAR- CAPÍTULO 1 .....</b>                                                                      | <b>94</b>  |
| <b>MATERIAL SUPLEMENTAR-CAPÍTULO 2 .....</b>                                                                       | <b>145</b> |

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 - Lacunas e Tendências Da Ecologia Da Paisagem Em Padrões Espaciais De Diversidade De Abelhas

- Figura 1.** Fluxograma adaptado de PAGE et al., (2021), representando o processo de identificação, triagem e inclusão dos artigos publicados que avaliam a influência estrutural e funcional da paisagem sobre os padrões de diversidade das comunidades de abelhas no período de 1994 a outubro 2023. ....26
- Figura 2.** Número de Documentos publicados nas 10 principais Revistas referentes aos estudos da diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas Paisagens. ....31
- Figura 3.** Número de Documentos publicados referentes aos estudos da diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas Paisagens nas 20 instituições de Países mais influentes .....32
- Figura 4.** Porcentagem dos documentos publicados em função da escala em que se avaliou o efeito de alterações da paisagem na diversidade de abelhas, por Região Climática da área de estudo das pesquisas. ....33
- Figura 5.** Cenário do desenvolvimento da estrutura da influência intelectual dos estudos de ecologia da paisagem na diversidade de abelhas (limite mínimo 20 citações, 1999 a 2022, n=146) ao longo do tempo.....34
- Figura 6.** Cenário da evolução conceitual dos assuntos quanto à origem e relações entre os temas (Período de 1999 a outubro 2023) no que tange aos estudos dos padrões de diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas paisagens.....41

### CAPÍTULO 2 - Efeitos Da Heterogeneidade da Paisagem na Diversidade Funcional de Abelhas Em Floresta Tropical

- Figura 1** Área de estudo com 12 pontos amostrais no Parque Nacional Serra de Itabaiana e entorno. ....63

**Figura 2.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da proporção de floresta nas paisagens em sua respectiva escala de efeito(riqueza,400m; abundância, 1600m; riqueza funcional, 400m)..... 70

**Figura 3.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da diversidade de classes (SDHI) em sua respectiva escala de efeito(400m). ..... 71

**Figura 4.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da equitabilidade de classes (SHEI) em sua respectiva escala de efeito(400m). ..... 71

### **CAPÍTULO 3 - Distância potencial de Voo de Abelhas Neotropicais a partir de Dados Morfogeométricos da Asa anterior**

**Figura 1.** Regressão linear da distância potencial de voo em função do tamanho do centroide da asa anterior para as 10 espécies de abelhas.....85

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - Lacunas e Tendências de Pesquisa em Diversidade de Abelhas e Ecologia da Paisagem: Uma revisão bibliométrica**

**Tabela 1.** Terminologia utilizada para as análises bibliométricas aplicadas.....29

### **CAPÍTULO 2 - Efeitos Da Heterogeneidade da Paisagem na Diversidade Funcional de Abelhas Em Floresta Tropical**

**Tabela 2.** Classes dos elementos da Paisagem que ocorrem na área de estudo (PNSI e Zona de amortecimento). Identificação das classes, nome das classes e número da cor utilizada pelo Programa MapBiomias, Coleção de classes 7.....65

**Tabela 3.** Características de história de vida usadas para caracterizar os táxons das abelhas (adaptação seguindo LE FEON et al., 2016).....67

### **CAPÍTULO 3 - Distância potencial de Voo de Abelhas Neotropicais a partir de Dados Morfogeométricos da Asa anterior**

**Tabela 4.** Lista das 10 espécies selecionadas após exclusão dos outliers, com valores do tamanho do centroide das asas obtidos dos 13 *landmarks* e das distâncias potenciais de voo em metros com suas respectivas referências.....84

**Tabela 5.** Lista de 32 espécies para as quais foram preditos a distância de voo a partir do modelo ajustado. ....86

## **INTRODUÇÃO GERAL**

---

## INTRODUÇÃO GERAL

O rápido crescimento da população humana e o aumento da demanda por alimentos têm promovido a conversão das paisagens florestais em paisagens agrícolas, substituindo os habitats naturais por monoculturas e pastagens (PROUGH et al., 2008). Esse processo é danoso para os sistemas florestais e agrícolas, pois reduz a cobertura florestal e a heterogeneidade espacial da paisagem, diminuindo a diversidade de espécies e pondo em risco serviços ecossistêmicos essenciais, como os de polinização (VIANA et al., 2012).

Conhecer a distribuição dos polinizadores e seus limites de dispersão é chave para estudos da origem, da diversificação evolutiva e da conservação (JACKSON et al., 2018; ORR et al., 2021). Essas ferramentas possibilitam desvendar como certas espécies responderão às intervenções antrópicas (BYSTRIAKOVA et al., 2018; MORINIÈRE et al., 2016). Nesse sentido, é necessário disponibilizar informações sobre os efeitos da intervenção antrópica nas paisagens nos padrões de diversidade de abelhas, indicando lacunas para guiar futuros estudos e garantir a manutenção da diversidade de abelhas e de seus serviços ecossistêmicos.

Ocorre que as informações sobre padrões espaciais e a diversidade de abelhas em função de alterações nas paisagens são difusas na literatura, uma vez que esse conhecimento é abordado com base em diferentes conceitos e métricas dentro da Ecologia da Paisagem e sobre diferentes aspectos da diversidade de polinizadores, incluindo a diversidade funcional estudada recentemente. Diferentes tribos de polinizadores e grupos funcionais podem perceber ou ser afetados por diversos aspectos dos habitats adjacentes, em diferentes escalas (FAHRIG, 2013; LIMA; MORO, 2015; SWIFT; HANON, 2010), devido às suas características ecológicas, tais como capacidade de dispersão, nível de socialidade, capacidade reprodutiva, hábito alimentar, entre outros (METZGER, 2001; MOREIRA et al., 2017).

Para melhor compreensão do tema foi necessária uma revisão da literatura disponível, organizando de forma sistemática, o desenvolvimento do processo de triagem e seleção de artigos. Desses artigos incluídos, realizamos análises bibliométricas que identificaram e organizaram os temas de pesquisa, apontando tendências e lacunas do conhecimento, facilitando o direcionamento à elaboração de novas pesquisas para auxiliar na criação de estratégias efetivas à conservação dos polinizadores. Por outro lado, a realização de estudos empíricos abordando a resposta de grupos funcionais de polinizadores às mudanças na paisagem em locais onde esses estudos são escassos, como é o caso da região tropical, é fundamental para a compreensão de padrões em escala de paisagem e para a consequente melhoria das estratégias de conservação (BYSTRIAKOVA et al., 2018)

Dentro do grupo dos insetos, as abelhas têm sido apontadas como as mais efetivas polinizadoras e têm sido objetos de uma extensa literatura. Nesse sentido, organizamos este trabalho, utilizando as abelhas como grupo de estudo, em três partes: a primeira, uma revisão bibliométrica, a segunda, um trabalho empírico, e a terceira, o desenvolvimento de um método que estimou o atributo funcional de capacidade máxima de voo para abelhas neotropicais. A presente pesquisa utilizou as abelhas como grupo modelo para representar os polinizadores, demonstrando, no Capítulo 1, o desenvolvimento espacial e temporal do conhecimento da ecologia da paisagem na diversidade de abelhas, apontando tendências e lacunas para essa área de conhecimento por meio de uma revisão bibliométrica. No Capítulo 2 desenvolvemos uma pesquisa na Região Neotropical em matrizes agrícolas na região do Parque Nacional da Serra de Itabaiana, no estado de Sergipe, Nordeste do Brasil, área sob o domínio morfoclimático da mata atlântica, formada por um mosaico de vegetações, demonstrando padrões de resposta de riqueza, abundância, composição e diversidade funcional de abelhas às mudanças na heterogeneidade espacial de paisagens causadas pela conversão antrópica de florestas em pastagens e, principalmente, em áreas agrícolas. Por fim, para enriquecer os atributos funcionais avaliados das abelhas capturadas na Serra de Itabaiana durante o trabalho empírico, essa tese apresentou o Capítulo 3 em forma de *short communication* apresentando um método que estimou distância máxima de voo para abelhas neotropicais, baseada no tamanho dos centroides das asas das abelhas.

## REFERÊNCIAS

- BYSTRIAKOVA, N. et al. Key environmental determinants of global and regional richness and endemism patterns for a wild bee subfamily. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 2, p. 287–309, 2018.
- FAHRIG, L. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 9, p. 1649–1663, set. 2013.
- JACKSON, J. M. et al. Distance, elevation and environment as drivers of diversity and divergence in bumble bees across latitude and altitude. **Molecular Ecology**, v. 27, n. 14, p. 2926–2942, 2018.
- LIMA, C.N.; MORO, R. S. Escalas Na Ecologia Da Paisagem. **Terr@ Plural**, v. 9, n. 1, p. 68–83, 2015.
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1-2, p. 1–9, 2001.
- MOREIRA, E. F. et al. Influence of landscape structure on Euglossini composition in open vegetation environments. **Biota Neotropica**, v. 17, n. 1, p. 1–7, 2017.
- MORINIÈRE, J. et al. Phylogenetic niche conservatism explains an inverse latitudinal diversity gradient in freshwater arthropods. **Scientific Reports**, v. 6, p. v. 17, p. 26340.
- ORR, M. C. et al. Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. **Current Biology**, v. 31, n. 3, p. 451- 458.e4, 2021.
- PRUGH, L. et al. Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations. **Proc. Natl Acad. Sci.**, v. 105, p. 20770 – 20775, 2008.
- SWIFT, T. L.; HANNON, S. J. Critical thresholds associated with habitat loss: A review of the concepts, evidence, and applications. **Biological Reviews**, v. 85, n. 1, p. 35–53, 2010.
- VIANA, B. F. et al. How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **Journal of Pollination Ecology**, v. 7, n. 5, p. 31–41, 2012.

## **CAPÍTULO 1**

---

### **Lacunas e Tendências de Pesquisa em Diversidade de Abelhas e Ecologia da Paisagem: Uma revisão bibliométrica**

## RESUMO

As abelhas são o principal grupo de polinizadores e um dos mais ameaçados e estudados sob a perspectiva da paisagem. O declínio das comunidades de abelhas, principalmente em paisagens agrícolas, gerou a necessidade de se entender os mecanismos pelos quais a perda e a fragmentação de habitat afetam diferentes aspectos da diversidade de abelhas na escala da paisagem. A compreensão dos impactos das mudanças antropogênicas nas paisagens sobre a diversidade de polinizadores é determinante para desenvolver estratégias de conservação eficazes. Este capítulo trata de uma pesquisa da literatura sobre os efeitos das alterações na paisagem na diversidade de abelhas, incluindo como novidade, revisão bibliométrica para organizar o conhecimento espacial e temporalmente referente à métricas da paisagem, aspectos da diversidade de abelhas, escalas de análise e arcabouços teóricos que acabaram tornando difícil a comparação de resultados no conjunto de trabalhos desenvolvidos nas últimas décadas. A busca dos artigos foi realizada na base de dados *Web of Science* (WoS) utilizando palavras-chave específicas relacionadas à diversidade de abelhas e características da paisagem, resultando em 3.179 artigos publicados entre 1994 e 2023. Após a exclusão de revisões teóricas, modelagens e conferências, os artigos foram filtrados com base na estratégia PECOS e critérios de inclusão e exclusão que focavam em hipóteses sobre variáveis preditoras da paisagem e a diversidade de abelhas. 290 artigos foram incluídos para as análises bibliométricas de acoplamento bibliográfico e co-ocorrência de palavras-chave, no software VOSviewer. Isso permitiu a visualização dos temas, redes de pesquisa e a evolução do campo ao longo do tempo. As publicações foram organizadas em categorias de acordo com o nível de análise abordado, ou seja, escala de mancha e/ou contexto da paisagem e zona climática estudada. Os dados foram visualizados em mapas de rede, identificando padrões de associação e o desenvolvimento da estrutura da influência intelectual dos autores e do conhecimento. Dos 3.179 artigos, 290 trabalhos foram incluídos para a Revisão bibliométrica. A maioria dos estudos foi publicado em revistas de Ecologia e Agricultura, onde 76% ocorreram na região temperada e apenas 24% na região tropical. Nos estudos em regiões temperadas, 77% abordaram o contexto da paisagem, enquanto nos trópicos, 48% seguiram essa abordagem. A análise bibliométrica de acoplamento bibliográfico revelou quatro grupos de pesquisa principais. Os quatro clusters identificados abordam diferentes aspectos dos efeitos da paisagem na diversidade de abelhas, como fragmentação de habitats, heterogeneidade de paisagens agrícolas, impacto da agricultura intensiva e urbanização. Estudos recentes apontam lacunas de pesquisa em paisagens mistas de matrizes urbano-agrícolas, e de métricas da paisagem como diversidade de campo agrícola e configuração da paisagem, e sugerem tendências emergentes focadas na composição e complexidade da paisagem, diversidade funcional de abelhas, e intensificação agrícola. A análise destaca a importância de habitats seminaturais e de estudos sobre a influência das mudanças na paisagem na biodiversidade de abelhas para apoiar políticas e práticas de conservação eficazes em escala global, especialmente em regiões tropicais do planeta.

**Palavras-chave:** ecologia da paisagem; fragmentação de habitats; heterogeneidade da paisagem; habitats seminaturais; diversidade funcional.

## ABSTRACT

Bees are the primary group of pollinators, and are one of the most threatened and studied from a landscape perspective. The decline of bee communities, mainly in agricultural landscapes, has generated a need to understand the mechanisms by which habitat loss and fragmentation affect different aspects of bee diversity at the landscape scale. Understanding the impact of anthropogenic changes in landscapes on pollinator diversity is crucial for developing effective conservation strategies. This chapter deals with a literature review on the effects of landscape changes on bee diversity, including bibliometric analysis, as novelty, to spatially and temporally organize knowledge for better analysis of the topic, given the variation in metrics, scales, and theoretical frameworks that have made comparing results across studies developed in recent decades difficult. The bibliometric review initially involved a non-systematic literature review to identify relevant conceptual and methodological paradigms, followed by a systematic review on the Web of Science (WoS) database. Specific keywords related to bee diversity and landscape characteristics were used, resulting in 3179 articles published between 1994 and 2023. After excluding theoretical reviews, modeling, and conferences, articles were filtered based on the PECOS strategy and exclusion criteria, focusing on hypotheses regarding effects of landscape predictor variables on bee diversity. The selected articles were analyzed using VOSviewer software to conduct bibliographic coupling and keyword co-occurrence analyses, visualizing research networks and the field's evolution over time. Publications were categorized according to patch scale and landscape context, with data visualized on network maps to identify association patterns and intellectual influence. 290 works were selected for detailed analysis. Most studies were published in ecology and agriculture journals, with 76% focusing on the temperate region and only 24% on the tropical region. In temperate studies, 77% addressed the landscape context, while in the tropics, 48% followed this approach. Bibliographic coupling analysis of 146 articles revealed four main research lines. The four identified clusters address different aspects of the effects of landscape on bee diversity, such as habitat fragmentation, agricultural landscape heterogeneity, intensive agriculture impact, and urbanization. Recent studies point out research gaps such as studies in mixed urban-agricultural systems, metrics as agricultural crop diversity, landscape configuration and suggest emerging trends focused on landscape composition and complexity, functional diversity, and agricultural intensification. This analysis highlights the importance of semi-natural habitats and the continuity of studies on bee diversity in different landscape contexts to support effective conservation policies and practices on a global scale, especially in tropical regions of the planet.

**Keywords:** landscape ecology; habitat fragmentation; landscape heterogeneity; seminatural habitats; functional diversity

## INTRODUÇÃO

A crise dos polinizadores é um problema global preocupante devido aos seus impactos nos serviços ecossistêmicos e na produção de alimentos (ORR et al., 2021a). Ao redor do mundo, cerca de 90% das espécies vegetais nativas e 35% das espécies vegetais cultivadas dependem dos serviços de polinização de vertebrados e invertebrados (IPBES, 2022). Contudo, muitas espécies de polinizadores estão em risco de extinção, pondo em risco o funcionamento dos ecossistemas, a produtividade agrícola e o bem-estar humano. Uma das principais causas de declínio dos polinizadores é a perda e a fragmentação de habitats (DICKS et al., 2021). Esse processo diminui a disponibilidade de recursos alimentares e de nidificação, afetando a sobrevivência e reprodução das espécies (NEWBOLD et al., 2015; VIANA et al., 2012). A conservação de polinizadores em paisagens modificadas pela espécie humana exige compreensão dos padrões de estruturação das comunidades de polinizadores em resposta às alterações estruturais e funcionais ao nível de paisagem (KEARNS; OLIVERAS, 2009). Essa compreensão é crucial para o desenvolvimento de estratégias de conservação eficazes, considerando as necessidades específicas das diferentes espécies rente às mudanças de estrutura e funcionalidade das paisagens.

As abelhas são o principal grupo de polinizadores, também um dos mais ameaçados e estudados sob a perspectiva da paisagem (VIANA et al., 2012a). O declínio das comunidades de abelhas, principalmente em paisagens agrícolas, gerou a necessidade de se entender os mecanismos pelos quais a perda e a fragmentação de habitat afetam diferentes aspectos da diversidade de abelhas na escala da paisagem (STEFFAN-DEWENTER; WESTPHAL, 2008). A escala da paisagem é definida como a dimensão espacial que inclui a extensão de diferentes tipos de habitat e tipos de uso da terra e suas configurações espaciais. Nesse contexto, a Ecologia da Paisagem tem sido a abordagem mais adequada para acessar os efeitos da perda, da fragmentação e da heterogeneidade espacial da paisagem sobre as comunidades de abelhas, visto que utiliza uma variedade de parâmetros para quantificar a estrutura da paisagem, em múltiplas escalas espaciais (FRAZIER; KEDRON, 2017; LLAUSS; NOGUÉ, 2012; TURNER, 2005). Além disso, a escala espacial que delimita o contexto da paisagem é definida em função da percepção do organismo estudado (FAHRIG, 2013; TURNER, 1989). As abelhas percebem o ambiente em função da disponibilidade dos seus recursos florais e locais para nidificação (WINFREE, 2010; WINFREE; GRISWOLD; KREMEN, 2007). Desse modo, o delineamento das paisagens com enfoque na resposta das abelhas deve considerar a movimentação dos

indivíduos entre habitats de forrageamento e habitat de nidificação (RICKETTS et al., 2008; STEFFAN-DEWENTER; WESTPHAL, 2008).

Dentre as diferentes abordagens metodológicas, os padrões de resposta das comunidades de polinizadores podem ser influenciados pelas variáveis resposta escolhidas que variam entre aspectos taxonômicos, ecológicos e evolutivos, de uma espécie ou grupo de espécies, e ainda pelas diferentes variáveis preditoras da paisagem, que podem estar relacionadas à estrutura (perda e fragmentação de habitat, redução na heterogeneidade) e/ou funcionalidade (conectividade, disponibilidade de recursos florais). A escolha das métricas de paisagem é guiada por diversas abordagens conceituais (teorias e hipóteses), que variam de acordo com o nível de análise desejado (BASU et al., 2016; DE PALMA et al., 2016; PERALTA et al., 2023).

Antes do desenvolvimento teórico atual para pesquisas na escala de paisagem, vieram os estudos na escala de manchas, considerando efeitos de tamanho de mancha de habitat florestal e isolamento entre manchas na riqueza de polinizadores (ALBRECHT et al., 2007; BROSI; DAILY; EHRLICH, 2007; STEFFAN-DEWENTER et al., 2002; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999), que seguiam o modelo da teoria de biogeografia de ilhas (MACARTHUR; WILSON, 1967). Estudos posteriores, por outro lado, passaram a considerar que a matriz da paisagem possibilita a movimentação das espécies entre os habitats (ANDREN, 1994; URBAN; O'NEILL; SHUGART JR, 1987). Influenciados pela Teoria de Metapopulações (HANSKI; GILPIN, 1991) e pelo Paradigma Habitat Matriz (KLINGBEIL; WILLIG, 2016), esses estudos evidenciaram a importância de analisar o contexto da paisagem em pesquisas com polinizadores (STEFFAN-DEWENTER et al., 2002). Essa nova abordagem sugere que se deve considerar o contexto da paisagem para avaliar a diversidade de polinizadores em função da quantidade total de habitat disponível na paisagem. Nesse sentido, a hipótese *Habitat Amount* tem implicações significativas para a gestão e conservação da biodiversidade, pois sugere que políticas e práticas de conservação devem priorizar a maximização da quantidade de habitat natural na paisagem (FAHRIG, 2013).

Fahrig et al. (2011) propuseram o paradigma composição-configuração, que explora a influência da estrutura da paisagem na biodiversidade, destacando dois componentes principais: composição e configuração de habitats. Composição refere-se aos diferentes tipos de habitat presentes em uma paisagem, bem como à proporção relativa de cada um deles. Por outro lado, a configuração trata do arranjo espacial desses habitats dentro da paisagem. O paradigma composição-configuração sugere que, tanto a composição, quanto a configuração são cruciais para a biodiversidade, embora seu impacto possa variar de acordo com o contexto específico da paisagem e das espécies envolvidas.

Alguns estudos examinaram a funcionalidade da paisagem ao considerar a proximidade entre manchas de habitat e a diversidade de elementos na diversidade de polinizadores. Essas pesquisas foram fundamentadas na hipótese da permeabilidade da matriz (PREVEDELLO; VIEIRA, 2010), que sugere que uma proximidade maior entre as manchas de habitat nas paisagens aumenta a presença de espécies. Além disso, esses estudos também investigaram o impacto da diversidade de elementos na paisagem na diversidade de polinizadores. Eles se embasaram na hipótese da heterogeneidade de habitat (FAHRIG et al., 2015; MOREIRA et al., 2017) que indica que a presença de diferentes elementos na paisagem oferece recursos complementares aos habitats principais das espécies, reduzindo a competição e promovendo a diversidade de polinizadores. Essas duas abordagens são cruciais para entender como a estrutura da paisagem influencia a comunidade de polinizadores nas paisagens antropizadas.

Nesse sentido, apesar da extensa literatura em Ecologia da paisagem investigar os efeitos de variáveis preditoras da paisagem sobre diferentes aspectos da diversidade de polinizadores e sobre diferentes escalas, existe uma lacuna na síntese e análise dessas informações ao longo do espaço e do tempo. A falta de uma compreensão abrangente sobre o desenvolvimento desses estudos e sobre os critérios adotados para formulação de estratégias de conservação eficazes para as comunidades de polinizadores frente à influência humana é evidente.

Considerando que as abelhas são as mais efetivas polinizadoras da natureza e que têm menor tolerância à conversão de paisagens naturais em antropizadas, em comparação à outros grupos de insetos (STEFFAN-DEWENTER et al., 2006) investigamos a literatura envolvendo os trabalhos desenvolvidos com as abelhas, como grupo chave, utilizando uma revisão bibliométrica para organizar e sintetizar as informações disponíveis sobre os aspectos de diversidade dos polinizadores estudados e métricas da paisagem utilizadas para a avaliação dos impactos da antropização das paisagens sobre os polinizadores (PAUTASSO, 2013). Especificamente, nós objetivamos analisar o perfil e a evolução espacial e temporal do conhecimento encontrado nos artigos que testam hipóteses direcionadas à influência de preditores estruturais e funcionais da paisagem na diversidade das comunidades de abelhas em escala de manchas e no contexto da paisagem, avaliando: 1) Principais revistas da divulgação da literatura científica; 2) distribuição geográfica (países) das instituições em que os artigos foram publicados; 3) Região climática da área de estudo onde ocorreram as pesquisas; 4) Frequência de sistemas estudados, de preditores da paisagem utilizados e de aspectos de diversidade avaliados ao longo do tempo; 5) Conectar abordagens conceituais às abordagens metodológicas que fundamentaram a escolha de preditores da paisagem utilizados em função da escala; 6) Identificar temáticas dos grupos de pesquisa e como se influenciaram ao longo do tempo. Com isso, podemos contribuir com

temas e ambientes prioritários para o investimento e desenvolvimento de pesquisas que visem garantir de forma efetiva a manutenção da diversidade das abelhas nas paisagens sob processo de antropização.

## **METODOLOGIA**

### ***Revisão não sistemática***

Realizamos uma revisão não-sistemática, *a priori*, da literatura para identificar os principais paradigmas conceituais e metodológicos que influenciaram a escolha das variáveis preditoras, estruturais e funcionais da paisagem, e aspectos da diversidade taxonômica e funcional de abelhas. Isso nos auxiliou a fundamentar e nortear a definição das palavras-chave adequadas à busca de artigos em nossa Pesquisa.

### ***Revisão sistemática***

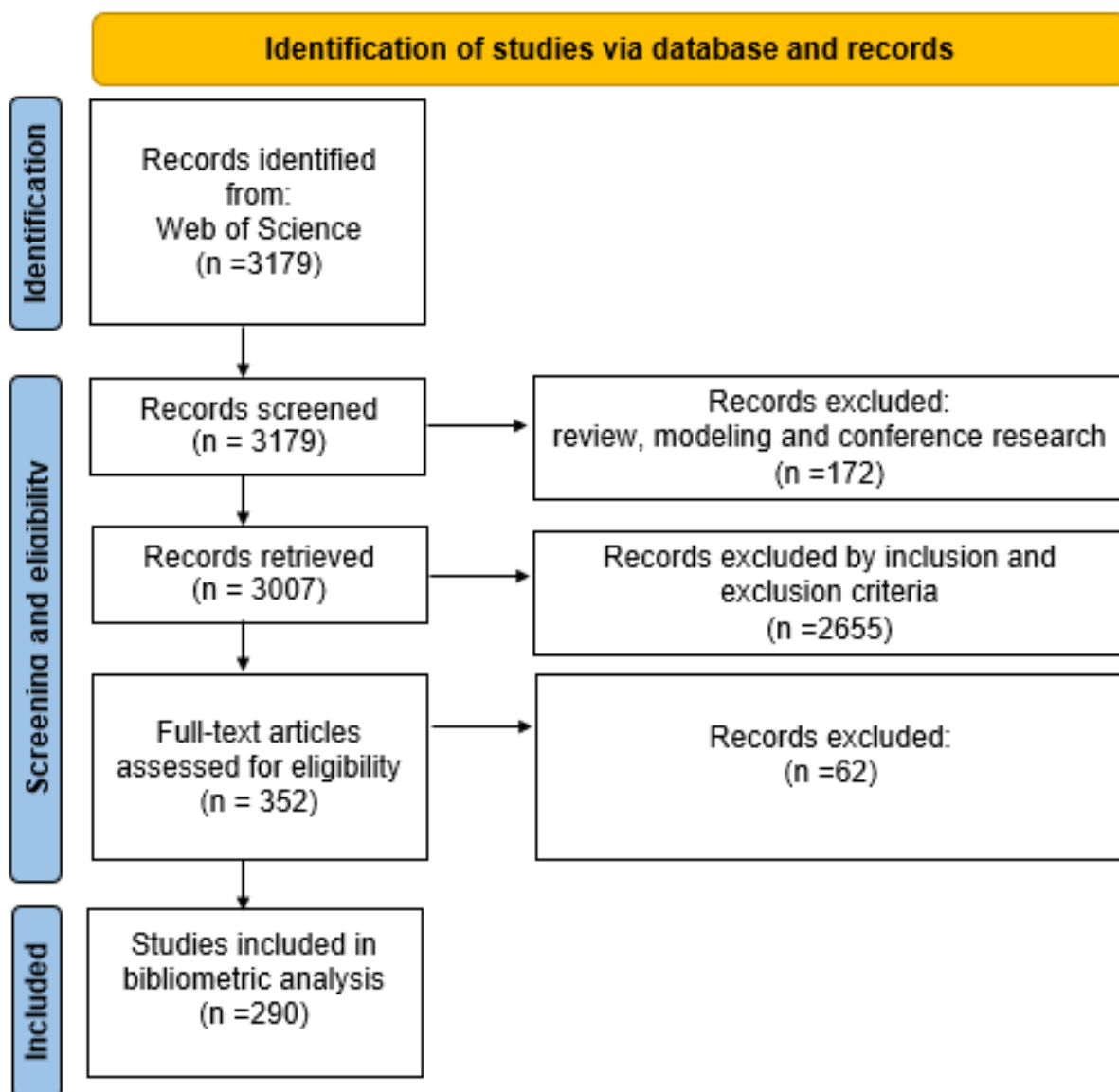
Em seguida, realizamos uma revisão sistemática para definir a pergunta dessa pesquisa, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e o desenvolvimento dos processos de triagem, filtragem e inclusão dos artigos para essa pesquisa (Material Suplementar S1).

Conduzimos a pesquisa por meio da base de dados Web of Science (WoS; <https://www.webofscience.com>). Para a busca dos artigos, realizamos a pesquisa por ‘Tópico’ (título-resumo-palavra-chave), com as seguintes palavras-chave: (((TS=('bee' OR 'bees' OR 'Apidae' OR 'Apoidea')) NOT TS=('wasp\*')) AND TS=('functional diversity' OR 'functional richness' OR 'diversity' OR 'richness' OR 'abundance' OR 'composition' OR 'response traits' OR 'partitioning diversity' OR 'alpha diversity' OR 'gamma diversity' OR 'beta diversity' OR 'phylogenetic diversity')) AND TS=('edge effect' OR 'patch area' OR 'patch isolation' OR 'landscape structure' OR 'landscape configuration' OR 'landscape connectivity' OR 'landscape heterogeneity' OR 'fragmentation' OR 'landscape composition' OR 'landscape\*' OR 'matrix' OR 'habitat loss' OR 'agricultural system\*' OR 'land use' OR 'scale effect' OR 'landscape context')).

Após a busca, encontramos 3.179 artigos em toda a janela temporal disponível na base de dados do WoS, marcada pelo primeiro registro publicado em 1994 até a data de acesso a essa plataforma para a presente pesquisa em 03 de outubro de 2023. Realizamos a primeira filtragem das publicações excluindo os artigos de revisão teórica ou sistemática, de modelagem teórica e de conferências, ficando apenas com os documentos de pesquisa experimentais e os

de análise de metadados. Em seguida, triamos as publicações a partir dos resumos em função de critérios de inclusão e exclusão, relacionados às perguntas que estabelecemos com base na estratégia PECOS (MOHER et al., 2009) (Material Suplementar S1). Dentro do critério de inclusão, consideramos somente artigos que apresentavam hipóteses relacionadas aos efeitos de variáveis preditoras da paisagem nas respostas da diversidade de abelhas, de forma espacialmente explícita, ou seja, que quantificaram os elementos da paisagem utilizando métricas de paisagem. Em seguida, realizamos a leitura dos artigos recuperados na íntegra e selecionamos 290 estudos que foram incluídos para as análises bibliométricas, publicados entre 1999 e 2023. Por fim, reportamos os procedimentos de triagem e inclusão dos artigos em um fluxograma, conforme diretrizes do PRISMA (PAGE et al., 2021) (Figura 1).

Dentro da base de dados *Web of Science*, as publicações foram agrupadas em pastas por escala de mancha (análise da área e do isolamento da mancha focal), por contexto da paisagem, por zona tropical e por zona temperada. Para a identificação da zona climática, registramos os locais da área de estudo das pesquisas dos artigos incluídos e os classificamos segundo (BECK et al., 2018). Os artigos incluídos pela revisão sistemática foram submetidos à Revisão bibliométrica.



**Figura 1.** Fluxograma adaptado de PAGE et al., (2021), representando o processo de identificação, triagem e inclusão dos artigos publicados que avaliam a influência estrutural e funcional da paisagem sobre os padrões de diversidade das comunidades de abelhas no período de 1994 a outubro 2023.

### ***Revisão Bibliométrica***

Seguindo o método descrito por Correia et al. (2023) aplicamos duas análises bibliométricas, de acoplamento bibliográfico e de co-ocorrência de palavras-chave que nos permitiram identificar redes de padrões iniciais e emergentes no desenvolvimento do campo de pesquisa da Ecologia de paisagem aplicada à avaliação dos impactos da perda e fragmentação de habitats sobre os aspectos da diversidade de abelhas. A primeira análise elucidou a influência da estrutura intelectual, que molda o desenvolvimento do campo de pesquisa, por meio da análise de acoplamento de pares de publicações que citam referências de artigos em comum, utilizando os

metadados (ver Material suplementar S2, S3). A segunda análise possibilita identificar as variáveis estruturais e funcionais da paisagem (variáveis preditoras), bem como suas métricas, e as variáveis relacionadas à estrutura das comunidades de abelhas (variáveis resposta), bem como as métricas de diversidade para o desenvolvimento dos tópicos de pesquisa. Os metadados dos artigos selecionados foram incluídos no software VOSviewer 1.6.20 (VAN ECK et al., 2010) para as análises bibliométricas (ver as definições das terminologias utilizadas para as análises bibliométricas na Tabela 1).

| <b>Termo</b>                         | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Itens                                | Elementos individuais, como palavras-chave ou publicações que são analisados e agrupados em conjuntos relacionados.                                                                                                                                                                                                 |
| Ligação                              | Conexão entre dois itens, representada por linhas em um mapa, que indica a relação ou associação entre eles.                                                                                                                                                                                                        |
| Força de ligação                     | Grau de conexão entre dois itens, indicado pela espessura ou intensidade das linhas que os conectam em um mapa. Quanto mais forte a ligação, mais espessa será a linha, representando uma relação mais significativa entre os itens.                                                                                |
| Força total de ligação               | Posiciona como mais próximos palavras-chave que ocorrem juntas nos artigos ou posiciona como mais próximo os artigos que têm maior similaridade de referências citadas em comum                                                                                                                                     |
| Agrupamento de rede                  | Agrupamento de itens semelhantes ou relacionados, que são representados como conjuntos distintos em um mapa.                                                                                                                                                                                                        |
| Análise de co-ocorrência             | Identifica e visualiza a frequência com que os pares de palavras ocorrem juntas nas publicações. O método permite a identificação de padrões de associação entre as palavras-chave e a criação de mapas de rede que destacam a proximidade entre os termos mais frequentemente co-ocorrentes.                       |
| Análise de acoplamento bibliográfico | Técnica que investiga a relação entre publicações com base nas referências bibliográficas citadas em comum. As publicações são agrupadas de acordo com a similaridade de suas listas de referências, e a força das ligações entre eles é determinada pelo número de trabalhos que compartilham em suas referências. |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Overlay Visualization</i> | Representação gráfica que permite identificar a interseção e o padrão temporal de conjuntos de elementos, como palavras-chave ou referências bibliográficas, em um mapa de rede com base em seu ano médio de publicação. Fornece <i>insights</i> sobre a evolução temporal e a interseção de temas de pesquisa. |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabela 1.** Terminologia utilizada para as análises bibliométricas aplicadas.

Para a análise de acoplamento bibliográfico, os itens aqui são definidos como publicações, uma vez que as características da paisagem e sua influência na diversidade da comunidade de abelhas são atributos intrínsecos aos estudos (CORREIA et al., 2023; NETTLE; FRANKENHUIS, 2019). Esta análise sobrepõe as listas referências de pares de publicações (KESSLER, 1963; VAN ECK; WALTMAN, 2023). Para esta análise, os círculos do mapa bibliométrico de cada referência citada representam o número de citações do item. Assim, publicações com círculos maiores, podem indicar maior influência na extensão da estrutura intelectual. Para esta análise, utilizamos a normalização por contagem fracionada, uma vez que o número de autores de um estudo pode enviesar a citação em uma análise bibliométrica (PERIANES-RODRIGUEZ; WALTMAN; VAN ECK, 2016 ). Estabelecemos também o *threshold* de 20, ou seja, foram exibidos nos mapas bibliométricos apenas as publicações que foram citadas no mínimo 20 vezes, das quais 146 referências entraram neste critério. Este critério foi estabelecido por ter uma boa abrangência relativa da influência intelectual, considerando englobar também trabalhos recém-publicados, que tendem a ter menor número médio de citações (Número médio de citações por documento = 55.88; número médio de citações/ano/documento = 4.8 e Desvio padrão de citações/ano/documento = 6.0). Definimos a resolução de 1.0 pixels para os mapas.

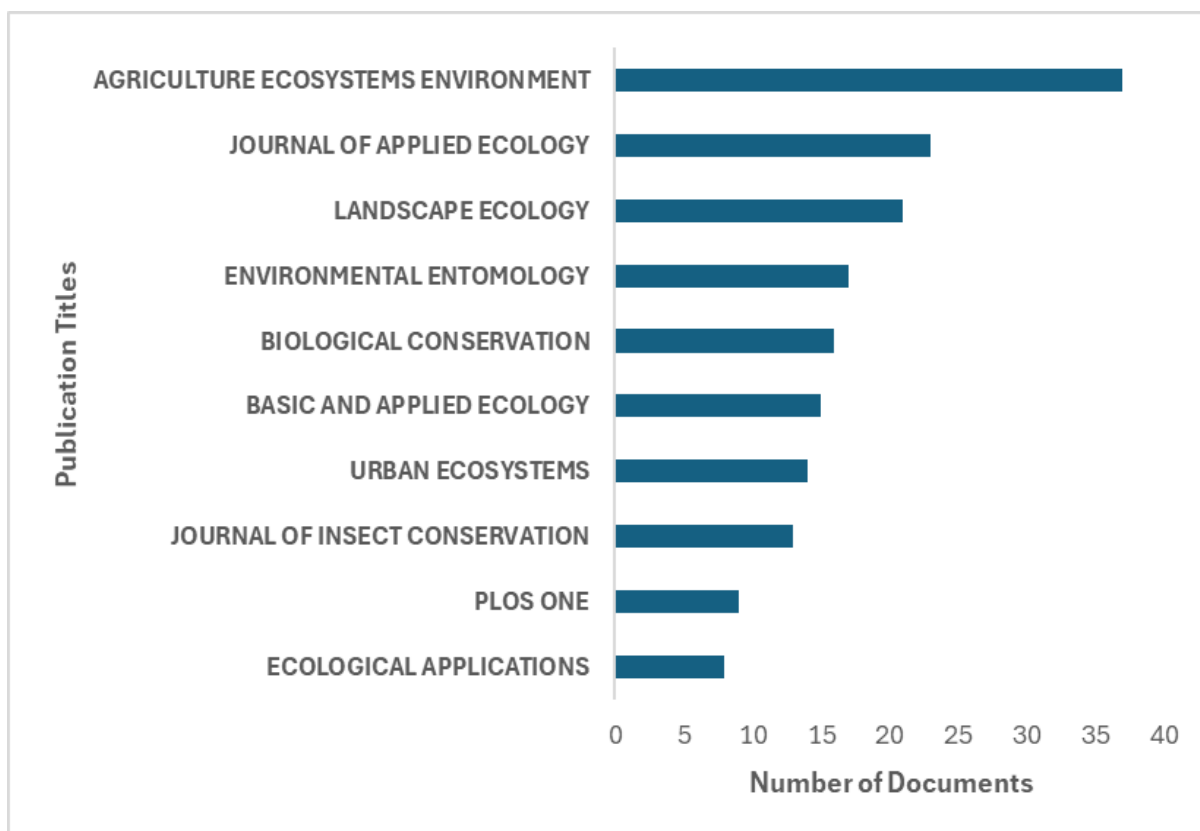
Quanto à análise de co-ocorrência de palavras-chave para visualizar as tendências entre os termos relacionados ao campo de pesquisa da Ecologia de paisagem na diversidade de abelhas. Essa análise agrupa as palavras-chave de acordo com a frequência com que duas palavras-chave aparecem juntas em uma publicação (VAN ECK; WALTMAN, 2023). O *VosViewer Software* utiliza uma abordagem baseada em distância de todos os possíveis pares de força de co-ocorrência das palavras-chave que podem ser usados e a partir dela e utiliza a força de ligação total entre os termos, gerando um mapa de redes que posiciona mais próximos os artigos que têm maior similaridade de palavras-chave citadas (VAN ECK; WALTMAN, 2023). Com isso, podemos perceber como os diferentes termos (itens) se cruzaram temporalmente ao longo do desenvolvimento da ecologia da paisagem referente à comunidade de abelhas. Selecionamos “todas as palavras-chave” e utilizamos o método “contagem total”, que considera o número

total de ocorrências de cada palavra-chave em todo conjunto de dados, como importante, proporcionando *insights* sobre os temas mais relevantes e investigados na área de estudo. Ademais, criamos um arquivo de dicionário de sinônimos com critérios de exclusão para especificar palavras que estavam relacionadas a sistemas, métricas de paisagem, aspectos da diversidade e escala (Material suplementar S9). Para melhor visualização gráfica, definimos a resolução de 1.0 pixels para a figura do mapa, um tamanho mínimo de 14 itens (palavras-chave) por agrupamento a ser formado e um número mínimo de ocorrência de uma palavra-chave em todo o banco de dados com um limiar de 2, onde 76 palavras-chave observaram esse critério.

Para ambas as análises utilizamos também a visualização sobreposta que é um artifício gráfico que nos permite identificar a intersecção e o padrão temporal das referências bibliográficas ou das palavras-chave nos respectivos mapas de rede com base em seu ano médio de publicação, ponderada pela média do ano do agrupamento a que pertence. A associação entre os itens de ambas as análises bibliométricas foi calculada pelo algoritmo de força de associação. Com base na frequência com que esses itens co-ocorrem nos dados de entrada, estabelecemos que quanto maior a frequência de co-ocorrência de dois itens, maior será a força de associação entre eles, utilizando uma força de ligação normalizada (VAN ECK et al., 2010; WALTMAN; VAN ECK; NOYONS, 2010).

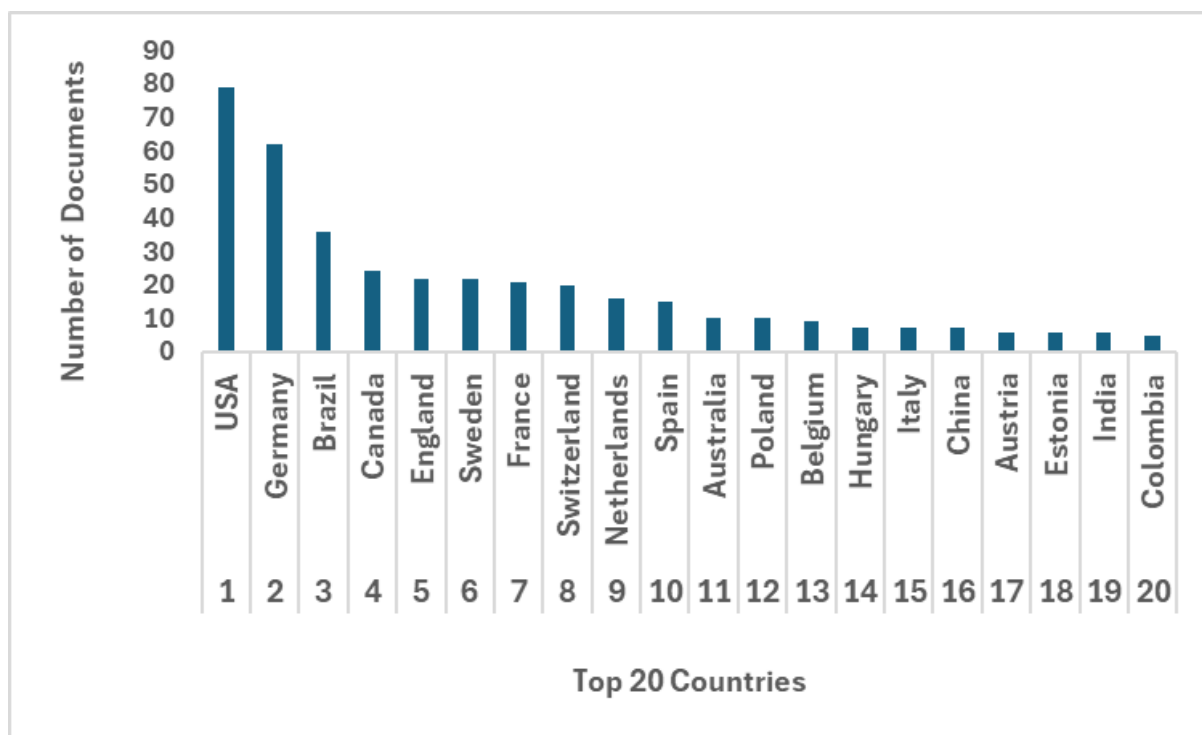
## RESULTADOS

Os documentos (n=290) que avaliaram efeitos das alterações de paisagens em diversidade de abelhas foram publicados em 69 revistas científicas, principalmente da área da Ecologia e Agricultura e 31 revistas apresentaram apenas uma publicação (Figura 2; Material Suplementar S2).



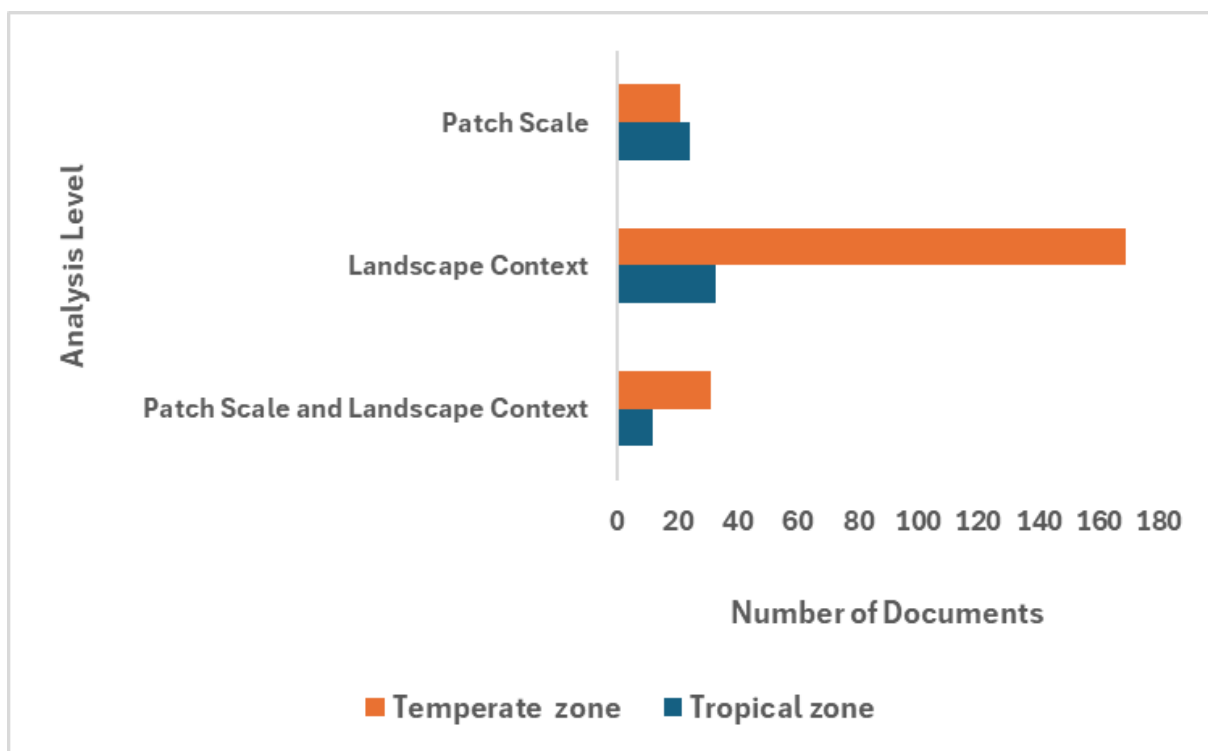
**Figura 2.** Número de Documentos publicados nas 10 principais Revistas referentes aos estudos da diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas Paisagens.

Esses estudos foram conduzidos por instituições de 49 países, com destaque para os Estados Unidos da América e Alemanha, 79 e 62 publicações, respectivamente. Na Região tropical, o Brasil e Colômbia se destacaram (36 e 5 publicações, respectivamente) (Figura 3; Material Suplementar S3).



**Figura 3.** Número de Documentos publicados referentes aos estudos da diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas Paisagens nas 20 instituições de Países mais influentes

Dos 290, 221 artigos (76%) apresentaram área de estudo na Região Temperada enquanto menos de  $\frac{1}{4}$  dos estudos foi realizado na região tropical (69 estudos) (Figura 4; Material Suplementar S4). Considerando a abordagem de escala de mancha e/ou contexto da paisagem na avaliação dos efeitos de alterações antrópicas na diversidade de abelhas, por região climática, em estudos da Região Temperada, 9% (21) dos estudos abordaram a escala local, 77% (169) apenas contexto paisagem e, 14% (31) escala local e contexto paisagem. Enquanto para a Região Tropical, 35 % (24) dos documentos abordaram a escala local, 48% (33) apenas o contexto da paisagem e 17% (12) a escala local e contexto paisagem (Ver Figura 4 e Material suplementar S4).



**Figura 4.** Porcentagem dos documentos publicados em função da escala em que se avaliou o efeito de alterações da paisagem na diversidade de abelhas, por Região Climática da área de estudo das pesquisas.

### *Estrutura da influência intelectual*

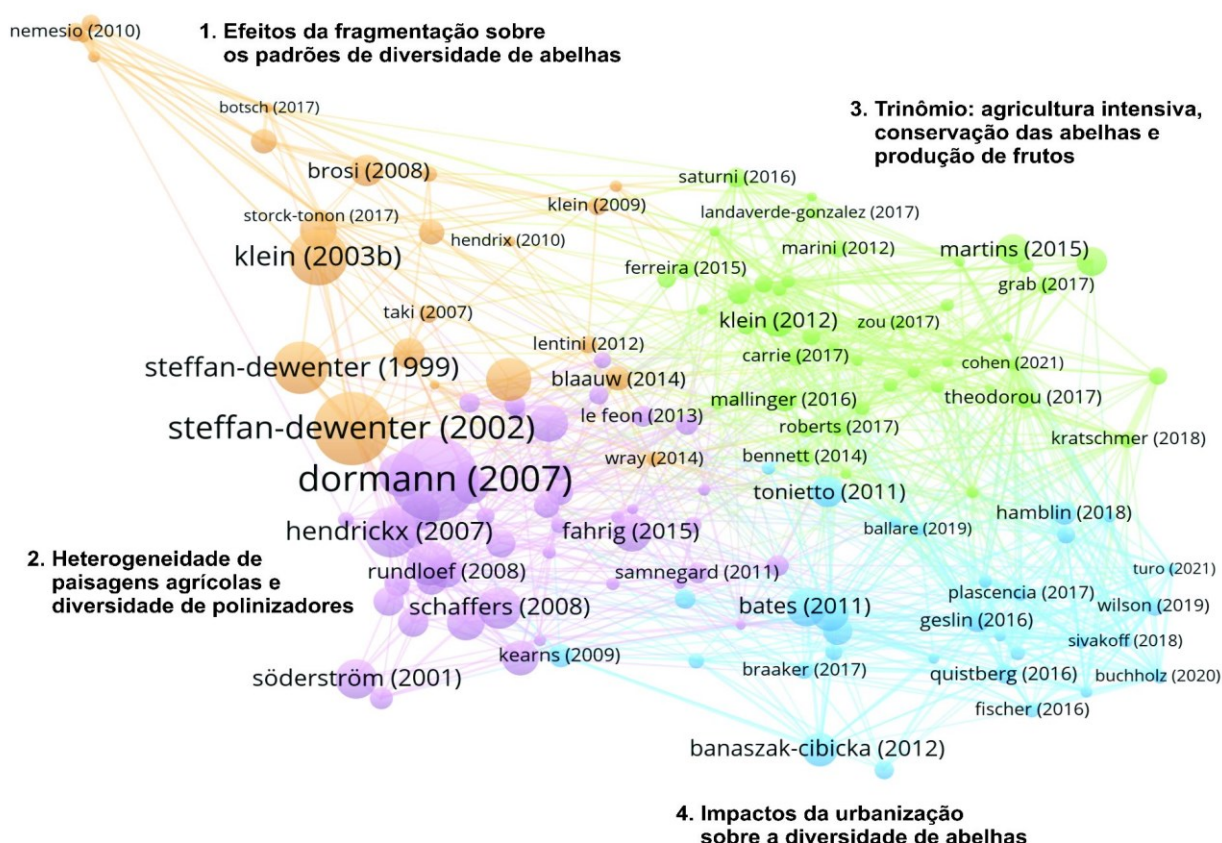
A análise de acoplamento bibliográfico, aplicada aos 146 artigos (Material Suplementar S5-S6), citados pelo menos 20 vezes cada, revelou um cenário de influência intelectual composto por quatro linhas de pesquisa diferentes, abordando o efeito das mudanças na paisagem sobre as comunidades de abelhas, de 1999 a 2022 (Figura 5a e 5b). Nomeamos cada *Cluster* de acordo com as abordagens teóricas e metodológicas, compartilhadas entre os artigos acoplados no mesmo agrupamento.

O trabalho mais citado, considerando todo conjunto de dados, foi o de Dormann et al., (2007), com 1.128 citações, seguido por Steffan-Dewenter et al. (2002), com 871 citações e o terceiro Klein; Steffan-Dewenter; Tschardtke, (2003b), com 507 citações. Os trabalhos com maior força de ligação entre os pares analisados avaliaram efeitos das alterações antrópicas na paisagem sobre diversidade de abelhas em áreas urbanizadas, agrícolas e de vegetação semi-natural (GESLIN et al., 2016; força total de ligação de 92.98) e (COHEN et al., 2021; força total de ligação 91) (Figura 5a; Material Suplementar S5).

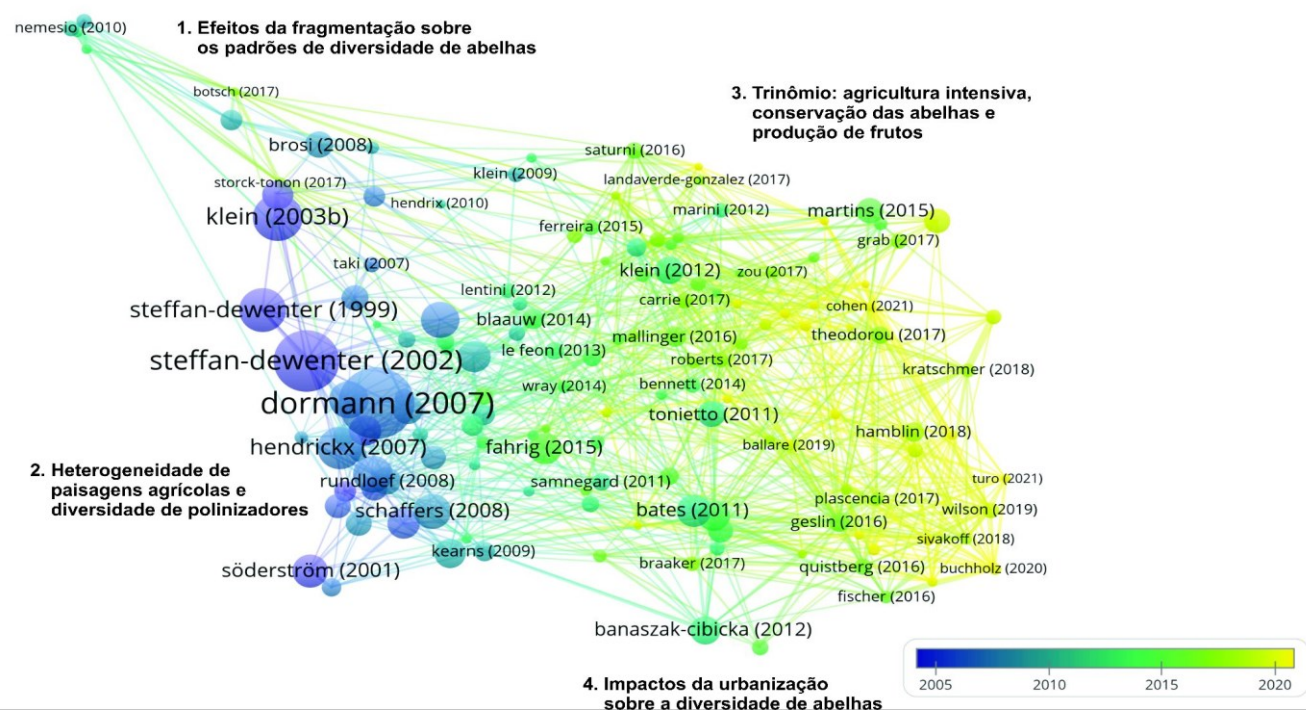
A análise de desmembramento temporal (Figura 5b) mostrou que os trabalhos testando os efeitos da fragmentação e da perda de habitat sobre as comunidades de polinizadores tiveram origem na zona temperada, com os estudos de Steffan-Dewenter et al. (2002); Steffan-Dewenter; Tschardtke (1999), testando relações entre habitats naturais e agrícolas, irradiando para a

indonésia com cultivos de café em sistema agroflorestais (KLEIN; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2003a, 2003b) para o Canadá (TAKI; KEVAN; ASCHER, 2007) e para os Estados Unidos (WINFREE; GRISWOLD; KREMEN, 2007). De 2007 a 2010 influenciaram os trabalhos na zona tropical (ANTONINI et al., 2013; BROSI et al., 2008; BROSI; DAILY; EHRLICH, 2007; NEMÉSIO; SILVEIRA, 2010; RAMALHO; GAGLIANONE; LUIZ DE OLIVEIRA, 2007).

Em paisagens tropicais, os estudos avaliaram áreas de pasto (BROSI et al., 2008), manchas florestais de vegetação natural e seminatural em abelhas, Meliponini e Euglossini e fragmentos florestais em área urbanizada (ANTONINI et al., 2013) (Figura 5b). Enquanto que nos Estados Unidos buscou-se avaliar o efeito das métricas de paisagem na diversidade de abelhas em áreas naturais, agrícolas e urbanas (WINFREE; GRISWOLD; KREMEN, 2007).



**Figura 5a.** Cenário do desenvolvimento da estrutura da influência intelectual dos estudos de ecologia da paisagem na diversidade de abelhas (limite mínimo 20 citações, 1999 a 2022, n=146) ao longo do tempo. Agrupamento de documentos em função da maior similaridade de referências citadas em comum por cores. Círculos maiores representam maior frequência de referências citadas na base de dados *Web of Science* e linhas representam conexão entre os pares que citam referências em comum.



**Figura 5b.** Cenário do desenvolvimento da estrutura da influência intelectual dos estudos de ecologia da paisagem na diversidade de abelhas (limite mínimo 20 citações, 1999 a 2022,  $n=146$ ) ao longo do tempo. Agrupamentos de referências citadas em comum aos pares separados entre si por cores em função do desenvolvimento temporal dos assuntos (1999 a 2022), pesados por força de ligação total.

O *Cluster 1, Efeitos da Fragmentação sobre os padrões de diversidade de abelhas*, agrupou 24 estudos (Figura 5a; Material Suplementar S6-S7). A principal hipótese norteando essas pesquisas é que a fragmentação de habitat afeta negativamente os padrões de diversidade de abelhas e as interações polinizador-flor. Os primeiros artigos publicados abordando os efeitos da fragmentação sobre os padrões de diversidade de abelhas foram os de Steffan-Dewenter; Tscharntke (1999) e Steffan-Dewenter et al. (2002). O primeiro estudo considerado, avaliou o efeito do isolamento e da estrutura da paisagem sobre as interações entre plantas e abelhas incluindo populações de espécies vegetais cultivadas em áreas de vegetação seminatural como ilhas de habitat, separadas por áreas intensamente manejadas para agricultura (STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999). Como medida de isolamento foi utilizada a distância entre as manchas de habitat seminaturais e as áreas amostrais, dentro da matriz. Os pressupostos conceituais e metodológicos aplicados neste estudo são fundamentados na teoria de biogeografia de ilhas, considerando, portanto, que os fragmentos florestais, cercados por uma matriz antrópica, são similares às ilhas oceânicas (MARCARTHUR; WILSON, 1967). Por outro lado, a publicação de Steffan-Dewenter et al. (2002) trouxe abordagens alinhadas com os paradigmas conceituais e metodológicos do campo da ecologia da paisagem para avaliar a estrutura das comunidades de abelhas em paisagens fragmentadas. Os autores mensuraram a quantidade de

habitat total da paisagem para testar variações na riqueza e na abundância de espécies. Além disso, analisaram a relação entre as variáveis da paisagem e as variáveis de diversidade das abelhas em múltiplas escalas. Em adição aos aspectos clássicos de diversidade, riqueza, abundância e composição, este trabalho considera o grau de sociabilidade como uma variável funcional das abelhas, pressupondo que espécies com diferentes graus de socialidade, que variam de solitária a eussocial, apresentem respostas diferentes às métricas da paisagem (STEFFAN-DEWENTER, 2002).

Steffan-Dewenter et al. (2002) representam o artigo mais citado no *Cluster 1* e segundo artigo mais citado em todo conjunto de dados (871 citações). Assim, trabalhos posteriores seguiram a mesma abordagem desses autores, com pequenas modificações. A principal variável preditora testada foi a proporção de habitats florestais no entorno dos pontos amostrais, os quais são áreas de forrageamento em matrizes de pastagem ou cultivo, com escalas variando de 200 a 2000m (BROSI, 2009a, 2009b; BROSI et al., 2008; BROSI; DAILY; EHRLICH, 2007). O trabalho de Taki; Kevan; Ascher (2007) sob influência de Steffan-Dewenter et al. (2002), seguiu analisando as respostas da diversidade de abelhas em função da proporção da floresta e comprimento de borda de floresta, utilizando-se apenas a ótica do contexto da paisagem em escalas de 250 a 1500 m e começando a utilizar o termo *habitat loss*. Na sequência, em 2007, nos EUA, houve inicialmente a exploração das respostas do comportamento de nidificação e tamanho de corpo de abelhas, também nessa linha de pesquisa (WINFREE; GRISWOLD; KREMEN, 2007) (Figura 5b).

Nesse agrupamento, em 2014, o estudo de Wray; Neame; Elle (2014) ocupa uma posição espacial bem centralizada aos demais *Clusters 2, 3 e 4* (Figura 5a), com uma das maiores forças de ligação dessa pesquisa (força de ligação 66; ver Material Suplementar S5). Isso ocorre porque esse estudo avaliou diversos aspectos da diversidade de abelhas (abundância, composição, diversidade de Simpson, estratégia reprodutiva, especialização e tamanho de corpo) em função da proporção de floresta que focavam no contraste entre paisagens florestadas e áreas urbanas, e assim investigava efeitos da urbanização em comunidades de abelhas de áreas fragmentadas. Nesse sentido, esse modelo metodológico além de poder ser aplicado em áreas urbanas, poderia também ser aplicado para áreas agrícolas, estudo que irradiou estes conhecimentos ao *Cluster 2* (Heterogeneidade de paisagens na diversidade em vários grupos de polinizadores) e ao *Cluster 3* (trinômio da agricultura intensiva, conservação das abelhas e produção de frutos) e *Cluster 4* (Fragmentação na diversidade de abelhas em áreas agrícolas).

O *Cluster 2, Heterogeneidade de paisagens agrícolas e diversidade de polinizadores* apresenta 46 artigos, publicados entre 2003 e 2019 (Figura 5a e 5b; Material Suplementar S6-

S7). A principal hipótese que norteia essas pesquisas é que diferentes táxons respondem de forma diferente à modificação da estrutura e composição da paisagem. Esse agrupamento concentra trabalhos que buscam trazer respostas da diversidade de vários táxons de artrópodes, incluindo as abelhas à perda de habitat e fragmentação florestal, com objetivo de entender os efeitos negativos da fragmentação sobre a diversidade de abelhas e de outros polinizadores e consequências sobre os serviços de polinização.

Nesse agrupamento encontra-se o trabalho de DORMANN et al. (2007), que é o trabalho mais citado de toda a estrutura de influência intelectual dessa pesquisa (1128 citações). Esse trabalho avaliou em um transecto, da Estônia à França, os efeitos de proporção de habitats seminaturais e de proximidade entre habitats, como *proxy* para representar a fragmentação de habitats, na similaridade de comunidades de abelhas e outros 6 táxons. O segundo trabalho mais citado avaliou efeitos aditivos da diversidade de abelhas e de outros artrópodes em função de um gradiente da heterogeneidade da paisagem (número de tipos de habitat na paisagem) e índice médio de proximidade de *patches* de área seminatural na paisagem agrícola (HENDRICKX et al., 2007; 422 citações). Ademais, outros estudos desse grupo analisaram efeitos da heterogeneidade de composição espacial e temporal na diversidade de abelhas (JÖNSSON et al., 2015; LE FÉON et al., 2013a; TSCHEULIN et al., 2011). Da influência intelectual mais recente neste *Cluster* (2013 a 2019), o trabalho mais citado avaliou a influência da heterogeneidade da composição e da configuração da paisagem, como diversidade de cultivo agrícola e média de tamanho de campos agrícolas na abundância e diversidade alfa, beta e gama de vários táxons de insetos (FAHRIG et al., 2015; 243 citações).

Os pressupostos conceituais e metodológicos aplicados nestes estudos são fundamentados na hipótese da permeabilidade da matriz; que considera que maior proximidade entre manchas de habitat nas paisagens aumenta a ocorrência de espécies (PREVEDELLO; VIEIRA, 2010) e na hipótese da heterogeneidade de habitats; que pressupõe que a diversidade de elementos da paisagem e diversidade de rearranjos das manchas de habitat podem fornecer recursos complementares aos habitats focais das espécies, diminuindo a competição e aumentando a diversidade de polinizadores (FAHRIG et al., 2015; MOREIRA et al., 2017).

O *Cluster 3 - Trinômio agricultura intensiva, conservação das abelhas e produção de frutos* - possui 45 documentos publicados entre 2011 e 2022 (Figura 5a e 5b; Ver Material suplementar S6-S7). A hipótese norteadora desses estudos é que a maior proporção de habitats naturais aumenta a qualidade e quantidade de frutos. Os estudos são conduzidos em paisagens de agricultura intensiva, sendo a maioria em áreas de cultivo da macieira, na zona temperada,

com objetivo entender os efeitos negativos da agricultura intensiva (fragmentação) sobre as comunidades de abelhas e a consequência sobre a produção de frutos.

O trabalho mais citado demonstrou forte importância de altas proporções de habitat natural ao redor de área agrícola para o aumento da diversidade de abelhas e, consequente aumento da produção de frutos, demonstrando a importância de abelhas nativas para a produção agrícola (KLEIN et al., 2012; 190 citações) (Material Suplementar S5). O segundo trabalho mais citado aqui considerado abordou pela primeira vez a diversidade funcional e a complementaridade funcional de abelhas em função da proporção de florestas ao redor de cultivos de macieira (MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015; 161 citações). Enquanto, o terceiro trabalho mais citado se destacou por seu marco inicial na abordagem da diversidade filogenética em função da proporção de área agrícola na paisagem ao longo do tempo, estimando que a comunidade de abelhas perde 35 milhões de anos de história evolutiva para cada aumento de 10 por cento de área agrícola (GRAB et al., 2019; 159 citações).

As métricas da paisagem utilizadas nesse grupo foram bastante variadas dentro da composição e configuração da paisagem. Na composição da paisagem, houve muitos trabalhos avaliando proporção de habitat natural, com destaque ao uso inicial da métrica de proporção de diferentes usos de terra nesse grupo (BASU et al., 2016; BEYER et al., 2020; CARRIÉ et al., 2017; TSCHÉULIN et al., 2011; WATSON; WOLF; ASCHER, 2011) que posteriormente culminaram para as métricas de diversidade de paisagem, como a SDHI (FÖLDESI et al., 2016). Dentro da configuração da paisagem, esses estudos utilizaram variáveis preditoras mais detalhistas influenciados por Krauss; Steffan-Dewenter; Tscharntke (2003); McGarigal; Marks (1995), entre elas estão a *mean patch size*, densidade de borda (NICHOLSON et al., 2017), índice de proximidade entre *patches* (SATURNI; JAFFÉ; METZGER, 2016), índices de conectividade, *mean proximity index*, número de *patches* na paisagem, *mean patch area* (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2015).

Os trabalhos de maior força de ligação desse grupo foram o de Cohen et al. (2021) com 91, Kratschmer et al. (2018) Roberts; King; Milam (2017) com 82 e com 73 citações, respectivamente. (Material Suplementar S5). O trabalho de Cohen et al. (2021) abordou métricas da paisagem que relacionam ambientes urbanos, agrícolas e de área natural à diversidade de abelhas. Esses três trabalhos se conectam com todos os *Clusters* do acoplamento bibliográfico, sendo o trabalho de Roberts; King; Milam (2017), o que ocupa uma posição espacial mais central no mapeamento (Figura 5a).

O *Cluster 4 - Impactos da urbanização sobre a diversidade abelhas* - possui 31 documentos, com cobertura temporal de 2011 a 2021 (Figura 5a e 5b; Material Suplementar S6-S7).

O objetivo desses estudos é entender os efeitos negativos da perda de habitat, devido à urbanização, sobre a diversidade de abelhas, com foco na conservação.

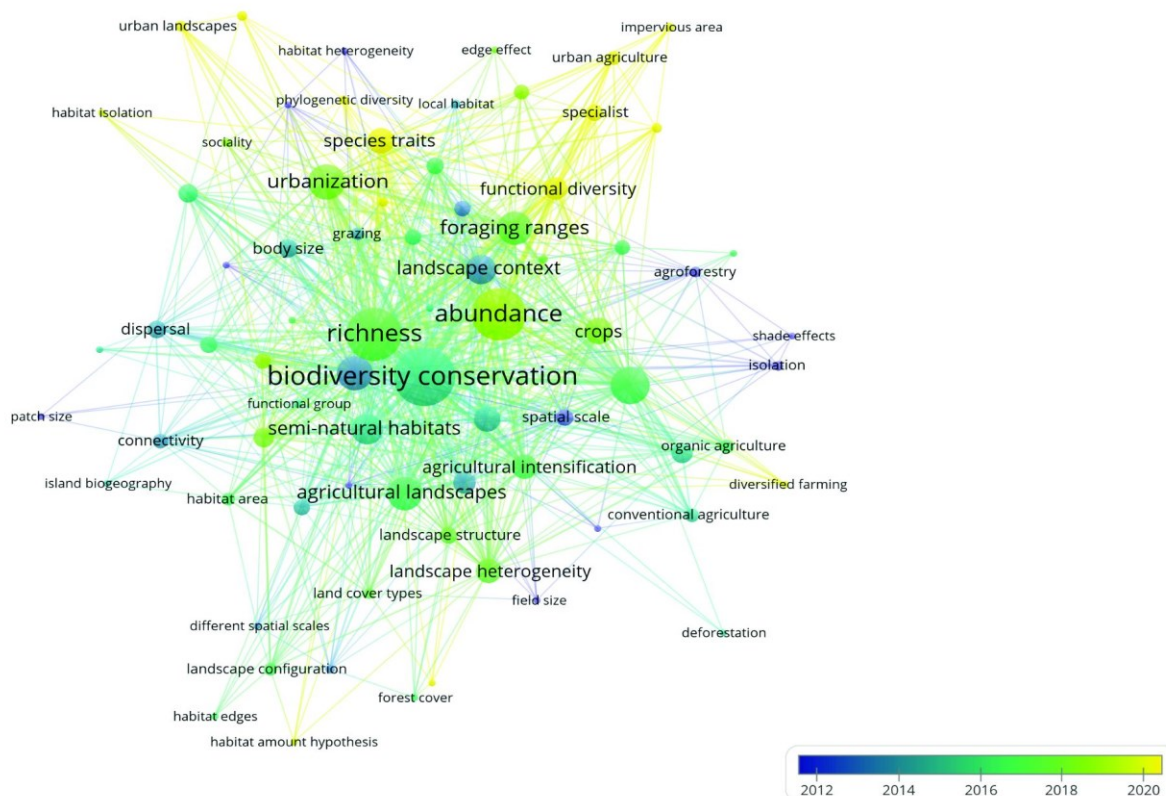
Os trabalhos que tiveram maior força de ligação entre os pares foram Geslin et al. (2016) com 93 e Fortel et al. (2014) com 81 (Ver material suplementar S5). O primeiro estudo avaliou efeitos de proporção de área construída na paisagem na riqueza e abundância de grupos funcionais de abelhas, mostrando menor tolerância das abelhas que constroem ninhos abaixo do solo ao aumento dos gradientes de urbanização (GESLIN et al., 2016; 102 citações). Enquanto o segundo verificou um aumento na riqueza de abelhas com o incremento de área construída ao redor do ponto focal, até um limite de 50% de área construída, ao avaliar relações de ganhos e perdas entre perda de habitat e aumento da disponibilidade de recursos florais em áreas construídas (FORTEL et al., 2014; 223 citações) (Ver Material suplementar S5). Inicialmente os primeiros trabalhos avaliaram as métricas da paisagem de proporção de área construída e proporção de áreas seminaturais ao redor de pontos de urbanização na diversidade de abelhas. Do ano de 2014 em diante alguns trabalhos passaram a utilizar porcentagem de tipos de cobertura de uso da terra (PARDEE; PHILPOTT, 2014; QUISTBERG; BICHER; PHILPOTT, 2016) e em 2018 iniciou-se o emprego de modelos estatísticos que identificavam melhores escalas de escalas de efeito de aspectos da diversidade de abelhas em função da proporção de área construída nos arredores de pontos urbanos (HAMBLIN; YOUNGSTEADT; FRANK, 2018) (Figura 5a e 5b). Um estudo recente nesse grupo de grande importância avaliou que a diversidade de abelhas é direcionada pela interação entre a qualidade de habitat local e composição dos habitats em nível de contexto da paisagem (BALLARE et al., 2019; força total de 71.98 e 33 citações) Dessa forma, verificou que o aumento da heterogeneidade da paisagem incrementava a abundância de abelhas que fazem ninho acima do solo quando a área local da amostra era de campo (*grassland*) e o efeito oposto era observado quando a área local da amostra era no campo agrícola.

Esses estudos em áreas urbanas têm focado em avaliar métricas da composição da paisagem, com poucas análises de configuração, por meio das métricas *mean proximity index* e *mean patch area*. Além disso, há uma intensa investigação da riqueza, abundância e abundância de abelhas por grupo funcional em função das alterações da paisagem. As principais características funcionais estudadas por esse grupo são o tamanho de corpo, comportamento de nidificação e sociabilidade. A avaliação de diversidade funcional em função de métricas da paisagem foi realizada pela primeira vez para paisagens urbanas em 2017 (BRAAKER et al., 2017) prosseguindo com um estudo de dispersão funcional de comunidade de abelhas frente às alterações antrópicas na paisagem (BUCHHOLZ et al., 2020). Recentemente, um trabalho avaliou efeitos

da fragmentação urbana na diversidade filogenética de abelhas em função de proporção de área construída, de áreas seminaturais e heterogeneidade da paisagem (THEODOROU et al., 2020). Este estudo foi influenciado pelo trabalho que abordou diversidade filogenética de abelhas em paisagens agrícolas do *Cluster 3* (GRAB et al., 2019) (Ver material suplementar S6).

### ***Tendências e Lacunas de pesquisa***

A análise de co-ocorrência de palavras-chave dos estudos sobre padrões de diversidade de abelhas em função de aspectos estruturais e funcionais de paisagens sob antropização, aplicada a 76 palavras-chave, com o mínimo 2 ocorrências da palavra-chave em todo conjunto de dados, posicionou os assuntos mais importantes (de maior co-ocorrência) e mais desenvolvidos na região centralizada do mapa e os assuntos menos desenvolvidos e de menor ocorrência nas regiões periféricas (Figura 6; Material suplementar S8). Dentre os assuntos de maior importância e de maior desenvolvimento e compartilhamento na área desta revisão estão *biodiversity conservation* (120 ocorrências; 385 de *Total link strength*), *habitat fragmentation* (43 ocorrências; 145 de *Total link strength*) e *semi-natural habitats* (34 ocorrências e 113 *Total link strength*). Dentre a avaliação de efeitos de alteração das paisagens nos padrões de diversidade de abelhas cabe destacar o maior desenvolvimento da métrica da paisagem *landscape composition* (14 ocorrências e 56 de *Total link strength*), sob o nível de análise *landscape context* (32 ocorrências e 109 de *Total link strength*) nos aspectos da diversidade *richness* (98 ocorrências; *Total link* de 359) e *abundance* (95 ocorrências; 283 de *Total link strength*), em paisagens de matrizes urbanas e agrícolas.



**Figura 6.** Cenário da evolução conceitual dos assuntos quanto à origem e relações entre os temas (Período de 1999 a outubro 2023) no que tange aos estudos dos padrões de diversidade de abelhas em função de alterações antrópicas nas paisagens. Agrupamentos de palavras-chave por frequência de similaridade de assuntos de pesquisa pesados por força de ligação total. Círculos maiores representam maior ocorrência de palavras-chave e espessura de linhas representam grau de conexão entre os pares de palavra-chave).

Considerando a evolução do campo de pesquisa dentro os diferentes períodos de tempo (Figura 6; material suplementar S8), inicialmente (1999-2007), podemos verificar que os *patch size*, *field size*, *habitat heterogeneity*, *isolation*, *shape effects*, *species-area relationships*, *island biogeography* e o aspecto da diversidade *alpha diversity* e *species diversity* tem baixas ocorrências e ocupam região periférica no mapa, indicando que esses temas foram pouco desenvolvidos para a área de pesquisa e tendem a desaparecer. Enquanto outros assuntos: *body size*, *dispersal* e *nesting behaviors*, foram inicialmente utilizados para avaliar respostas de atributos funcionais de abelhas e encontram-se posicionados próximos à região central do mapa, indicando que são termos que vem sendo utilizados e desenvolvidos nas linhas de pesquisa.

Por volta do ano de 2013, os estudos passaram a avaliar efeitos da fragmentação de habitat com foco na conservação da biodiversidade de abelhas (*Biodiversity conservation*) e a utilizar uma variável preditora da paisagem de composição, a proporção de *semi-natural habitats* e os aspectos da diversidade *richness* e *foraging range*. Posteriormente, os trabalhos abordaram *richness* em conjunto com *abundance* nas paisagens de matrizes agrícolas (Figura 6).

Quanto às tendências de estudo para área dessa revisão, assumimos que são tendências os assuntos recentes com maior número de ocorrências e que ocupam posição menos periférica do que as lacunas, ou seja, com maior força de ligação. Entre as tendências, para as métricas da paisagem, destacamos *landscape composition* (14 ocorrências e 56 de força total de ligação), *landscape diversity* (4 e 22), *landscape complexity* (9 e 40). Dos aspectos da diversidade destacamos *functional diversity* (19 e 71) e *life history traits* (11 e 47). Dos sistemas, as tendências dos estudos ocorrem principalmente para *agricultural intensification* (23 e 99), seguidos de *urbanização* (46, 140) e *agricultural landscapes* (64 e 197).

Nesse estudo assumimos que quando as Variáveis preditoras da paisagem e aspectos da diversidade mais recentes (2015-2022) possuem poucas ocorrências, e ainda ocupam região extrema periférica do mapa, isso indica que esses assuntos estão sendo pouco estudados e, portanto, são grandes lacunas científicas detectadas nessa revisão. Dentre os assuntos considerados como “lacuna”, as métricas da paisagem com maior carência de estudos são as relacionadas a medição da diversidade de campo agrícola *crop diversity* (4 ocorrências e 20 de força de ligação total) e *diversified farming* (2 ocorrências e 8 de força de ligação total), seguidas da *landscape configuration* (3, 17), *land cover types* (5, 21) e *landscape heterogeneity* (11, 39). Já quanto aos aspectos da diversidade de abelhas destacamos o *phylogenetic diversity* (3,16), seguido do atributo funcional de especialização alimentar *specialist* (11, 32). Por último, quanto às classes de uso da terra destacamos o sistema agrícola-urbano *urban agriculture* (7, 27) e *organic agriculture* (7 ocorrências e 28 de força total de ligação) (Figura 6).

Portanto, há um grande *lack* de estudos que avaliem efeitos da heterogeneidade da paisagem, especialmente vinculados a diversidade de cultivos, na diversidade de abelhas; trabalhos que analisem efeitos da configuração da paisagem, sobretudo da heterogeneidade da configuração das paisagens na diversidade de abelhas; pesquisas que investiguem efeitos das alterações das paisagens na diversidade filogenética de abelhas e na abundância de abelhas especialistas e especialistas, principalmente em matrizes de agricultura orgânica e em sistemas mistos de área urbana e agrícola.

## DISCUSSÃO

Os resultados das análises bibliométricas mostram que o caráter multidisciplinar da Ecologia da Paisagem tem influenciado o desenvolvimento de diferentes linhas de pesquisa dentro do campo de estudo da ecologia de abelhas. Os estudos sobre a perda de habitat e fragmentação da paisagem em relação à diversidade de polinizadores foram impulsionados por preocupações em relação à conservação da biodiversidade, especialmente devido ao rápido crescimento da

população humana e à consequente perda de habitats naturais (MCGARIGAL; MARKS, 1995; NUCCI, 2007; TURNER, 2005). Essa preocupação foi complementada por uma crescente inquietação econômica, evidenciada no 5º encontro mundial da Convenção da Diversidade Biológica em 2000, que destacou o impacto do declínio da polinização na produção agrícola (COP 5 CBD SEÇÃO II DECISÃO v/5). No entanto, até 2011, a maioria dos estudos sobre os efeitos da distribuição espacial dos elementos da paisagem nos polinizadores estava concentrada principalmente em periódicos de ecologia e conservação, com pouca atenção nas áreas das ciências agrárias, manejo de terras ou produção de tecnologia de alimentos (VIANA et al., 2012).

Os primeiros estudos, grande parte encontrados no *Cluster 1- Efeitos da Fragmentação sobre os padrões de diversidade de abelhas*- utilizaram abordagens conceituais e metodológicas sob a ótica da teoria da Biogeografia de Ilhas (MARCARTHUR; WILSON, 1967), na qual as manchas de habitat são consideradas análogas às ilhas oceânicas (AIZEN; FEINSINGER, 1994; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 1999). Nesse contexto, se interpretava que os padrões de diversidade das espécies de abelhas eram influenciados pela área e pela distância entre as manchas, sem considerar a heterogeneidade da paisagem, principalmente a qualidade da matriz. Embora bastante influente, a abordagem de Biogeografia de Ilhas não é uma abordagem suficientemente adequada para avaliar os efeitos da fragmentação e da perda de habitat sobre as comunidades de abelhas porque não considera o contexto da paisagem dentro da escala de efeito das espécies de abelhas (FAHRIG, 2013). Muitas espécies de abelhas são capazes de voar longas distâncias até suas fontes de recursos, não sendo restritas à área dos fragmentos florestais. Estudos com abelhas mostraram que algumas espécies de abelhas apresentavam baixa capacidade de sustentação de voo, deslocando-se por distâncias de aproximadamente 400 m, dispersando-se no máximo 2000 ou 3000 metros, enquanto outras espécies podiam voar distâncias de até 36 km diariamente (ARAÚJO et al., 2004; TONHASCA et al., 2003). Portanto, é esperado que as espécies respondam diferencialmente às modificações na paisagem, em escalas diferentes. Espécies com maior capacidade de voo podem se movimentar entre as manchas de habitat, mesmo em paisagens onde o habitat é bastante reduzido e fragmentado. Por outro lado, as espécies com baixa capacidade de voo, podem sofrer o efeito do isolamento em paisagens com níveis intermediários de perda de habitat, entre 60% e 40% de redução.

Para se avaliar adequadamente a resposta das comunidades de abelhas e suas interações ecológicas em paisagens fragmentadas, deve-se abordar escalas maiores que a área de uma única mancha e seu grau de isolamento (MIGUET et al., 2016). Nesse sentido, a ecologia da paisagem é uma abordagem mais adequada, porque permite avaliar como os diferentes elementos da paisagem, como fragmentos de habitat, corredores, matriz circundante e suas interações,

influenciam a distribuição, abundância e dinâmica das populações e comunidades de abelhas (HAILA, 2002; TURNER, 2010). O estudo de Steffan-Dewenter et al. (2002), em paisagens agrícolas no continente europeu, foi primeiro estudo empírico a incorporar o contexto da paisagem, em múltiplas escalas, avaliando pela primeira vez características funcionais, permitindo avaliar diferentes grupos de espécies em relação a sua sensibilidade às modificações da paisagem. Esse particionamento da diversidade de abelhas em grupos, de acordo com o grau de socialidade, foi um importante avanço no entendimento da resposta das espécies. Espécies solitárias e sociais apresentam respostas diferentes aos efeitos da perda e da fragmentação de habitat em diferentes escalas. Isso acontece em função da diferença na história de vida de cada espécie. As abelhas solitárias requerem habitats mais específicos para nidificar, além de forragear em escalas menores (CANE et al., 2006). Portanto, quando a riqueza de espécies de abelhas é modelada em função das variáveis estruturais e funcionais da paisagem, a resposta dessas espécies solitárias pode ser mascarada pela resposta das espécies sociais (EWERS; DIDHAM, 2006).

A abordagem utilizada por Steffan-Dewenter et al. (2002) também trouxe abordagens metodológicas adequadas para compreensão de processos e padrões ecológicos em múltiplas escalas espaciais, como replicação espacial das paisagens, uso de técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e métricas de paisagem. A perda e a fragmentação de habitats é um processo temporal, conforme a cobertura de vegetação original é suprimida, a quantidade de habitat vai sendo reduzido e fragmentado em manchas cada vez menores e isoladas (FISCHER; LINDENMAYER, 2007). Diante da dificuldade de coletar dados em um gradiente temporal de perda e fragmentação de habitat, que exigiria estudos de longa duração, é possível replicar espacialmente esses gradientes em uma extensão espacial, em escala regional, e de forma espacialmente independente (GILLESPIE et al., 2017). O uso das tecnologias geográficas, como mapas de vegetação e uso e cobertura do solo permitem quantificar os elementos estruturais da paisagem e classificar as classes de habitat favoráveis às espécies em paisagens heterogêneas (WU; HOBBS, 2002). Utilizando-se as métricas de paisagem é possível identificar padrões e processos que influenciam a dinâmica populacional, dispersão das espécies e as interações entre os diferentes tipos de habitat que compõem as paisagens (RAHIMI; BARGHJELVEH; DONG, 2021). A publicação do trabalho de Steffan-Dewenter et al. (2002) foi um marco que ajudou a consolidar a ecologia da paisagem como uma ferramenta valiosa na avaliação dos padrões de diversidade de abelhas em paisagens dominadas por áreas de agricultura, sendo influente através do tempo avaliado nesse estudo. Contudo, a aplicação da Teoria da Biogeografia de Ilhas,

apesar de todas as críticas, continua influenciando estudos envolvendo a Ecologia da Paisagem e a comunidade de abelhas em paisagens antropizadas.

Os estudos acoplados no *Cluster 2 - Heterogeneidade de paisagens agrícolas e diversidade de polinizadores* - trazem uma nova abordagem para análise de paisagem que é a heterogeneidade espacial da paisagem, nessa perspectiva é considerada a composição e configuração dos diferentes tipos de manchas de habitats naturais e antrópicos que compõem a paisagem (DRONOVA, 2017). A principal predição, nesse contexto, é que a estrutura da paisagem e a intensidade do uso da terra afetam os padrões de diversidade de abelhas, com efeito aditivo da diversidade e densidade de recursos florais (DORMANN et al., 2007; HOLZSCHUH et al., 2007; ÖCKINGER; SMITH, 2007). Assim, esses estudos consideram que diferentes tipos de habitat, naturais, seminaturais e intensamente manejados para agricultura, que complementem de algum modo os recursos para as abelhas aumentam a riqueza e a abundância de abelhas na paisagem. Essa perspectiva é oposta às abordagens dos estudos reunidos no *Cluster 1- Efeitos da Fragmentação sobre os padrões de diversidade de abelhas*- os quais analisam paisagem na perspectiva do paradigma habitat-matriz, na qual são consideradas habitat apenas manchas de vegetação natural e seminatural são isoladas por uma matriz inóspita às abelhas. Desse modo, a conservação das comunidades de abelhas depende da estrutura e da configuração das manchas de habitat e da capacidade de dispersão de cada espécie, colonizando e recolonizando as manchas, em uma dinâmica clássica de metacomunidades (PERILLO et al., 2021). Todavia, as abelhas percebem a paisagem pelo prisma da disponibilidade de recursos florais e locais de nidificação. Por conseguinte, paisagens heterogêneas podem disponibilizar diferentes habitats de forrageio e de nidificação, para diferentes espécies de abelhas, com diferentes requerimentos de habitat (CANE et al., 2006; KENNEDY et al., 2013). Por exemplo, abelhas solitárias podem ser especializadas em forragear em áreas de vegetação florestal e nidificar no solo em áreas abertas e manejadas para agricultura. Por outro lado, abelhas sociais, com ninhos populosos, precisam de cavidades preexistentes, presentes em manchas de habitat florestal, para nidificar. Em suma, para a análise dos impactos da intensificação do uso do solo para agricultura, é preciso avaliar a composição e a configuração dos tipos de elementos da matriz, bem como dos habitats de vegetação.

O *Cluster 3 - Trinômio agricultura intensiva, conservação das abelhas e produção de frutos* - agrega estudos que avaliam o impacto que o declínio dos polinizadores, em função das alterações estruturais e funcionais da paisagem, causam nos serviços de polinização. A hipótese norteadora é que guildas de polinizadores são diferencialmente afetadas pela estrutura da paisagem. O tema agregador, e que diferencia dos estudos presentes nos *Clusters* anteriores, é o

efeito que o declínio da riqueza e da abundância das espécies de abelhas sobre a produção dos frutos, principalmente em plantas cultivadas (BENNETT; LOVELL, 2019; KLEIN; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2003a, 2003b; MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015). Esses estudos, iniciando-se com a publicação de Klein et al. (2003b), foram influenciados pelo estudo de Steffan-Dewenter; Tscharntke (1999), que foi o primeiro aqui considerado a avaliar o impacto do declínio dos serviços de polinização em paisagens fragmentadas.

A tendência que permanece nestes estudos é a avaliação das abelhas de acordo com a sensibilidade das diferentes guildas de polinizadores às mudanças na estrutura e na configuração dos habitats das abelhas em paisagens agrícolas, em múltiplas escalas espaciais. Essa tendência, está em acordo com as discussões conceituais e metodológicas dentro do campo geral da ecologia de paisagens em relação aos efeitos da perda e da fragmentação de habitats sobre a biodiversidade, além dos efeitos do tipo de manejo das áreas agrícolas (FAHRIG et al., 2011, 2015; JACKSON; FAHRIG, 2015). Uma nova perspectiva para o campo de estudo analisado é a quantificação das características funcionais das abelhas por meio dos índices de diversidade funcional (MARTINS; GONZALEZ; LECHOWICZ, 2015). Esses índices, permitem categorizar as espécies de abelhas com base em suas características funcionais, como o comprimento da língua, tamanho do corpo, preferências de habitat e padrões de voo (BORGES et al., 2020). Índices de diversidade funcional, calculados com base nesses atributos, podem indicar como diferentes grupos funcionais de abelhas respondem a mudanças estruturais na paisagem (COUTINHO et al., 2021; FORREST et al., 2015). Outra abordagem emergente, dentro desse panorama, é a utilização de métricas que analisam a estrutura das redes de interação de polinizadores, em múltiplas escalas de resposta (THEODOROU et al., 2017). As redes de interação mutualista possuem características como assimetria e aninhamento que influenciam a estabilidade e a robustez das redes de interação (FERREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2013). O uso de métricas de rede para analisar essas interações, pode gerar padrões de resposta como flutuações populacionais e extinções, ocorridas em função de alterações na qualidade e na estrutura dos habitats na paisagem (CIANCIARUSO; BATALHA; PETCHEY, 2013; MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). A combinação das análises de diversidade funcional, das espécies polinizadores e espécies vegetais visitadas, e análise da estrutura de redes podem revelar características emergentes importantes para o manejo e a conservação de polinizadores em paisagens antropizadas (FONTAINE et al., 2006).

Os artigos reunidos no *Cluster 4 - Impactos da urbanização sobre a diversidade abelhas* - apresentam como objetivo avaliar os padrões de diversidade de abelhas em áreas urbanas.

Esse crescimento em acessar os efeitos da urbanização sobre as comunidades de abelhas vem da perspectiva que haverá um crescimento das cidades, em função do crescimento populacional. Projeções indicam que os ambientes urbanos aumentarão em 1,2 milhões de km<sup>2</sup>, em todo mundo, até 2030, causando uma considerável redução dos habitats naturais (SETO; GÜNERALP; HUTYRA, 2012). Por conseguinte, é preciso entender como o processo de urbanização e seus impactos nos ecossistemas afetam as comunidades de abelhas, para promover a conservação desses polinizadores nas cidades (AYERS; REHAN, 2021). A principal hipótese norteando esses estudos é a intensificação da urbanização afeta adversamente os padrões de riqueza abundância e composição comunidades de abelhas em função dos requerimentos por habitat das diferentes espécies, grupos funcionais e da disponibilidade de recursos florais e de nidificação na paisagem. Nesses estudos, a estrutura da paisagem é medida principalmente pela proporção de áreas seminaturais e de áreas pavimentadas, como estradas, parques e edificações, e a proporção de áreas não pavimentadas como jardins, parques vegetados e remanescentes florestais. A composição e a configuração desses elementos na paisagem influenciam a ocorrência e distribuição das abelhas em sistemas urbanos, porque refletem a disponibilidade de recursos. Paisagens intensamente urbanizadas e pavimentadas disponibilizam poucas áreas para espécies que nidificam no solo e precisam de recursos florais especializados (CANE et al., 2006). Contudo, espécies generalistas podem forragear em espécies exóticas utilizadas para ornamentar jardins e praças. Assim, dependendo da qualidade dos ambientes, áreas urbanas podem sustentar uma fauna de abelhas e manter os serviços de polinização em ecossistemas urbanos (DE PALMA et al., 2017). Além de se avaliar níveis de intensidade de urbanização na diversidade de abelhas (KEARNS; OLIVERAS, 2009), tem sido uma tendência emergente se verificar como a influência da conectividade entre manchas de área seminatural na matriz urbana (BANASZAK-CIBICKA; ŻMIHORSKI, 2012; BATES et al., 2011; BUCHHOLZ et al., 2020) e de gradientes de proporção de áreas urbanas em conjunto com agrícolas (BALLARE et al., 2019) na diversidade de abelhas.

Nessa revisão, apontamos uma importante lacuna na avaliação dos efeitos da antropização nos padrões de diversidade de polinizadores para a Região Tropical, visto que menos de 30% dos estudos foram realizados nesta região. Contudo, nessa região climática as espécies são mais suscetíveis à extinção devido à rápida velocidade da conversão de florestas em áreas agrícolas, uma vez que evoluíram em uma velocidade que acompanhou a baixa variação temporal na disponibilidade de alimento quando comparada à região temperada. Esses achados ressaltam a urgência de fornecer incentivos financeiros e investimentos em pesquisa para abordar lacunas de conhecimento e promover mais estudos na Região Tropical (FREITAS et al., 2009).

Ademais, nossa análise de co-ocorrência de palavras-chave apontou tendências e lacunas do conhecimento trazendo resultados que corroboraram com os encontrados na análise de influência do conhecimento intelectual. Verificamos que os assuntos *patch size*, *field size*, *habitat heterogeneity*, *isolation*, *shape effects*, *species-area relationships*, *island biogeography* foram pouco desenvolvidos para a área de pesquisa e tendem a desaparecer. Isso ocorre porque essas métricas de paisagem representavam o momento inicial (1999-2007), do desenvolvimento dos estudos relacionados a essa revisão, onde se utilizavam de métricas de paisagem sob a ótica da escala de manchas para investigar efeitos da antropização na diversidade de abelhas, como a avaliação de tamanho e distância entre manchas florestadas.

Em síntese, os estudos compilados destacam a evolução das abordagens metodológicas e conceituais no entendimento das interações entre as comunidades de abelhas e as modificações ocorridas nas paisagens em função das atividades antrópicas, principalmente agricultura e a urbanização. A transição da perspectiva da Biogeografia de Ilhas para a Ecologia da Paisagem, exemplificada pelo estudo de Steffan-Dewenter et al. (2002), o qual destaca a importância de considerar não apenas a área e a distância entre os fragmentos de habitat, mas também a qualidade e a configuração da paisagem (FAHRIG et al., 2015). Essa mudança de paradigma foi um passo importante na consolidação de estudos que utilizam a escala adequada para entender os padrões de resposta dos diferentes aspectos da diversidade de abelhas em paisagens fragmentadas, ou seja, a escala de efeito. Além disso, a análise das guildas de polinizadores e a avaliação dos serviços de polinização em paisagens fragmentadas e urbanas refletem uma crescente preocupação com a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, em contexto global (BYSTRIAKOVA et al., 2018a; ORR et al., 2021). No entanto, há uma lacuna de pesquisas em regiões tropicais, evidenciando a urgência de expandir o conhecimento sobre os efeitos da antropização em ecossistemas altamente diversos e vulneráveis. Assim como há deficiência de trabalhos que avaliem heterogeneidade da paisagem, incluindo diversidade de cultivos, e efeitos de configuração da paisagem na diversidade de abelhas, principalmente investigando a diversidade funcional e filogenética. A continuidade dos estudos sobre a ecologia de abelhas em diferentes contextos da paisagem são cruciais para subsidiar políticas e práticas de conservação efetivas em escala global.

## REFERÊNCIAS

- AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. et al. Susceptibility of pollinators to ongoing landscape changes depends on landscape history. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 10, p. 1129–1140, 1 out. 2015.
- AIZEN, M. A.; FEINSINGER, P. Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in argentine, “chaco serrano”. **Ecological Applications**, v. 4, n. 2, p. 378–392, 1994.
- ALBRECHT, M. et al. The Swiss agri-environment scheme enhances pollinator diversity and plant reproductive success in nearby intensively managed farmland. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, n. 4, p. 813–822, ago. 2007.
- ANTONINI, Y. et al. Richness, composition and trophic niche of stingless bee assemblages in urban forest remnants. **Urban Ecosystems**, v. 16, n. 3, p. 527–541, set. 2013.
- ARAÚJO, E. D. et al. Body Size and Flight Distance in Stingless Bees (Hymenoptera: Meliponini): Inference of Flight Range and Possible Ecological Implications. **Braz. J. Biol.**, v. 64, n. 3B, p. 563–568, 2004.
- AYERS, A. C.; REHAN, S. M. Supporting bees in cities: How bees are influenced by local and landscape features. **Insects**, v. 12, p. 128, fev. 2021.
- BALLARE, K. M. et al. Multi-scalar drivers of biodiversity: local management mediates wild bee community response to regional urbanization. **Ecological Applications**, v. 29, n. 3, 1 abr. 2019.
- BANASZAK-CIBICKA, W.; ŻMIHORSKI, M. Wild bees along an urban gradient: Winners and losers. **Journal of Insect Conservation**, v. 16, n. 3, p. 331–343, 2012.
- BASU, P. et al. Scale dependent drivers of wild bee diversity in tropical heterogeneous agricultural landscapes. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 19, p. 6983–6992, 1 out. 2016.
- BATES, A. J. et al. Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. **PLoS ONE**, v. 6, n. 8, 2011.
- BECK, H. E. et al. Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, 2018.
- BENNETT, A. B.; LOVELL, S. Landscape and local site variables differentially influence pollinators and pollination services in urban agricultural sites. **PLoS ONE**, v. 14, n. 2, 1 fev. 2019.

- BEYER, N. et al. Functional groups of wild bees respond differently to faba bean *Vicia faba* L. cultivation at landscape scale. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 12, p. 2499–2508, 1 dez. 2020.
- BORGES, R. C. et al. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, 1 dez. 2020.
- BRAAKER, S. et al. Habitat connectivity and local conditions shape taxonomic and functional diversity of arthropods on green roofs. **Journal of Animal Ecology**, v. 86, n. 3, p. 521–531, 1 maio 2017.
- BROSI, B. J. et al. The Effects of Forest Fragmentation on Bee Communities in Tropical Countryside. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 3, p. 773–783, 2008.
- BROSI, B. J. The effects of forest fragmentation on euglossine bee communities (Hymenoptera: Apidae: Euglossini). **Biological Conservation**, v. 142, n. 2, p. 414–423, fev. 2009a.
- BROSI, B. J. The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1830–1837, 10 out. 2009b.
- BROSI, B. J.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. **Ecological Applications**, v. 17, n. 2, p. 418–430, 2007.
- BUCHHOLZ, S. et al. Wild bees in urban grasslands: Urbanisation, functional diversity and species traits. **Landscape and Urban Planning**, v. 196, 1 abr. 2020.
- BYSTRIAKOVA, N. et al. Key environmental determinants of global and regional richness and endemism patterns for a wild bee subfamily. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 2, p. 287–309, 2018.
- CANE, J. H. et al. Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation. **Ecological Applications**, v. 16, n. 2, p. 632–644, 2006.
- CARRIÉ, R. et al. Relationships among ecological traits of wild bee communities along gradients of habitat amount and fragmentation. **Ecography**, v. 40, n. 1, p. 85–97, 1 jan. 2017.
- CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A.; PETCHEY, O. L. High loss of plant phylogenetic and functional diversity due to simulated extinctions of pollinators and seed dispersers in a tropical savanna. **Natureza e Conservacao**, v. 11, n. 1, p. 36–42, jul. 2013.
- COHEN, H. et al. The relationship between pollinator community and pollination services is mediated by floral abundance in urban landscapes. **Urban Ecosystems**, v. 24, n. 2, p. 275–290, 1 abr. 2021.

CORREIA, I. et al. Lessons from comparative primatology for understanding trait covariation and diversity in evolutionary ecology. **Mammal Review**, v. 53, n. 1, p. 32–47, 1 jan. 2023.

COUTINHO, J. G. E. et al. Landscape Structure Is a Major Driver of Bee Functional Diversity in Crops. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, 2 mar. 2021.

DE PALMA, A. et al. Predicting bee community responses to land-use changes: Effects of geographic and taxonomic biases. **Scientific Reports**, v. 6, 11 ago. 2016.

DE PALMA, A. et al. Dimensions of biodiversity loss: Spatial mismatch in land-use impacts on species, functional and phylogenetic diversity of European bees. **Diversity and Distributions**, v. 23, n. 12, p. 1435–1446, 2017.

DICKS, L. V. et al. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. **Nature Ecology and Evolution**, v. 5, n. 10, p. 1453–1461, 1 out. 2021.

DORMANN, C. F. et al. Effects of landscape structure and land-use intensity on similarity of plant and animal communities. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 6, p. 774–787, nov. 2007.

DRONOVA, I. Environmental heterogeneity as a bridge between ecosystem service and visual quality objectives in management, planning and design. **Landscape and Urban Planning**, v. 163, p. 90–106, 1 jul. 2017.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R. K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 81, n. 1, p. 117–142, fev. 2006.

FAHRIG, L. et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology Letters**, v. 14, n. 2, p. 101–112, 2011.

FAHRIG, L. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 9, p. 1649–1663, set. 2013.

FAHRIG, L. et al. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 219–234, 1 fev. 2015.

FERREIRA, P. A.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. What do we know about the effects of landscape changes on plant-pollinator interaction networks? **Ecological Indicators**, v. 31, p. 35–40, 2013.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 265–280, 2007.

FÖLDESI, R. et al. Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 18, n. 1, p. 68–75, 1 fev. 2016.

FONTAINE, C. et al. Functional diversity of plant-pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. **PLoS Biology**, v. 4, n. 1, p. 0129–0135, 2006.

FORREST, J. R. K. et al. Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in an agricultural landscape. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 706–715, 1 jun. 2015.

FORTEL, L. et al. Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (hymenoptera: anthophila) along an urbanization gradient. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, 13 ago. 2014.

FRAZIER, A. E.; KEDRON, P. Landscape Metrics: Past Progress and Future Directions. **Current Landscape Ecology Reports**, v. 2, n. 3, p. 63–72, set. 2017.

FREITAS, B. M. et al. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, v. 40, p. 332–346, maio 2009.

GESLIN, B. et al. The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 18, p. 6599–6615, 1 set. 2016.

GILLESPIE, M. A. K. et al. A method for the objective selection of landscape-scale study regions and sites at the national level. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 1468–1476, 1 nov. 2017.

GRAB, H. et al. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. **Science**, v. 363, p. 282–284, 2019.

HAILA, Y. A Conceptual Genealogy of Fragmentation Research: From Island Biogeography to Landscape Ecology. **Ecological Applications**, v. 12, n. 2, p. 321–334, 2002.

HAMBLIN, A. L.; YOUNGSTEADT, E.; FRANK, S. D. Wild bee abundance declines with urban warming, regardless of floral density. **Urban Ecosystems**, v. 21, n. 3, p. 419–428, 1 jun. 2018.

HENDRICKX, F. et al. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, n. 2, p. 340–351, 2007.

HOLZSCHUH, A. et al. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: Effects of farming system, landscape composition and regional context. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, n. 1, p. 41–49, fev. 2007.

IPBES. **The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production.** 2022.

JACKSON, H. B.; FAHRIG, L. Are ecologists conducting research at the optimal scale? **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 1, p. 52–63, 1 jan. 2015.

JÖNSSON, A. M. et al. Sown flower strips in southern Sweden increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape. **Biological Conservation**, v. 184, p. 51–58, 1 abr. 2015.

KEARNS, C. A.; OLIVERAS, D. M. Environmental factors affecting bee diversity in urban and remote grassland plots in Boulder, Colorado. **Journal of Insect Conservation**, v. 13, n. 6, p. 655–665, 2009.

KENNEDY, C. M. et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology Letters**, v. 16, n. 5, p. 584–599, maio 2013.

KESSLER, M. M. Bibliographic Coupling Between Scientific Papers. **American Documentation**, v. 14, p. 10–25, 1963.

KLEIN, A. M. et al. Wild pollination services to California almond rely on semi-natural habitat. **Journal of Applied Ecology**, v. 49, n. 3, p. 723–732, jun. 2012.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1518, p. 955–961, 7 maio 2003a.

KLEIN, A.-M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Pollination of *Coffea canephora* in Relation to Local and Regional Agroforestry. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, n. 5, p. 837–845, 2003b.

KLINGBEIL, B. T.; WILLIG, M. R. Matrix composition and landscape heterogeneity structure multiple dimensions of biodiversity in temperate forest birds. **Biodiversity and Conservation**, v. 25, n. 13, p. 2687–2708, 2016.

KRATSCHMER, S. et al. Tillage intensity or landscape features: What matters most for wild bee diversity in vineyards? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 266, p. 142–152, 1 nov. 2018.

KRAUSS, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. How does landscape context contribute to effects of habitat fragmentation on diversity and population density of butterflies? **Journal of Biogeography**, v. 30, p. 889–900, 2003.

LE FÉON, V. et al. Solitary bee abundance and species richness in dynamic agricultural landscapes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 166, p. 94–101, 2013.

LIMA, C.N.; MORO, R. S. Escalas Na Ecologia Da Paisagem. **Terr@ Plural**, v. 9, n. 1, p. 68–83, 2015.

LLAUSS, A.; NOGUÉ, J. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 85–91, abr. 2012.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography - Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.**

MARTINS, K. T.; GONZALEZ, A.; LECHOWICZ, M. J. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 12–20, 1 fev. 2015.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure.** Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

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

MIGUET, P. et al. What determines the spatial extent of landscape effects on species? **Landscape Ecology**, v. 31, n. 6, p. 1177–1194, 1 ago. 2016.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 1 jul. 2009.

MOREIRA, E. F. et al. Influence of landscape structure on Euglossini composition in open vegetation environments. **Biota Neotropica**, v. 17, n. 1, p. 1–7, 2017.

MOREIRA, E. F.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1–19, 2015.

NEMÉSIO, A.; SILVEIRA, F. A. Forest Fragments with Larger Core Areas Better Sustain Diverse Orchid Bee Faunas (Hymenoptera: Apidae: Euglossina). **Neotropical Entomology**, v. 39, n. 4, p. 555–561, 2010.

NERY, L.S.; TAKATA, J.T.; CAMARGO, B.B.; CHAVES, A.M.; FERREIRA, P.A.; BOSCOLO, D. Bee diversity responses to forest and open areas in heterogeneous Atlantic Forest. **Sociobiology**, v. 65, n. 4, p. 686–695, 2018.

NETTLE, D.; FRANKENHUIS, W. E. The evolution of life-history theory: a bibliometric analysis of an interdisciplinary research area. **Proc. R. Soc. B**, v. 286, p. 20190040, 2019.

NEWBOLD, T. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, v. 520, n. 7545, p. 45–50, 2 abr. 2015.

NUCCI, J. C. Origem E Desenvolvimento Da Ecologia E Da Ecologia Da Paisagem. **Revista Geografar**, v. 2, n. 1, p. 77–99, 2007.

ÖCKINGER, E.; SMITH, H. G. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, n. 1, p. 50–59, fev. 2007.

ORR, M. C. et al. Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. **Current Biology**, v. 31, n. 3, p. 451–458.e4, 2021.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 134, p. 178–189, 1 jun. 2021.

PARDEE, G. L.; PHILPOTT, S. M. Native plants are the bee's knees: local and landscape predictors of bee richness and abundance in backyard gardens. **Urban Ecosystems**, v. 17, n. 3, p. 641–659, 1 set. 2014.

PAUTASSO, M. Ten Simple Rules for Writing a Literature Review. **PLoS Computational Biology**, v. 9, n. 7, p. e1003149, 2013.

PERALTA, G. et al. Scale-dependent effects of landscape structure on pollinator traits, species interactions and pollination success. **Ecography**, v. 2023, n. 5, 1 maio 2023.

PERIANES-RODRIGUEZ, A.; WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 4, p. 1178–1195, 1 nov. 2016.

PERILLO, L. N. et al. Disentangling the effects of latitudinal and elevational gradients on bee, wasp, and ant diversity in an ancient neotropical mountain range. **Journal of Biogeography**, v. 48, n. 7, p. 1564–1578, 2021.

PREVEDELLO, J. A.; VIEIRA, M. V. Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 5, p. 1205–1223, 2010.

QUISTBERG, R. D.; BICHIER, P.; PHILPOTT, S. M. Landscape and local correlates of bee abundance and species richness in urban gardens. **Environmental Entomology**, v. 45, n. 3, p. 592–601, 30 jun. 2016.

RAHIMI, E.; BARGHJELVEH, S.; DONG, P. Estimating landscape structure effects on pollination for management of agricultural landscapes. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2021.

RAMALHO, A. V.; GAGLIANONE, M. C.; LUIZ DE OLIVEIRA, M. Comunidades de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em Fragmentos de Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 1, p. 95–101, 2007.

RICKETTS, T. H. et al. Landscape effects on crop pollination services: Are there general patterns? **Ecology Letters**, v. 11, n. 5, p. 499–515, maio 2008.

RITTER, L. M. O.; MORO, R. S. As bases epistemológicas da ecologia da paisagem. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 58–61, 2012.

ROBERTS, H. P.; KING, D. I.; MILAM, J. Factors affecting bee communities in forest openings and adjacent mature forest. **Forest Ecology and Management**, v. 394, p. 111–122, 15 jun. 2017.

SATURNI, F. T.; JAFFÉ, R.; METZGER, J. P. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 235, p. 1–12, 1 nov. 2016.

SETO, K. C.; GÜNERALP, B.; HUTYRA, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 40, p. 16083–16088, 2 out. 2012.

STEFFAN-DEWENTER, I. et al. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. **Ecology**, v. 83, n. 5, p. 1421–1432, 2002.

STEFFAN-DEWENTER, I. et al. Bee Diversity and Plant-Pollinator Interactions in Fragmented Landscapes. Em: WASER, N. M.; OLLERTON, J. (Eds.). **Plant-Pollinators Interactions from Specialization to Generalization**. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2006. p. 387–407.

STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Effects of habitat isolation on pollinator communities and Seed set. **Oecologia**, v. 121, p. 432–440, 1999.

STEFFAN-DEWENTER, I.; WESTPHAL, C. **The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change**. **Journal of Applied Ecology**, jun. 2008.

TAKI, H.; KEVAN, P. G.; ASCHER, J. S. Landscape effects of forest loss in a pollination system. **Landscape Ecology**, v. 22, n. 10, p. 1575–1587, dez. 2007.

THEODOROU, P. et al. The structure of flower visitor networks in relation to pollination across an agricultural to urban gradient. **Functional Ecology**, v. 31, n. 4, p. 838–847, 1 abr. 2017.

THEODOROU, P. et al. Urban fragmentation leads to lower floral diversity, with knock-on impacts on bee biodiversity. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020.

TONHASCA, A. et al. Dispersal of Euglossine Bees between Fragments of the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, n. 1, p. 99–102, 2003.

TSCHEULIN, T. et al. Influence of landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves. **Bulletin of entomological research**, v. 101, n. 5, p. 557–564, 2011.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual review of ecology and systematics**, v. 20, p. 171–197, 1989.

TURNER, M. G. Landscape ecology: What is the state of the science? **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 36, p. 319–344, 2005.

TURNER, M. G. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. **Ecology**, v. 91, n. 10, p. 2833–2849, out. 2010.

VAN ECK, N. J. et al. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 61, n. 12, p. 2405–2416, dez. 2010.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual**, 2023.

VIANA, B. F. et al. How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **Journal of Pollination Ecology**, v. 7, n. 5, p. 31–41, 2012.

WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J.; NOYONS, E. C. M. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. **Journal of Informetrics**, v. 4, n. 4, p. 629–635, out. 2010.

WATSON, J. C.; WOLF, A. T.; ASCHER, J. S. Forested landscapes promote richness and abundance of native bees (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in Wisconsin apple orchards. **Environmental Entomology**, v. 40, n. 3, p. 621–632, jun. 2011.

WINFREE, R. The conservation and restoration of wild bees. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1195, p. 169–197, 2010.

WINFREE, R.; GRISWOLD, T.; KREMEN, C. Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. **Conservation Biology**, v. 21, n. 1, p. 213–223, fev. 2007.

WRAY, J. C.; NEAME, L. A.; ELLE, E. Floral resources, body size, and surrounding landscape influence bee community assemblages in oak-savannah fragments. **Ecological Entomology**, v. 39, n. 1, p. 83–93, fev. 2014.

WU, J.; HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. **Landscape Ecology**, v. 17, n. 4, p. 355–365, 2002.

## **CAPÍTULO 2**

---

### **Efeitos da Heterogeneidade da Paisagem na Diversidade Funcional de Abelhas em Floresta Tropical**

## RESUMO

Florestas tropicais dependem dos polinizadores para manter sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos, porém intervenções humanas, como a fragmentação de habitats e perda de conectividade entre fragmentos, têm efeitos deletérios nas comunidades de polinizadores, reduzindo tanto a diversidade biológica quanto a funcional. A resposta das espécies de abelhas à estrutura da paisagem varia conforme suas capacidades de dispersão e estratégias de forrageio. A conservação dessas abelhas em paisagens agrícolas depende de entender como as comunidades se estruturam em resposta à intensificação do uso do solo. A hipótese do estudo é que paisagens mais heterogêneas, com maiores proporções de floresta, abrigam comunidades funcionalmente mais diversas, com um maior número de espécies e indivíduos. Isso se deve à maior diversidade de recursos florais disponíveis, o que reduz a competição entre as espécies. Este trabalho visa avaliar esses efeitos na diversidade de abelhas destacando a importância de uma paisagem funcionalmente heterogênea para a conservação das abelhas e seus serviços ecossistêmicos. O estudo foi conduzido no Parque Nacional Serra de Itabaiana (PNSI) e seu entorno, localizado no estado de Sergipe, Brasil, abrangendo uma área de 7.966 hectares. A seleção das unidades amostrais utilizou um Sistema de Informação Geográfica (GIS), fotos aéreas e verificações de campo para estabelecer uma quadrícula de 10x10 km, dentro da qual foram identificadas áreas com diferentes proporções de cobertura florestal e agrícola, formando um gradiente de heterogeneidade espacial da paisagem. Foram selecionadas 12 paisagens com cobertura florestal variando de 5% a 80%, e mantendo uma distância mínima de 3 km entre as amostras. As paisagens foram classificadas com base em imagens de satélite e métricas de paisagem, utilizando índices de diversidade de Shannon (SHDI) e uniformidade de Shannon (SHEI) para quantificar a diversidade e heterogeneidade. Para o levantamento das espécies de abelhas, foram instaladas armadilhas do tipo Pan trap e coletas com redes. As abelhas coletadas foram identificadas e classificadas por características ecológicas e a análise de dados incluiu cálculos de diversidade funcional e a aplicação de modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) para avaliar a influência das variáveis preditoras sobre a riqueza e abundância das comunidades de abelhas. Coletamos 498 espécimes de abelhas pertencentes a 61 espécies, distribuídas em 16 tribos e 4 famílias. Para abelhas solitárias, encontramos 320 indivíduos de 50 espécies, e para abelhas sociais, 178 indivíduos de 11 espécies. A diversidade de habitat e a cobertura do solo mostraram efeitos positivos na riqueza taxonômica e funcional das abelhas, com modelos indicando que a heterogeneidade da paisagem, incluindo a proporção de floresta e a diversidade de classes, influencia diretamente esses padrões. A análise multiescala confirmou que a resposta das abelhas às modificações na paisagem varia conforme a capacidade de voo, com espécies de menor capacidade sendo mais afetadas por paisagens com perda de habitat entre 60% e 40%. A qualidade da matriz de classes de uso do solo é crucial para manter a diversidade e abundância das abelhas. Este estudo enfatiza a necessidade de conservar paisagens ecologicamente diversas, que complementem a disponibilidade de recursos para abelhas, destacando a importância de estratégias de manejo que incluam tanto fragmentos florestais quanto áreas agrícolas diversificadas para a conservação das espécies nativas e dos serviços de polinização.

**Palavras-chave:** Diversidade Funcional; Distância de Voo; Conservação; Apoidea; Agricultura Familiar.

## ABSTRACT

Tropical forests rely on pollinators to maintain their biodiversity and ecosystem services. However, human activities such as habitat fragmentation and loss of connectivity between fragments negatively affect pollinator communities, reducing biological and functional diversity. Bee species' responses to landscape structure vary based on their dispersal capacity and foraging strategy. Preserving these bees in agricultural landscapes requires understanding how communities are structured in response to land-use intensification. This study hypothesized that landscapes with greater heterogeneity and higher forest cover harbor communities that are functionally more diverse, with a greater number of species and individuals, due to greater floral resource diversity and reduced competition among species. The study aimed to assess these effects on bee diversity, emphasizing the importance of a functionally heterogeneous landscape in conserving bees and their ecosystem services. The research was conducted in the Serra de Itabaiana National Park (PNSI) and its surroundings, located in Sergipe, Brazil, covering an area of 7,966 hectares. Sampling units were selected using Geographic Information Systems (GIS), aerial photographs, and field verifications to establish a  $10 \times 10$  km grid within which areas with different proportions of forest and agricultural cover were identified, forming a gradient of spatial heterogeneity in the landscape. Twelve landscapes with forest cover ranging from 5% to 80% were selected, maintaining a minimum distance of 3 km between samples. Landscapes were classified based on satellite images and landscape metrics using Shannon diversity indices (SHDI) and Shannon evenness indices (SHEI) to quantify diversity and heterogeneity. Pan traps and nets were used to survey bee species. The collected bees were identified and classified by ecological characteristics, and data analysis included functional diversity calculations and the application of generalized linear mixed models (GLMMs) to assess the influence of predictor variables on the richness and abundance of bee communities. Four hundred ninety-eight bee specimens of 61 species, distributed across 16 tribes and four families, were collected. Among these, 320 individuals from 50 species were solitary bees, and 178 individuals from 11 species were social bees. Habitat diversity and soil cover positively impacted bee taxonomic and functional richness, with models indicating that landscape heterogeneity, including the proportion of forest and diversity of classes, directly influences these patterns. Multiscale analysis confirmed that bees' response to landscape modifications varied according to flight capacity, with species of lower capacity more affected by landscapes with habitat loss between 60% and 40%. The quality of the land use class matrix is crucial for maintaining bee diversity and abundance. This study underscores the importance of conserving ecologically diverse landscapes that complement the availability of resources for bees and highlights the significance of management strategies that encompass both forest fragments and diversified agricultural areas for the conservation of native species and pollination services.

**Keywords:** Functional Diversity; Flight Distance; Conservation; Apoidea; Family Farming.

## INTRODUÇÃO

Florestas tropicais são dependentes em quase sua totalidade dos polinizadores (MICHE-  
NER, 2007). Entretanto, a intervenção antrópica, como a fragmentação dos habitats, perda de  
florestas naturais e redução da conectividade entre os fragmentos podem levar a efeitos deleté-  
rios em muitas espécies, diminuindo a diversidade biológica e serviços ecossistêmicos (VIANA  
et al., 2012). Contudo, o manejo adequado dessas paisagens através da implementação de dife-  
rentes tipos de recursos florais nas matrizes e arredores de áreas naturais, e de estratégias para  
conservação de habitats naturais aumenta a heterogeneidade da paisagem, e assim, pode manter  
uma alta diversidade de espécies de polinizadores, incrementando, por conseguinte, a produ-  
tividade agrícola (FAHRIG et al., 2011; FAHRIG et al. 2015).

Áreas mais naturais permitem a sobrevivência de espécies de polinizadores que depen-  
dem das mesmas para encontrar recurso alimentar e de nidificação, como as espécies especia-  
listas e cleptoparasitas (ROBERTS; KING; MILAM, 2017), enquanto que paisagens heterogê-  
neas em sua composição, podem oferecer recursos complementares às espécies através da di-  
versidade de diferentes tipos de elementos ou habitats presentes na paisagem. Isso inclui a  
variedade de tipos de vegetação, de tipos de culturas agrícolas, de áreas abandonadas com ve-  
getação ruderal com flores, áreas urbanas, entre outros, diminuindo a competição e aumentando  
a diversidade de polinizadores (JACKSON; FAHRIG, 2015; MOREIRA et al., 2017)

Para isso, a utilização desses recursos florais da paisagem e habitats pelas espécies está  
relacionada à amplitude espacial na qual os indivíduos podem perceber ou ser afetados pelos  
diferentes habitats adjacentes, em diferentes escalas (SWIFT; HANNON, 2010). As espécies  
apresentam diferentes respostas aos diferentes tipos de habitats que compõem as paisagens que  
variam devido aos seus atributos funcionais ou às estratégias comportamentais de forrageio de  
cada espécie ou grupo de espécies (MOREIRA et al., 2017). Por exemplo, algumas espécies de  
abelhas apresentam baixa capacidade de sustentação de voo, deslocando-se por distâncias de  
aproximadamente 400 m, dispersando-se no máximo 2000 ou 3000 metros, enquanto outras  
espécies podem voar distâncias de até 36 km diariamente (TONHASCA et al., 2003). Entre-  
tanto, a distância de forrageio em abelhas é ligada a sua estratégia comportamental que pode  
ser menor que a máxima distância possível de sua dispersão nas paisagens (ZURBUCHEN ET  
AL 2010). Algumas espécies podem não tolerar níveis de temperatura ou umidade fora de am-  
bientes florestados ou podem ter hábitos especialistas ligados apenas à usufruir de recursos  
florais de algumas famílias que só ocorrem em ambientes florestados. Desse modo as respostas  
dos atributos funcionais, como a diversidade funcional das comunidades, trazem uma

compreensão mais adequada e completa de como a estrutura das comunidades de abelhas é afetada pelas alterações composicionais e funcionais das paisagens. Além de que é fundamental que se determine a escala de resposta mais adequada para avaliar os efeitos dessas mudanças nas paisagens sobre as espécies de polinizadores (FAHRIG, 2013).

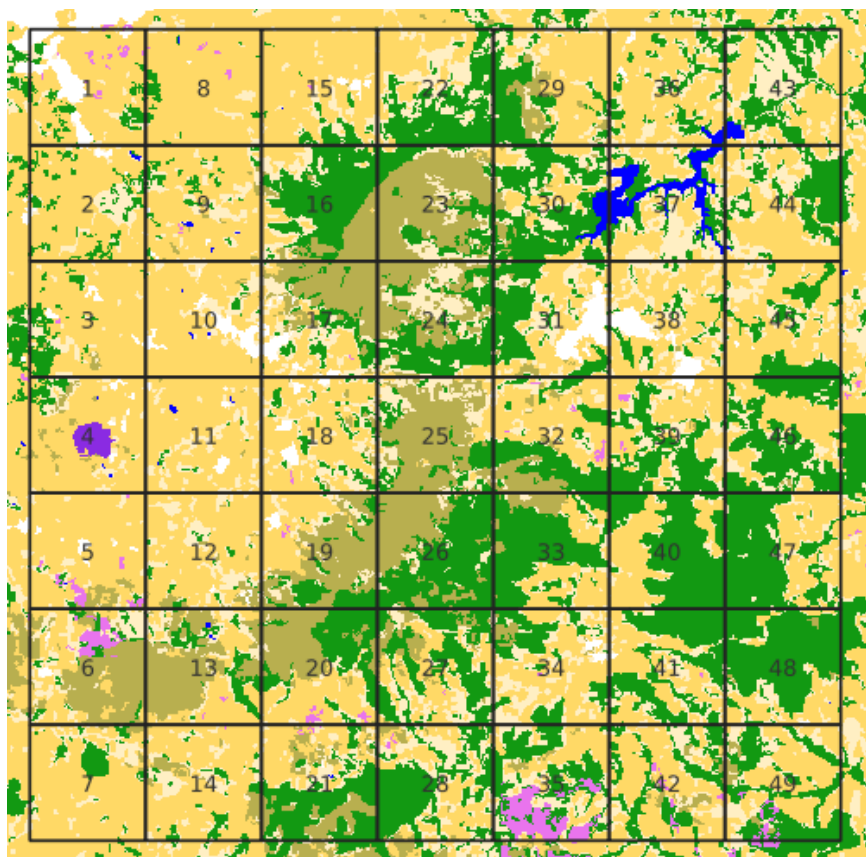
Para avaliar efeitos da conversão de habitats naturais e antropizados, estudamos como grupo modelo, famílias de organismos menos tolerantes à antropização, as abelhas da região neotropical. Abelhas dependem de diversos recursos alimentares (ex. néctar e pólen) e de nidificação (ex. solo exposto e troncos de árvores) para manter populações viáveis e com a disponibilidade de recursos reduzidos há uma limitação de permanência de várias espécies nesses ambientes (HASS et al., 2018). Abelhas de massa corpórea pequena não se deslocam para os cultivos mais distantes, quando comparada com espécies maiores (ARAÚJO, 2004; HASS et al., 2018). Adicionalmente, espécies de abelhas que nidificam acima do solo, construindo ninhos externos ou utilizando cavidades preexistentes, não nidificam em áreas cultivadas devido à ausência de vegetação arbórea. Desse modo, a manutenção de habitats naturais em áreas de cultura aumenta a heterogeneidade funcional da paisagem (MOREIRA et al., 2017). A funcionalidade da paisagem está relacionada com a diversidade de ambientes manejados ou naturais que disponibilizam diversidade de recursos que atendam o requerimento das diferentes espécies (FAHRIG et al., 2011).

O desafio na conservação das abelhas em paisagens agrícolas consiste em entender como as comunidades de polinizadores se estruturam e se mantêm em paisagens agrícolas em função das respostas das espécies à intensificação do uso do solo para agricultura, na escala de efeito adequada (KEARNS E OLIVERAS, 2009). Nesse sentido, a forma como as diferentes espécies percebem e respondem à perda de habitats naturais e à heterogeneidade espacial da paisagem também refletem suas características intrínsecas que se relacionam ao seu fitness e à sua função de desempenho relacionada a seu serviço ecossistêmico (LAURETO; CIANCIA-RUSO; SAMIA, 2015). A hipótese de nosso trabalho é que paisagens mais heterogêneas, com maiores proporções de floresta, compreendem comunidades funcionalmente mais diversas, com um maior número de espécies e indivíduos. Isso se deve à maior diversidade de recursos florais disponíveis, o que reduz a competição entre as espécies. Assim, esse trabalho objetiva verificar o efeito da heterogeneidade funcional e da proporção de habitat natural de paisagens agrícolas na riqueza, abundância e diversidade funcional de abelhas na zona de amortecimento do Parque Nacional Serra de Itabaiana.

## METODOLOGIA

### *Área de Estudo*

O trabalho foi desenvolvido no Parque Nacional Serra de Itabaiana (PNSI) e entorno (Figura 1a). A região está localizada na zona de transição entre os biomas Mata Atlântica e Caatinga no Estado de Sergipe (10°40'52"S e 37°25'15"W; 7.966 ha), abrangendo uma área de 7966 ha compreendendo três unidades, as Serras Cajueiro, Comprida e a de Itabaiana, a maior delas. A Serra de Itabaiana é caracterizada por apresentar um mosaico de fitofisionomias, incluindo formações florestais (matas primárias e secundárias), formações abertas naturais (campos de gramíneas), capoeiras, solos expostos e agricultura familiar (DANTAS; RIBEIRO, 2010).



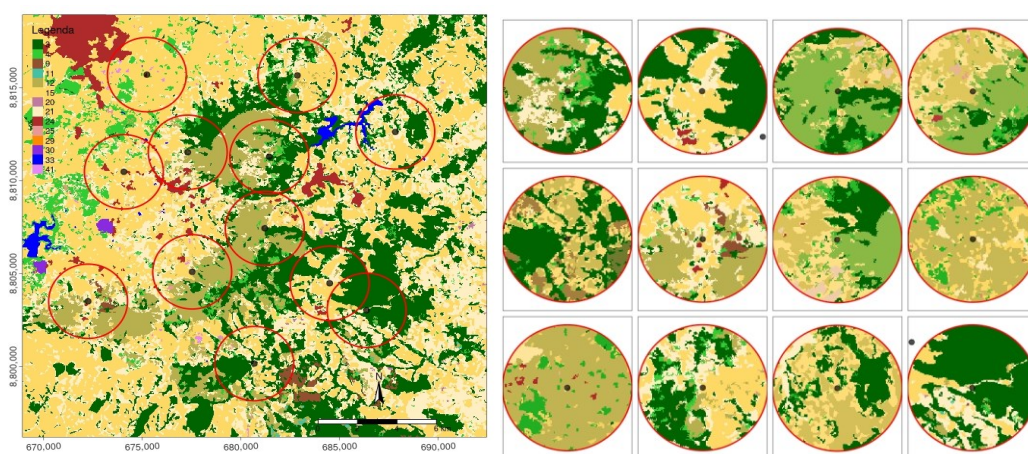
**Figura 1a.** Parque Nacional Serra de Itabaiana e entorno. Grid quadriculas de 3x3 km sobre o mapa de classes do mapbiomas coleção 7.1 (2021). Fonte: "Projeto MapBiomas – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 04/2022 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

No entorno do PNSI, em um raio de 5 km, existem dezenove povoados com relação direta com a Unidade de Conservação. A Serra Comprida é cercada por oito povoados, sendo seis na sua encosta oeste, a Serra de Itabaiana, por seis e, desses, três ao seu nordeste, a Serra do Cajueiro, por quatro e a área da Mata da Cafuz, por um (INSTITUTO CHICO MENDES, 2016). Destes, o estudo foi feito nos municípios de Itabaiana, Itaporanga d'ajuda, Malhador e

Areia Branca. Propriedades rurais localizadas nessa área são caracterizadas por pequenas propriedades familiares, as quais cultivam hortaliças, principalmente tomate, quiabo, amendoim e mandioca, além de canaviais e áreas de pastagem (INSTITUTO CHICO MENDES, 2016).

### *Seleção de unidades amostrais*

Para selecionar as unidades amostrais foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica–GIS (Geographic Information System), fotos aéreas e verificações de campo. Sobre o mapa de classificação de elementos da paisagem Map biomas, versão 2022, para mata atlântica (<https://github.com/mapbiomas-brazil/atlantic-forest?tab=readme-ov-file>) foi sobreposto um grid de 10x10 km, dividido em 49 quadriculas de 3x3 km. Em cada quadricula foi calculado a proporção de vegetação florestal.. para se obter paisagens com diferentes proporções de floresta.(Figura 1a). Escolhemos a proporção de floresta para controlar o gradiente porque é considerado o principal fator da paisagem controlando a resposta da biodiversidade. Assim, em diferentes proporções de floresta, ocorrerão variações na heterogeneidade estrutural e funcional da paisagem Dentro de cada célula foi calculada a proporção de cada um desses elementos. Estabelecemos 3 classes de proporção de floresta na paisagem, a classe de baixa proporção (1 a 10%), intermediária proporção (15 a 35%) e a de alta proporção (40 a 60%). Posteriormente, foram sorteadas 4 paisagens para cada uma de nossas classes de proporção de cobertura florestal, formando um gradiente variando de 1% a 60% (Figura 1b). Esse gradiente captura toda variação de composição e estrutura do mosaico de classes de uso e cobertura do solo na região de estudo. Para evitar a pseudoreplicação espacial, foi adotada uma distância mínima de 3 km entre os pontos amostrais. Ademais, foi realizado o teste I de Moran que mostrou que não há autocorrelação espacial entre os pontos amostrais (Teste I de Moran= -0.3095,  $p=0.81$ ). As unidades amostrais pré-selecionadas em GIS foram validadas em campo para verificar se as classificações dos elementos paisagem nestes pontos amostrais estavam qualitativamente de acordo com o estimado. As distâncias adotadas neste delineamento estão de acordo com as distâncias de movimentação e forrageio das espécies de abelhas (ARAÚJO et al., 2004).



**Figura 1b.** Parque Nacional Serra de Itabaiana e entorno. Círculos vermelhos representam as 12 paisagens finais selecionadas com buffers concêntricos, ao redor dos pontos amostrais (pontos pretos), com raio de 2km cada. Fonte: "Projeto MapBiomas – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 04/2022 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

### *Classificação dos elementos da paisagem*

Os elementos das paisagens previamente selecionadas foram colocados em classes seguindo o mapa de Coleção de Classes 7 do MapBiomas, versão 2022, para mata atlântica <https://github.com/mapbiomas-brazil/atlantic-forest?tab=readme-ov-file>. (Ver elementos da paisagem em Classes na Tabela 2. Para selecionar a escala que melhor reflete possíveis variações nos padrões de diversidade das comunidades de abelhas, foram comparadas seis escalas espaciais, com raios de 400, 800, 1.200, 1600 e 2.000 m. Estas escalas foram escolhidas por serem apropriadas para cobrir a área de forrageio máxima e mínima das diferentes espécies de abelhas (ARAÚJO et al., 2004; MOREIRA et al., 2017).

| ID | Coleção de Classes 7 MapBiomas | Color number |
|----|--------------------------------|--------------|
| 3  | Formação florestal             | #006400      |
| 4  | Formação savânica              | #00ff00      |
| 9  | Silvicultura                   | #935132      |
| 11 | Campo Alagado                  | #45c2a5      |
| 12 | Formação campestre             | #b8af4f      |
| 15 | Pasto                          | #ffd966      |
| 20 | Canavial                       | #c27ba0      |
| 21 | Mosaico de usos                | #fff3bf      |
| 24 | Área urbana                    | #af2a2a      |
| 25 | Outras áreas não vegetadas     | #ff99ff      |
| 30 | Mineração                      | #8a2be2      |
| 33 | Rios e lagos                   | #0000ff      |
| 29 | Afloramentos rochosos          | #ff8C00      |
| 41 | Outras Lavouras temporárias    | #e787f8      |

**Tabela 2** Classes dos elementos da paisagem que ocorrem na área de estudo (PNSI e Zona de amortecimento). Identificação das classes, nome das classes e número da cor utilizada pelo Programa MapBiomas, Coleção de classes 7.

A diversidade de classes na paisagem foi calculada a partir do índice de diversidade de Shannon (Shannon Diversity Index-SHDI) e o Índice de Uniformidade de Shannon (Shannon Evenness Index-SHEI). O SHDI representa a diversidade de classes na paisagem, sendo que o valor do índice é igual a 0 quando se tem apenas um fragmento na paisagem e aumenta de acordo com o número de classes e fragmentos na paisagem e a sua distribuição. Por outro lado, o SHEI mede a heterogeneidade de classes na paisagem, ou seja, a distribuição das áreas dentro

de cada elemento da paisagem, controlando a contribuição do número total de elementos da paisagem. SHEI é igual menos a soma, por todos os tipos de classes, de proporcional abundância de cada tipo de classe multiplicada pela proporção dividida pelo logaritmo do número de classes. Em outras palavras, SHDI é dividido pelo máximo SHDI para o número de tipos de classe. A máxima diversidade para qualquer nível de riqueza é baseada na distribuição equitativa dentre os tipos de elementos. Quando o índice atinge 1, a observada diversidade atinge perfeita equitatividade (MCGARIGAL e MARKS, 1995). Esses índices descrevem a diversidade da paisagem e quanto maiores os valores destes índices, maior a diversidade e a heterogeneidade de classes na paisagem (MCGARIGAL; CUSHMAN, 2005).

O delineamento da paisagem foi realizado utilizando o software livre *Quantum Gis* e o R Software.

### ***Levantamento das espécies de abelhas na área de estudo***

Para cada unidade amostral, escolhemos uma área de vegetação ruderal e o período temporal em que houve florescimento da vegetação para a instalação de armadilhas e a coleta de abelhas com rede. A captura e transporte dos espécimes foi autorizada pelo SISBIO sob nº 79761-1 para fins de atividade científica.

Para instalação de armadilhas foi estabelecida uma área quadrada com perímetro de 200 m nas regiões ruderais supracitadas encontradas em cada unidade amostral. Em cada área quadrada foram instaladas 9 armadilhas do tipo *Pan trap* (ABRAHAMCZYK; STEUDEL; KESSLER, 2010). Destas, 3 nas cores branca, 3 azul e 3 amarelas. As armadilhas foram confeccionadas com pratos plásticos brancos de 250 ml e pintados com tinta spray fluorescente (Color-Gin), pois refletem os raios ultravioleta (visível para as abelhas). As armadilhas foram fixadas na parte superior de uma tora de madeira com fita metálica perfurada, formando assim uma estação, totalizando 3 estações por ponto amostral. Cada estação foi composta por 3 *pan traps* (uma amarela, uma branca e uma azul) distantes entre as estações em 10m, formando um triângulo. As estações mediram 1 m de altura (altura média do voo das abelhas, para forrageamento). As armadilhas permaneceram ativas por três dias consecutivos.

Para coleta de rede estabeleceu-se o ponto central do triângulo formado pelas 3 baterias de armadilhas *pan trap* e dele percorreu-se na área um raio de 200 m nas direções leste, oeste, norte e sul, fazendo-se varreduras de todas as abelhas encontradas em flores de 8h da manhã às 17h, por 2 dias consecutivos para cada unidade amostral, sendo que para cada um desses dias houve revezamento dos coletores por unidades amostrais, a fim de minimizar o viés de coleta causada por diferenças nas habilidade de coleta dos observadores. Cada abelha amostrada foi

acondicionada em um tubo falcon juntamente com uma etiqueta de identificação com número da unidade amostral, data da coleta, nome do coletor.

Para evitar maiores variações temporais nos padrões de abundância e riqueza das espécies, as amostragens foram realizadas no período de estiagem, predominantemente no verão, de novembro de 2022 ao início de março de 2023. Os espécimes foram levados ao laboratório para triagem, montagem, secagem. A identificação dos morfotipos/espécies foi realizada pelo especialista Dr. Maxwell Silveira. Após a identificação, os espécimes foram depositados na coleção entomológica do Laboratório de Entomologia da Universidade Federal de Sergipe e do Instituto Federal de Sergipe.

### ***Classificação das abelhas por características ecológicas***

Os espécimes foram classificados de acordo com as suas características morfológicas e comportamentais. Foram escolhidas cinco categorias: grau de sociabilidade, estratégia reprodutiva, especialização alimentar, tamanho do centróide das asas (morfometria geométrica das asas) e distância de voo baseadas em função das suas respostas ecológicas na paisagem (Tabela 3; Ver Material Suplementar capítulo 2; S3). Os dados sobre a especialização alimentar, grau de sociabilidade e estratégia reprodutiva foram obtidos na literatura (MICHENER, 2007; MONTAGNANA, 2014; BORGES et al., 2020; MARTINS et al., 2013).

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Posição espacial para nidificação | Nidificação no solo: Espécies que nidificam no solo ( <i>Below-ground species</i> )<br><br>Nidificação acima do solo: Espécies que nidificam em uma variedade de cavidades como em troncos de madeira e caule de algumas plantas ( <i>Above-ground species</i> ). |
| Socialidade                       | Social: inclui espécies eusociais, sociais primitivas<br><br>Solitárias                                                                                                                                                                                           |
| Especialização trófica            | Especialistas (oligoléticas): Espécies que coletam pólen em apenas uma família de plantas.<br><br>Generalistas: Espécies poliléticas que coletam pólen em várias famílias de planta.                                                                              |

**Tabela 3.** Características de história de vida usadas para caracterizar os táxons das abelhas (adaptação seguindo LE FEON et al., 2016).

### ***Análise dos dados***

#### ***Diversidade funcional das abelhas***

Como índice de Diversidade funcional, utilizamos a riqueza funcional (F<sub>riq</sub>). A riqueza funcional (F<sub>riq</sub>) corresponde ao volume em um espaço de multi características funcionais que é ocupado pela comunidade (VILLÉGER et al., 2008).

Para obtenção do índices de riqueza funcional, organizamos uma matriz de atributos funcionais qualitativos (comportamento de nidificação, sociabilidade, especialização alimentar) e quantitativos (tamanho do centróide das asas, distância estimada de voo) (Material Suplementar S3). Essa matriz foi convertida em uma matriz de dissimilaridade funcional (distância entre os pares de espécies no espaço funcional) a partir de um dendrograma construído. O FD é calculado com base na soma da distância dos braços do dendrograma funcional necessário para conectar todas as espécies presentes em uma comunidade local. Realizamos uma análise de coordenada principal (PCoA – Principal Coordinate Analysis) para avaliar a matriz de dissimilaridade e desta extrair os subconjuntos dos eixos da PCoA, que mais explicaram a variação dos valores da matriz de distância. Posteriormente esses eixos foram usados como traços para obtenção do valor do índice de riqueza funcional. Calculamos essa métrica de diversidade funcional através da função dbFD do pacote FD (Laliberté & Legendre, 2010), no software R (R Core Team, 2018). O índice de riqueza funcional foi obtido a partir dos valores dos eixos da PCoA juntamente com uma matriz de abundância absoluta de cada espécie por paisagem (Material Suplementar S4).

### ***Estrutura da paisagem e diversidade de abelhas***

Para selecionar o modelo mais plausível, com suas respectivas variáveis ambientais, foi utilizado a seleção de modelos, baseado no critério de seleção de Akaike (AIC) (BURNHAM; ANDERSON, 2002). Para obter a variância de MFD, explanados para cada preditor ambiental, foi utilizado o Modelo Generalizado Linear, expresso pelo ajuste do  $R^2$ . Posteriormente, foi utilizado o método de partição hierárquico, para avaliar as contribuições conjuntas de cada preditor ambiental usando as funções do pacote do R hier.part (WALSH; MAC NALLY, 2013). O método de particionamento hierárquico foi aplicado em todas as combinações de N variáveis presentes nos modelos testados. Posteriormente, cada modelo foi comparado com o modelo equivalente, sem as variáveis analisadas. O mesmo método de análise foi utilizado para avaliar o efeito das variáveis preditoras sobre os padrões de riqueza e abundância das comunidades de abelhas.

Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMMs) foram utilizados para testar a influência das variáveis e covariáveis preditoras sobre os padrões das comunidades e evitar o efeito de autocorrelação espacial. Foram considerados como mais plausíveis os modelos com

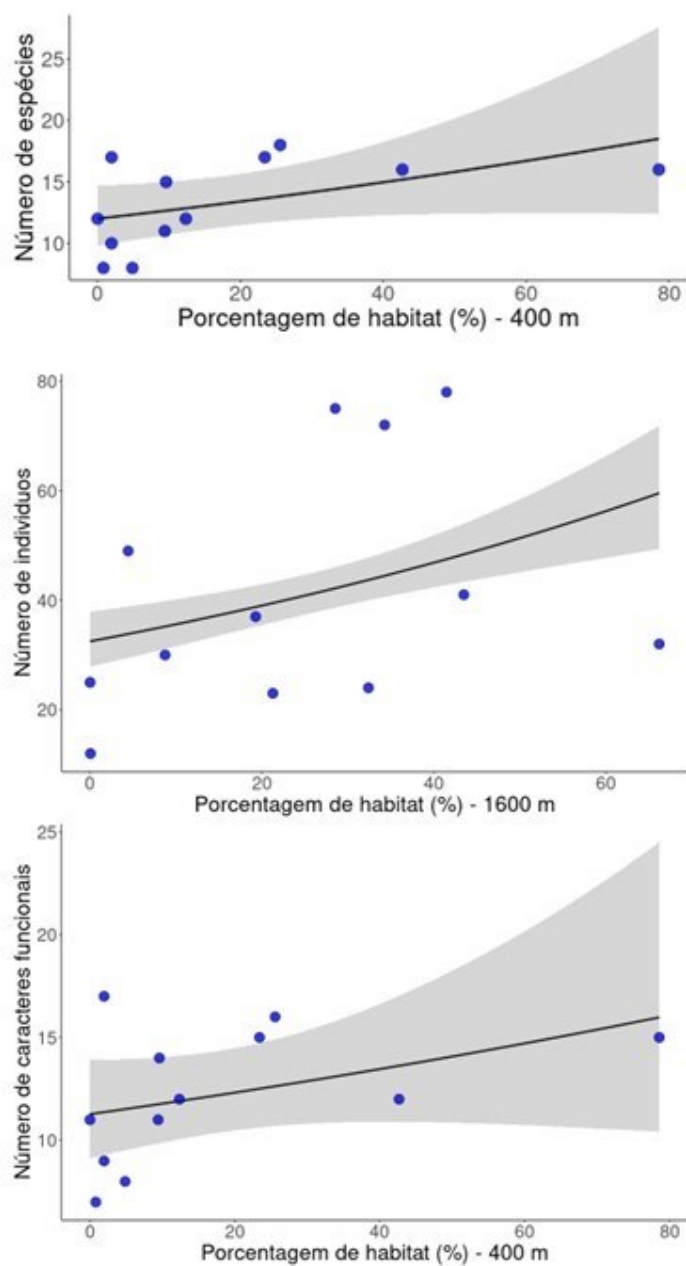
menor valor de AICc (Critério de Informação de Akaike corrigido). Modelos com até duas unidades de AICc de diferença foram considerados equiprováveis. Inicialmente, foram construídos modelos representando todas as combinações de classes de paisagem consideradas que a priori influenciarem a riqueza e abundância de abelhas nas paisagens.

## RESULTADOS

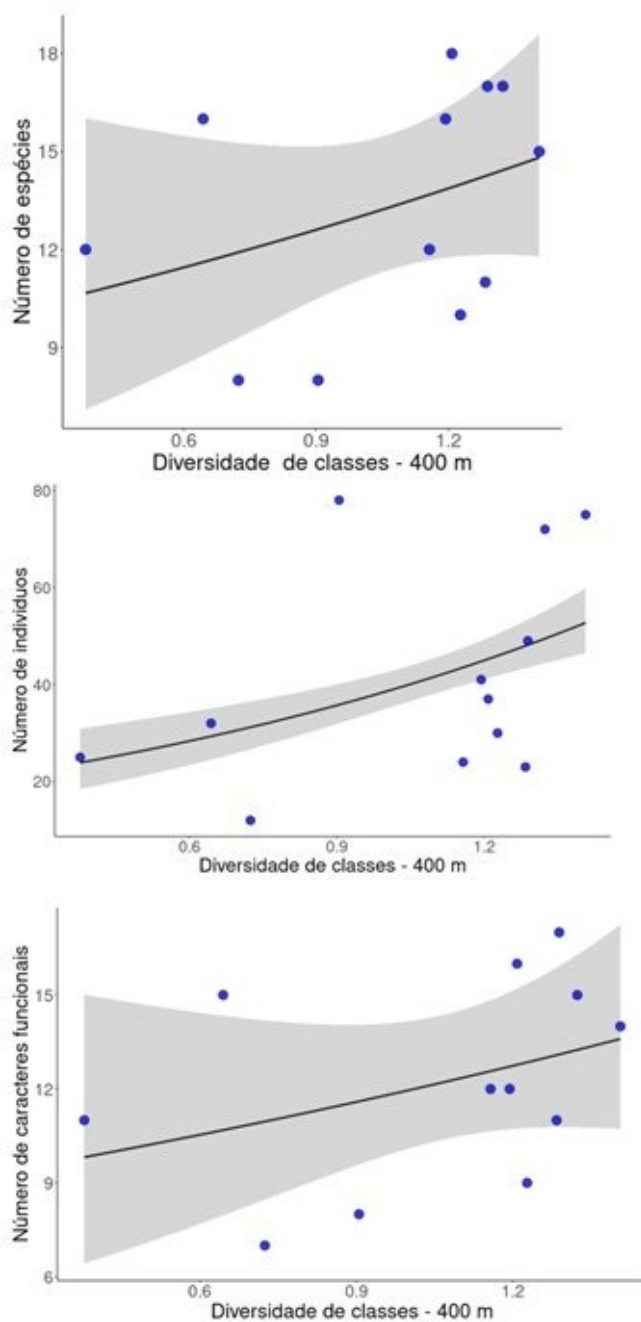
### *Composição Funcional da comunidade*

No Total, coletamos 498 espécimes, pertencentes a 61 espécies de abelhas, distribuídas em 16 tribos e 4 famílias (Ver Material Suplementar capítulo 2, S4). Destes indivíduos, 421 foram coletados por rede com busca ativa em 192 horas (16 horas por ponto amostral) 77 abelhas coletadas por *pan traps* durante 864 horas (3 dias por ponto amostral). A coleta por *pan traps* complementou os dados de forma a capturar espécies de abelhas que não foram coletadas em rede, principalmente *Melitoma cf. segmentar*, *Augochlora* sp.2 e sp.3, *Dialictus* sp., *Megalopta* sp. e *Oxytrigona tataira*. Em adição, mais de 90% das abelhas do gênero *Colletes* e abelhas da espécie *Melitoma* sp. foram coletadas também por *pan traps* (Material Suplementar S1). Para o grupo das abelhas solitárias encontramos 320 indivíduos de 50 espécies de abelhas e para o grupo de abelhas sociais (Meliponini), 178 indivíduos e 11 espécies.

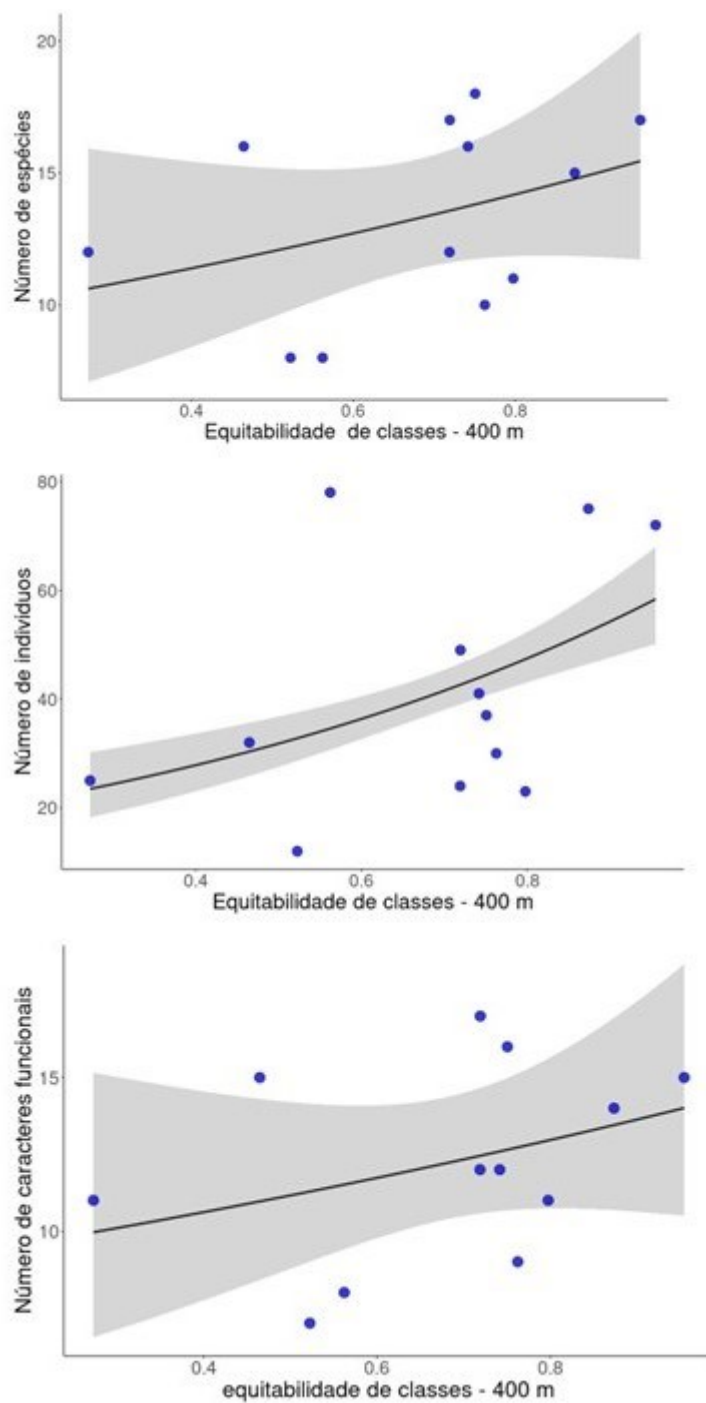
Os resultados dos modelos indicam que tanto a proporção de floresta, quanto as métricas de diversidade e equidade de classes que compõem as paisagens têm efeitos positivos sobre a riqueza taxonômica e funcional de abelhas, dentro da escala de efeito, estimada em 400 (Figuras 2,3,4; Ver Material Suplementar capítulo 2; S2). Todos os modelos são igualmente plausíveis, apresentando valores similares do Critério de Informação de Akaike (AIC). O modelo que representa a variação da riqueza taxonômica em função do gradiente de redução na proporção de floresta, apresentou um coeficiente de 0.005509 e  $AIC = 65.28$ , enquanto a diversidade e a equidade de classes apresentaram coeficientes iguais à 0.3195 e 0.5495, juntamente com valores de  $AIC = 66.53$  e 66.47, respectivamente (Figuras 2,3,4). Os padrões de resposta encontrados para a riqueza funcional foram similares aos padrões encontrados para a riqueza taxonômica. A relação entre a proporção de habitat florestal e o número de caracteres funcionais tem um coeficiente de 0.004438 com um AIC de 63.95. Já a relação entre a riqueza funcional e a diversidade de classes na paisagem, e a distribuição equitativa dessas classes tiveram valores 0.3164 e um AIC de 64.22 e respectivamente. O efeito da quantidade de habitat sobre os padrões de riqueza é mais evidente nos níveis intermediários de perda de habitat, dentro do gradiente avaliado, e maior diversidade de classes de uso e cobertura do solo.



**Figura 2.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da proporção de floresta nas paisagens em sua respectiva escala de efeito (riqueza, 400m; abundância, 1600m; riqueza funcional, 400m).



**Figura 3.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da diversidade de classes (SDHI) em sua respectiva escala de efeito (400m).



**Figura 4.** Aspectos da diversidade de abelhas em função da equitabilidade de classes (SHEI) em sua respectiva escala de efeito (400m).

Os resultados para abundância não mostram um padrão definido, existe muita dispersão dos pontos. A proporção de habita dentro da escala de efeito de 1600 m, apresentou um coeficiente de 0.009148 e um AIC de 181.7. Já a diversidade de classes apresentou um coeficiente de 0.7695 e um AIC de 174.1, enquanto a diversidade equitativa coeficiente de 1.335 e o menor AIC de 171.8. (Figuras 2,3,4).

## DISCUSSÃO

Nossos resultados indicam que a heterogeneidade do habitat e a cobertura do solo são bons preditores dos padrões de riqueza, e na distribuição função ecológica das espécies de abelhas nativas em paisagens intensamente manejadas para agricultura (FORREST et al., 2015). Assim, corroboramos a hipótese de que a diversidade estrutural e composicional das classes de uso e cobertura do solo são importantes preditores impactam diretamente as comunidades de abelhas porque oferecem múltiplos habitats, principalmente em níveis intermediários de cobertura florestal, como demonstrado em nosso gradiente. Nessas paisagens, a distribuição equitativa de classes de vegetação natural florestal e não florestal, além de áreas manejadas para diferentes tipos de práticas agrícolas, permitem a disponibilidade de recursos florais e de nidificação para espécies com diferentes requerimentos (AYERS; REHAN, 2021; WINFREE, 2010). Desse modo, os padrões de reposta encontrados, nesse estudo, para a riqueza funcional das espécies estão relacionados com os diferentes atributos funcionais, capacidade de voo, especialização por recurso floral e locais para nidificação, escolhidos para compor a métrica (BORGES et al., 2020).

Os resultados da análise multiescala realizado nesse estudo, suportam os resultados de outros estudos que indicam que a avaliação adequada dos padrões de diversidade em paisagens fragmentadas deve considerar a escala de resposta adequada para cada espécie, grupos de espécies ou processos ecológicos em questão (DRAY et al., 2012; JACKSON; FAHRIG, 2015). A escala de efeito estimada em nossas análises pode ser explicada, em parte, por diferenças na capacidade de voo das espécies (MOREIRA; BOSCOLO; VIANA, 2015). É esperado que espécies com baixa capacidade de sustentação de voo, desloquem-se por distâncias de aproximadamente 400 m, dentro de suas áreas de forrageio (ARAÚJO et al., 2004). Portanto, é esperado que as espécies respondam diferencialmente às modificações na paisagem, em escalas diferentes. Assim, dentro da escala de 400 m, paisagens heterogêneas, com níveis intermediários de habitat florestal, podem manter uma comunidade de abelhas diversificada. Por outro lado, as espécies com baixa capacidade de voo, podem sofrer o efeito do isolamento em paisagens abaixo dos níveis intermediários de perda de habitat, entre 60% e 40% de redução (PÜTTKER et al., 2020).

A análise da relação entre as variáveis preditoras e os aspectos da diversidade de abelhas indica que a perda de habitat tem um impacto menor na riqueza e na abundância de espécies, quando comparado com a diversidade de classes da paisagem. Isso sugere que a qualidade da matriz (diversidade e equitatividade) pode ser mais importante do que a quantidade de habitat

para manter as populações de abelhas. Contudo, é preciso cautela para interpretar esses resultados e algumas considerações precisam ser feitas. O delineamento desse estudo foi construído para capturar um recorte, específico, de uma região intensamente manejada para agricultura, localizada em uma área de transição com o semiárido, e formada por um mosaico de diferentes tipos de vegetação. Desse modo, nosso objetivo foi entender como esse contexto de paisagens influencia os padrões de diversidade taxonômica e funcional das abelhas (FORREST et al., 2015) que teve um gradiente representativo de 60% e 10% de perda de habitat para essa região.

Por outro lado, nossos resultados revelam padrões da diversidade de abelhas, importantes para o manejo e conservação das espécies nativas, por conseguinte, dos serviços de polinização e seus benefícios ecológicos e socioeconômicos (VIANA et al., 2012). Além disso, enfatizamos a importância de conservar, além de fragmentos florestais, áreas ecologicamente diversas, que possam complementar a disponibilidade de recurso para as espécies de abelhas em paisagens antrópicas (STEFFAN-DEWENTER; WESTPHAL, 2008).

Em suma, heterogeneidade do habitat e a cobertura do solo são bons preditores da riqueza, abundância e função ecológica das abelhas em paisagens agrícolas. A diversidade estrutural e composicional das classes de uso do solo impacta diretamente as comunidades de abelhas, oferecendo múltiplos habitats, especialmente em níveis intermediários de cobertura florestal. A análise multiescala revela que a capacidade de voo das abelhas influencia sua resposta às modificações na paisagem, sendo mais afetadas em escalas abaixo de 60-40% de redução do habitat. A qualidade da matriz de classes da paisagem pode ser mais importante do que a quantidade de habitat na manutenção das populações de abelhas. Os resultados são relevantes para o manejo e conservação das abelhas e dos serviços de polinização, enfatizando a importância de conservar paisagens ecologicamente diversas.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAMCZYK, S.; STEUDEL, B.; KESSLER, M. Sampling Hymenoptera along a precipitation gradient in tropical forests: The effectiveness of different coloured pan traps. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 137, n. 3, p. 262–268, 2010.
- ARAÚJO, E. D. et al. Tamanho do corpo em Meliponini (Hymenoptera: Apidae): inferência do raio de vôo e possíveis implicações ecológicas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 3B, p. 563–568, 2004.
- AYERS, A. C.; REHAN, S. M. Supporting bees in cities: How bees are influenced by local and landscape features. **Insects**, v. 12, n. 2, p. 1–18, 2021.
- BORGES, R. C. et al. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2020.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. Ecological Modelling**. 2. ed. New york: Springer, 2002.
- DANTAS, T. V. P.; RIBEIRO, A. DE S. Population structure of *Kielmeyera rugosa* Choisy (Clusiaceae) at Serra de Itabaiana National Park, Sergipe State. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 32, n. 2, p. 141–146, 2010.
- DRAY, S. et al. Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. **Ecological Monographs**, v. 82, n. 3, p. 257–275, ago. 2012.
- FAHRIG, L. et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology Letters**, v. 14, n. 2, p. 101–112, 2011.
- FAHRIG, L. Rethinking patch size and isolation effects: The habitat amount hypothesis. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 9, p. 1649–1663, set. 2013.
- FAHRIG, L. et al. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 219–234, 1 fev. 2015.
- FORREST, J. R. K. et al. Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in an agricultural landscape. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, n. 3, p. 706–715, 1 jun. 2015.
- HASS, A. L. et al. Landscape configurational heterogeneity by small-scale agriculture, not crop diversity, maintains pollinators and plant reproduction in Western Europe. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 285, p. 20172242, 2018.
- INSTITUTO CHICO MENDES. **Plano de manejo Parque Nacional Serra de Itabaiana**, 2016.

JACKSON, H. B.; FAHRIG, L. Are ecologists conducting research at the optimal scale? **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 1, p. 52–63, 2015.

KEARNS, C. A.; OLIVERAS, D. M. Environmental factors affecting bee diversity in urban and remote grassland plots in Boulder, Colorado. **Journal of Insect Conservation**, v. 13, n. 6, p. 655–665, dez. 2009.

KEMBEL, S. W. et al. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. **Bioinformatics**, v. 26, n. 11, p. 1463–1464, 2010.

LAURETO, L. M. O.; CIANCIARUSO, M. V.; SAMIA, D. S. M. Functional diversity: An overview of its history and applicability. **Natureza e Conservacao**, v. 13, n. 2, p. 112–116, 2015.

LE FÉON, V. et al. Diversity and life-history traits of wild bees (Insecta: Hymenoptera) in intensive agricultural landscapes in the Rolling Pampa, Argentina. **Journal of Natural History**, v. 50, n. 19–20, p. 1175–1196, 2016.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology. Developments in Environmental Modelling**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2012.

MARTINS, A. C.; GONÇALVES, R. B.; MELO, G. A. R. Changes in wild bee fauna of a grassland in Brazil reveal negative effects associated with growing urbanization during the last 40 years. **Zoologia**, v. 30, n. 2, p. 157–176, abr. 2013.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A. The Gradient concept of Landscape Structure. Em: WIENS, J. A.; MOSS, M. R. (Eds.). **Issues and Perspectives in Landscape Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 112–119.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

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

MONTAGNANA, P. C. **Avaliação da importância de habitats secundários para a manutenção de abelhas silvestres em áreas agrícolas**. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2014.

MOREIRA, E. F. et al. Influence of landscape structure on Euglossini composition in open vegetation environments. **Biota Neotropica**, v. 17, n. 1, p. 1–7, 2017.

MOREIRA, E. F.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1–19, 2015.

PÜTTKER, T. et al. Indirect effects of habitat loss via habitat fragmentation: A cross-taxa analysis of forest-dependent species. **Biological Conservation**, v. 241, 2020.

ROBERTS, H. P.; KING, D. I.; MILAM, J. Factors affecting bee communities in forest openings and adjacent mature forest. **Forest Ecology and Management**, v. 394, p. 111–122, 15 jun. 2017.

STEFFAN-DEWENTER, I.; WESTPHAL, C. The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 3, p. 737–741, 2008.

SWENSON, N. G. **Phylogenetic Data in R**, 2014.

SWIFT, T. L.; HANNON, S. J. Critical thresholds associated with habitat loss: A review of the concepts, evidence, and applications. **Biological Reviews**, v. 85, n. 1, p. 35–53, 2010.

TONHASCA, A. et al. Dispersal of Euglossine Bees between Fragments of the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, n. 1, p. 99–102, 2003.

VIANA, B. F. et al. How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **Journal of Pollination Ecology**, v. 7, n. 5, p. 31–41, 2012.

VILLÉGER, S. et al. New Multidimensional Functional Diversity Indices for a Multifaceted Framework in Functional Ecology. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2290–2301, 2008.

WALSH, C.; MAC NALLY, R. **Package “hier.part.”**, 2013.

WINFREE, R. The conservation and restoration of wild bees. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1195, p. 169–197, 2010.

ZURBUCHEN, A. et al. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. **Biological Conservation**, v. 143, n. 3, p. 669–676, mar. 2010.

## CAPÍTULO 3

---

### **Distância potencial de Voo de Abelhas Neotropicais a partir de Dados Morfogeométricos da Asa anterior**

## RESUMO

Os dados sobre a distância máxima de voo das abelhas têm sido estimados com base na média observada em trabalhos de campo e principalmente em modelos lineares e não lineares que utilizam os dados de campo, considerando a relação positiva entre o tamanho corporal das abelhas e sua capacidade de voo. A distância intertegular (ITD) tem sido usada como uma medida mais eficiente para ajuste de modelos devido à sua relação com o tamanho da asa e do corpo das espécies. Com o avanço da morfometria geométrica, foi possível representar e quantificar a forma das estruturas por meio de coordenadas homologas, método que se mostrou eficaz na análise das asas das abelhas. Essa técnica tem sido utilizada para identificar espécies, parentescos, afinidades taxonômicas e variações genéticas, ambientais e de desenvolvimento. Neste estudo, aplicamos a morfometria geométrica para mensurar o tamanho da asa com base no tamanho do centroide, utilizando dados morfométricos e de voo de dez espécies de abelhas solitárias, sociais primitivas e eussociais, a fim de construir um modelo que estima a distância potencial de voo de 32 espécies cujas distâncias de voo são desconhecidas. Este modelo pode ser aplicado a dados morfométricos de estudos anteriores e futuros, oferecendo informações valiosas sobre a distância potencial de voo, um atributo funcional crucial para a compreensão das relações ecológicas das abelhas.

**Palavras-chave:** Distância de voo; morfometria geométrica; ecologia da paisagem.

## ABSTRACT

Data on the maximum flight distance of bees have been estimated based on the average observed in field studies and primarily through linear and nonlinear models that use field data, considering the positive relationship between bee body size and flight capacity. The intertegular distance (ITD) has been used as a more efficient measure for model adjustments because of its relationship with wing and body size of the species. With the advancement of geometric morphometrics, it has become possible to represent and quantify the shape of structures using homologous coordinates, a method that has proven effective in the analysis of bee wings. This technique has been used to identify species, relationships, taxonomic affinities, and genetic, environmental, and developmental variation. In this study, we applied geometric morphometrics to measure wing size based on centroid size, using morphometric and flight data from ten species of solitary, primitively social, and eusocial bees, to construct a model that estimates the potential flight distance of 32 species whose flight distances are unknown. This model can be applied to morphometric data from previous and future studies, offering valuable information on potential flight distance, which is a crucial functional attribute for understanding the ecological relationships of bees.

**Keywords:** Flight distance; Geometric Morphometrics; landscape ecology.

## INTRODUÇÃO

Trabalhos que avaliam a distância de voo oferecem informações sobre a capacidade de dispersão e forrageamento das abelhas, contribuindo para compreensão da dinâmica das populações, como fluxo gênico e da escala de efeito da fragmentação de habitat ( KENDALL et al., 2022; GREENLEAF et al., 2007). Entretanto, os dados acerca da distância de voo disponíveis são por vezes conflitantes, variando de metros a quilômetros para uma mesma espécie ( GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022; GREENLEAF et al., 2007; VAN et al., 1996). Parte dessa discrepância deve-se aos diferentes métodos que têm sido utilizados para mensurar a distância potencial de voo ou as faixas realizadas de voo (KENDALL et al., 2022).

Dentre os métodos dois parecem ser adequados para estimar distância potencial de voo, são eles; a) o método de *homing*, que avalia a capacidade das forrageiras de relembrar o caminho ao serem transcoladas dos ninhos; b) treinamento de alimentadores (feeder training), através do treinamento das abelhas com alimentadores que são gradativamente afastamentos dos ninhos para avaliar a distância ( GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022; GREENLEAF et al., 2007). Mesmo através desses métodos a distância medida pode variar de acordo com a experiência das abelhas coletadas a direção e a qualidade do recurso forrageado e as condições ambientais (KAEHLER et al., 2021).

Dessa forma, os dados sobre distância máxima de voo tem sido estimados através da média observada e de modelos lineares e não-lineares baseados na relação positiva entre o tamanho corporal das abelhas e sua capacidade de voo ( GRÜTER; HAYES, 2022; ARAÚJO et al., 2004; GATHMANN; TSCHARNTKE, 2002; VAN et al., 1996). Os modelos iniciais eram ajustados utilizando o tamanho da cabeça, o comprimento do corpo e outros caracteres morfométricos tradicionais para representar o tamanho corporal (ARAÚJO et al., 2004; GATHMANN; TSCHARNTKE, 2002; VAN et al., 1996). Além do tamanho do corpo o comportamento social também deve ser considerado pois abelhas sociais tendem a possuir uma faixa de forrageamento maior (GRÜTER; HAYES, 2022).

Posteriormente, a distância intertegular (ITD) se mostrou uma medida mais eficiente para esses modelos dada a sua relação com o tamanho da asa (GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022). A distância intertegular é uma medida que considera a distância entre a tégula direita e esquerda utilizada para representar o tamanho do tórax, da asa e avaliar o peso das abelhas ( GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2019; GREENLEAF et al., 2007). Entretanto, parte dos fósseis de abelhas encontrados não estão em posições favoráveis para obtenção dessa medida mas permitem a visualização das veias alares (DEHON et al., 2019, 2014).

Com o avanço do estudo da forma, a utilização da morfometria geométrica permitiu através de um conjunto de coordenadas homologas (landmarks) representar e segregar quantitativamente a forma do tamanho da estrutura (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004). Esse método tem sido consistentemente aplicado a asa das abelhas para representar de maneira precisa o fenótipo dada sua sensibilidade e capacidade de identificar espécies, seu grau de parentesco e a afinidade taxonômica do registro fóssil (DE MEULEMEESTER et al., 2012; FRANCOY; FONSECA, 2010; FRANCOY; GONÇALVES; FONSECA, 2008). Além de distinguir populações, variações genéticas, ambientais e de desenvolvimento (ARAUJO et al., 2023; KLINGENBERG; MARUGÁN-LOBÓN, 2013; NUNES et al., 2012).

Com isso, nesse trabalho, resolvemos aplicar a morfometria geométrica para mensurar o tamanho da asa com base no tamanho do centroide, através do conjunto de dados de 10 espécies de abelhas solitárias, social primitivas e eussociais de tamanhos variados para construir um modelo e estimar a distância potencial de voo de 32 espécies de abelhas cujas distância de voo são desconhecidas. Esse modelo pode ser aplicado a dados morfométricos de estudos anteriores e futuros permitindo que esses obtenham informações de distância potencial prevista de voo, um atributo funcional importante para compreensão das relações ecológicas das abelhas.

## METODOLOGIA

### *Coleta de dados*

As espécies foram selecionadas de acordo com a disponibilidade mínima de imagens de asa anterior direita de três indivíduos do sexo feminino, obtidas através do banco de imagens de asas do grupo de estudos das abelhas da Universidade Federal de Sergipe – UFS. As espécies que obedeceram ao primeiro critério tiveram sua distância de voo potencial pesquisada através da fórmula booleana (Flight distance OR Foraging distance) AND ("species\_name"). Os dados de distância potencial de voo foram coletados de trabalhos anteriores que utilizaram exclusivamente o método de *homing* e o treinamento com alimentadores ou revisaram dados bibliográficos (GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022; GREENLEAF et al., 2007; VAN et al., 1996). Apenas dados experimentais foram utilizados, excluindo-se os dados preditos por modelos. Dessa forma, foram obtidos dados de distância de voo para 14 espécies utilizadas para

ajustar o modelo. Outras 31 espécies também tiveram os dados morfométricos da asa mensurados a fim de verificar a distância de voo potencial predita pelo modelo.

Para caracterizar a forma geométrica da asa utilizaremos um conjunto de 13 landmarks baseados no padrão alar da tribo Meliponini, dada a redução do número de veias no grupo (ARAUJO et al., 2023; DOS SANTOS et al., 2019; FRANCOY; FONSECA, 2010). Os pontos foram marcados utilizando os programas Thin-Plate Spline, TPSUtil e TPSDig (ROHLF, 2015). Posteriormente, realizamos a Análise Generalizada de Procrustes (GPA) para alinhar as coordenadas homólogas, corrigir efeitos de rotação e translação, além de separar as variáveis forma e tamanho do centroide. Ele é calculado como a média aritmética das coordenadas de todos os pontos de referência em um objeto. Especificamente, para um conjunto de  $n$  landmarks, o centroide é dado por:

$$C_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$C_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Onde  $(x_i, y_i)$  são as coordenadas dos  $i$ -ésimos landmarks (BOOKSTEIN, 1991). O centroide serve como um ponto de referência central a partir do qual se podem calcular o tamanho do centróide que serve de estimativa de tamanho generalizado do indivíduo. Essa e todas as análises posteriores foram realizadas na plataforma R v4.3.2 (R CORE TEAM, 2023), utilizando o pacote geomorph v4.0.6 (ADAMS et al., 2023; BAKEN et al., 2021; COLLYER; ADAMS, 2023, 2018). E o pacote “dplyr” (WICKHAM et al., 2023).

### *Ajuste do modelo*

Utilizamos o modelo linear considerando a variação da distância de voo em função do tamanho do centroide para as 14 espécies. Após verificados os outliers, foram selecionadas 10 espécies para ajuste do modelo (Tabela 4). Os dados respeitaram os pressupostos de linearidade, homoscedasticidade e normalidade dos resíduos não havendo necessidade de transformação.

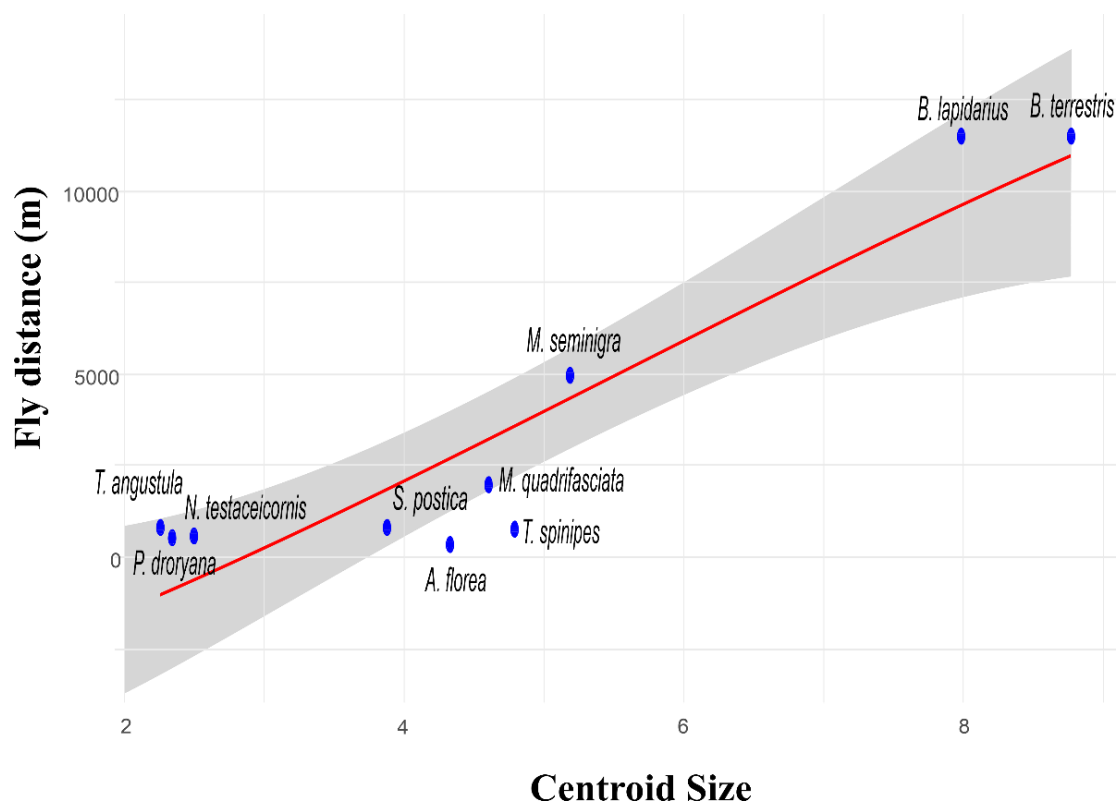
| <i>Species</i>                       | <i>c.size</i> | <i>fly.distance</i><br>(m) | <i>ref. fly.distance</i> |
|--------------------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------|
| <i>Apis florea</i> (Fabricius, 1787) | 4.3237        | 360                        | (GRÜTER; HAYES, 2022)    |

|                                                       |        |        |                          |        |
|-------------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|
| <i>Bombus lapidarius</i> (Linneus, 1758)              | 7.9833 | 11,500 | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Bombus terrestris</i> (Linneaus, 1758)             | 8.7669 | 11,500 | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Melipona quadrifasciata</i> (Lepeletier, 1836)     | 4.6026 | 2,000  | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Melipona seminigra</i> (Friese, 1903)              | 5.1820 | 5,000  | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836) | 2.4899 | 623    | (VAN et al., 1996)       |        |
| <i>Plebeia droryana</i> (Friese, 1900)                | 2.3341 | 540    | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Scaptotrigona postica</i> (Latreille, 1807)        | 3.8740 | 860    | (GRÜTER; 2022)           | HAYES, |
| <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)       | 2.2543 | 853    | (VAN et al., 1996)       |        |
| <i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)             | 4.7885 | 800    | (GREENLEAF et al., 2007) |        |

**Tabela 4.** Lista das 10 espécies selecionadas após exclusão dos outliers, com valores do tamanho do centroide das asas obtidos dos 13 *landmarks* e das distâncias potenciais de voo em metros com suas respectivas referências.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tamanho do centroide variou entre 2.2543 (*T. angustula*) e 8.7669 (*B. terrestris*) (Tabela 5). O modelo ajustado às 10 espécies demonstrou bom poder explicativo com 82% da variação da distância de voo explicada pelo tamanho da asa representada pelo centroide ( $R^2$  ajustado = 0.82,  $p < 0.001$ ) (Figura 1). Esses resultados estão de acordo com outros trabalhos que utilizaram medidas generalizadas do tamanho da asa como parâmetro para mensurar distância de voo e outros atributos como o peso (KENDALL et al., 2019; ARAÚJO et al., 2004).



**Figura 1.** Regressão linear da distância potencial de voo variando em função do tamanho do centroide da asa anterior para as 10 espécies de abelhas.

A regressão linear ajustada ( $y = -5179.5 + 1841.9 * csize$ ) foi utilizada para calcular a distância potencial de voo de 32 espécies a partir do tamanho do centroide aferido com os mesmos 13 marcos anatômicos (Tabela 5).

| Species               | c.size | dist.estimate (m) |
|-----------------------|--------|-------------------|
| <i>Anthidium</i> sp1  | 3.7423 | 1,713             |
| <i>Apis mellifera</i> | 5.6735 | 5,271             |
| <i>Augochlora</i> sp2 | 3.4752 | 1,221             |
| <i>Bombus atratus</i> | 8.4577 | 10,398            |
| <i>Centris</i> sp1    | 4.5385 | 3,180             |
| <i>Centris</i> sp2    | 4.8727 | 3,796             |
| <i>Centris</i> sp3    | 6.0444 | 5,954             |
| <i>Centris</i> sp5    | 4.8561 | 3,765             |
| <i>Centris</i> sp6    | 4.9624 | 3,961             |
| <i>Centris sponsa</i> | 9.7758 | 12,826            |
| <i>Ceratina</i> sp2   | 4.0330 | 2,249             |
| <i>Coelioxys</i> sp1  | 4.6006 | 3,294             |
| <i>Colletes</i> sp.   | 4.4178 | 2,958             |
| <i>Dialictus</i> sp.  | 3.3441 | 980               |

|                             |         |        |
|-----------------------------|---------|--------|
| <i>Encomalopsis</i> sp3     | 3.6884  | 1,614  |
| <i>Eulaema nigrita</i>      | 11.0375 | 15,150 |
| <i>Exomalopsis</i> sp1      | 3.5994  | 1,450  |
| <i>Florilegus</i> sp.       | 4.1422  | 2,450  |
| <i>Megachile</i> sp1        | 5.3390  | 4,654  |
| <i>Megachile</i> sp3        | 5.3300  | 4,638  |
| <i>Melipona scutellaris</i> | 5.4296  | 4,821  |
| <i>Mesoplia azurea</i>      | 7.0970  | 7,892  |
| <i>Oxytrigona tataira</i>   | 3.3115  | 920    |
| <i>Trigona fulviventris</i> | 4.4516  | 3,020  |
| <i>Trigona</i> sp1          | 4.1210  | 2,411  |
| <i>Xylocopa cearensis</i>   | 9.5262  | 12,367 |
| <i>Xylocopa frontalis</i>   | 17.1203 | 26,354 |
| <i>Xylocopa muscaria</i>    | 8.2488  | 10,014 |
| <i>Xylocopa</i> sp1         | 6.9883  | 7,692  |
| <i>Xylocopa</i> sp3         | 6.9074  | 7,543  |
| <i>Xylocopa suspecta</i>    | 13.8095 | 20,256 |
| <i>Xylocopa violacea</i>    | 9.8848  | 13,027 |

**Tabela. 5.** Lista de 32 espécies para as quais foram preditos a distância de voo a partir do modelo ajustado.

Apesar dos resultados do modelo linear, outros trabalhos com uma amostragem mais robusta indicam que espécies sociais podem alcançar distâncias de voo até três vezes maiores do que espécies solitárias, com influência do tamanho da colônia na distância do forrageamento (GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022). Nesses trabalhos a aplicação de modelos não lineares, levando em conta mais de uma variável preditora associada ao tamanho das asas, como socialidade, tamanho da colônia e comportamento de forrageamento foram utilizadas para ajustar o modelo (GRÜTER; HAYES, 2022; KENDALL et al., 2022). Mesmo com esses parâmetros a qualidade dos dados experimentais estão condicionadas ao método de amostragem e as condições ambientais, com a distância de voo observada podendo variar de acordo com o clima, condições da colônia e qualidade do alimento (KAEHLER et al., 2021). Apesar das espécies utilizadas nesse trabalho possuírem comportamentos variados suas distâncias de voo seguiram o padrão linear, respeitando os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias.

A distância de voo da espécie está ligada ao seu potencial de forrageamento e dispersão reprodutiva. Espécies menores estão mais expostas a efeitos de endogamia e deriva genética (ARAÚJO et al., 2004), sendo mais afetadas pela fragmentação de habitat e pelo nível de permeabilidade das diferentes matrizes na paisagem. A escassez de dados de distância de voo para essas espécies de abelhas se apresenta como potencial fator de risco pois dificulta decisões

voltadas ao manejo para conservação das espécies e serviço de polinização. A morfometria geométrica tem oferecido informações importantes quanto a diversidade fenotípica e influência de fatores ambientais sobre as espécies (ARAUJO et al., 2023; NUNES; ARAÚJO; MARCHINI, 2015; FRANCOY, 2007). Nesse trabalho demonstramos que estudos com morfometria geométrica podem estimar a distância de voo como um atributo funcional derivado do tamanho do centroide que podem ser utilizados, inclusive, em trabalhos mais complexos de Ecologia da Paisagem. Essa estimativa também é particularmente importante para mesurar a distância de voo em fósseis de abelhas cuja a posição permite o cálculo da distância intertegular mas favorece uma impressão da asa (DEHON et al., 2019, 2014). Dessa forma, mais uma informação importante pode ser extraída a partir de dados morfométricos das asas, reforçando o método como uma ferramenta importante para estudos com abelhas e outros insetos.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, D. C.; ROHLF, F. J.; SLICE, D. E. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian Journal of Zoology**, v. 71, n. 1, p. 5–16, 2004.
- ARAUJO, E. D. et al. The Effect of Colony Translocation on Meliponaries of *Melipona scutellaris* (L.) (Hymenoptera: Apidae) from Northeastern Brazil by Morphogeometric Analysis. **Sociobiology**, v. 70, n. 3, p. e9160–e9160, 31 jul. 2023.
- ARAUJO, E. D. et al. Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 3b, p. 563–568, 2004.
- BOOKSTEIN, F. L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press.
- DE MEULEMEESTER, T. et al. Taxonomic affinity of halictid bee fossils (Hymenoptera: Anthophila) based on geometric morphometrics analyses of wing shape. **Journal of Systematic Palaeontology**, v. 10, n. 4, p. 755–764, dez. 2012.
- DEHON, M. et al. Wing shape of four new bee fossils (Hymenoptera: Anthophila) provides insights to bee evolution. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, 29 out. 2014.
- DEHON, M. et al. Morphometric analysis of fossil bumble bees (Hymenoptera, apidae, bombini) reveals their taxonomic affinities. **ZooKeys**, v. 2019, n. 891, p. 71–118, 2019.
- DOS SANTOS, C. F. et al. Geometric morphometrics of the forewing shape and size discriminate *Plebeia* species (Hymenoptera: Apidae) nesting in different substrates. **Systematic Entomology**, v. 44, n. 4, p. 787–796, 2019.

- FRANCOY, T. M. Variabilidade genético-morfológica em populações Neotropicais de *Apis mellifera*. **Universidade de São Paulo Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto**, n. 3, p. 179, 2007.
- FRANCOY, T. M.; FONSECA, V. L. I. A morfometria geométrica de asas e a identificação automática de espécies de abelhas. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 317–321, 2010.
- FRANCOY, T. M.; GONÇALVES, L. S.; FONSECA, V. L. I. A Morfometria Geométrica de Asas ea Identificação dos Meliponini. **Biota.Org.Br**, p. 252–254, 2008.
- GATHMANN, A.; TSCHARNTKE, T. Foraging ranges of solitary bees. **Journal of Animal Ecology**, v. 71, n. 5, p. 757–764, 1 set. 2002.
- GREENLEAF, S. S. et al. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, v. 153, n. 3, p. 589–596, 5 set. 2007.
- GRÜTER, C.; HAYES, L. Sociality is a key driver of foraging ranges in bees. **Current Biology**, v. 32, n. 24, p. 5390- 5397.e3, 19 dez. 2022.
- KAEHLER, T. G. et al. Flight distance and foraging of *Tetragonisca fiebrigi* (Apidae: Meliponini) in response to different concentrations of sugar in food resources and abiotic factors. **Journal of Apicultural Research**, 12 nov. 2021.
- KENDALL, L. K. et al. Pollinator size and its consequences: Robust estimates of body size in pollinating insects. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 4, p. 1702–1714, 1 fev. 2019.
- KENDALL, L. K. et al. The potential and realized foraging movements of bees are differentially determined by body size and sociality. **Ecology**, v. 103, n. 11, p. e3809, 1 nov. 2022.
- KLINGENBERG, C. P.; MARUGÁN-LOBÓN, J. Evolutionary Covariation in Geometric Morphometric Data: Analyzing Integration, Modularity, and Allometry in a Phylogenetic Context. **Systematic Biology**, v. 62, n. 4, p. 591–610, 1 jul. 2013.
- NUNES, L. A. et al. Variation morphogeometrics of Africanized honey bees (*Apis mellifera*) in Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 102, n. 3, p. 321–326, set. 2012.
- NUNES, L. A.; ARAÚJO, E. D. DE; MARCHINI, L. C. Fluctuating asymmetry in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) as bioindicator of anthropogenic environments. **Revista de Biología Tropical**, v. 63, n. 3, p. 673, 2015.
- VAN, M. et al. Relation between size and foraging range in stingless bees (Apidae, Meliponinae). **Apidologie**, v. 27, n. 4, p. 219–228, 1996.
- WICKHAM, H. et al. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**, 2023. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=dplyr>>



## **Considerações Finais**

---

## CONCLUSÕES E DIREÇÕES

A presente tese compilou informações sobre o efeito de intervenções antrópicas nas paisagens nos padrões de diversidade de abelhas, indicando tendências e lacunas para guiar futuros estudos e garantir a manutenção da diversidade de abelhas e de seus serviços ecossistêmicos.

No século XX, sob influência da Biologia da conservação, a ecologia da paisagem tentou integrar várias abordagens nos estudos que buscavam avaliar efeitos da perda e a fragmentação de habitats naturais nas respostas de ocorrência e movimentação das espécies, com foco na conservação. De 1999 a 2022, identificamos linhas de pesquisa da área de ecologia da paisagem em diversidade de abelhas 4 grupos de pesquisa se divergindo em estudar padrões de resposta de diferentes táxons de artrópodes, em função da fragmentação florestal em paisagens agrícolas, ou avaliando as consequências da diversidade de abelhas para produção de frutos em áreas de agricultura intensiva; verificando efeito de áreas construídas e habitats naturais para conservação de abelhas e para o grupo de trabalhos mais antigos, avaliando efeitos da fragmentação florestal e interação polinizador-flor para a diversidade de abelhas em áreas agrícolas.

A vinculação dos estudos de conservação de abelhas atrelados aos estudos que avaliam serviços ecossistêmicos desempenhados por esses grupos de espécies é um ponto chave para a conservação de polinizadores, pois a biodiversidade tem sido mostrada como positiva para o funcionamento do ecossistema. Além de abrir caminhos para a exploração desses estudos sobre atributos funcionais das espécies relacionados aos serviços ecossistêmicos desempenhados pelas espécies e que contribuem para a espécie humana (LAURETO; CIANCIARUSO; SAMIA, 2015). Muitos dos estudos dessa revisão demonstraram a importância da quantidade de habitats naturais próximos às áreas agrícolas na melhoria da quantidade e qualidade de frutos agrícolas. Por outro lado, estudos em áreas de agricultura intensiva, também demonstraram declínio de diversidade vinculada ao uso de pesticidas nos cultivos. Áreas de agricultura intensiva, mas que mantem grandes proporções de habitats naturais próximos, amenizam o efeito de pesticidas em espécies de abelhas, devido a essas espécies usufruírem de néctar de flores agrícolas com pesticidas, mas também se utilizarem de néctar de flores nas áreas naturais, reduzindo a concentração de pesticida no néctar ingerido por essas espécies. Em adição, nessa revisão vimos que há poucos estudos em áreas de agricultura orgânica, onde esses cultivos são benéficos em complementação alimentar à muitas espécies de abelhas.

Em torno de 99% das florestas tropicais dependem de polinização de animais, sendo as abelhas, as mais efetivas polinizadores. Estudos mostram que na ausência de polinizadores muitas espécies de plantas conseguem se autopolinizar, entretanto devido a falta de

variabilidade genética, há depressão endogâmica e a quantidade e qualidade de frutos produzidos são prejudicadas. Ademias, a polinização por abelhas garante uma alta diversidade de espécies de plantas em áreas naturais e semi-naturais, controlando e evitando processos de erosão do solo em muitas regiões do globo (MICHENER, 2007).

Essa tese demonstra escalas de efeito da resposta de maior riqueza funcional de comunidades de abelhas em função de diferentes proporções de áreas semi-naturais nas paisagens e grau de heterogeneidade composicional em paisagens agrícolas submersas em mosaicos de mata atlântica, no estado de Sergipe. Mais estudos como os nosso devem ser explorados nas florestas tropicais, pois ainda são muito escassos (BYSTRIAKOVA et al., 2018). A maioria dos bancos de dados públicos (DiscoverLife checklist, iDigbio, SCAN, BISON, GBIF; ver ORR et al. (2021) se concentra na Região Neoártica e Paleoártica, com mais registros na América do Norte (concentrados no estado da Califórnia) e na Eurásia, regiões que apresentam menor número de espécies (ORR et al., 2021). Enquanto a África e Ásia tem poucos registros e maior estimativa de número de espécies a serem encontradas. Austrália tem poucos registros e pouco número de espécies e a região Neotropical é escassa em trabalhos e apresenta pobre revisão taxonômica (BYSTRIAKOVA et al., 2018).

## REFERÊNCIAS

- BYSTRIAKOVA, N. et al. Key environmental determinants of global and regional richness and endemism patterns for a wild bee subfamily. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 2, p. 287–309, 2018.
- LAURETO, L. M. O.; CIANCIARUSO, M. V.; SAMIA, D. S. M. Functional diversity: An overview of its history and applicability. **Natureza e Conservacao**, v. 13, n. 2, p. 112–116, 2015.
- MICHENER, C. D. **The Bees of the world**. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press., 2007.
- ORR, M. C. et al. Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. **Current Biology**, v. 31, n. 3, p. 451- 458.e4, 2021.

## **MATERIAL SUPLEMENTAR- CAPÍTULO 1**

APÊNDICE S1. Critérios para triagem do levantamento bibliométrico.

APÊNDICE S2. Número de artigos publicados por revista científica.

APÊNDICE S3. Documentos publicados por país da instituição do primeiro autor.

APÊNDICE S4. Documentos incluídos nessa pesquisa separados por região climática e tipo de escala abordada nos estudos

APÊNDICE S5. Número de citações e total de força de ligação dos 146 documentos incluídos na análise de acoplamento bibliográfico representados por autores utilizados na análise de acoplamento bibliográfico.

APÊNDICE S6. Referências bibliográficas dos documentos utilizados na análise de acoplamento bibliográfico dos 146 artigos incluídos nesta pesquisa, com no mínimo 20 citações.

APÊNDICE S7. Número do agrupamento, zona climática e tipo de análise abordada pelos estudos utilizados na análise de acoplamento bibliográfico para verificação da influência intelectual (n=146).

APÊNDICE S8. Palavras-chave selecionadas para representar sistemas, métricas de paisagem e aspectos da diversidade (n=76), a partir do conjunto de 1275 palavras-chave encontradas nos 290 artigos incluídos nessa pesquisa.

## MATERIAL SUPLEMENTAR- CAPÍTULO 1

### S1. Critérios para triagem do levantamento bibliométrico

#### 1.1. Critérios de elegibilidade

Essa RS foi norteadada pela seguinte pergunta: Qual o perfil espacial e temporal dos artigos empíricos que testam hipóteses direcionadas à influência de preditores estruturais e funcionais da paisagem na diversidade das comunidades de abelhas?

#### 1.2 Critérios de inclusão

Nós utilizamos a estratégia do acrônimo PECOS, para facilitar o desenvolvimento da pergunta da pesquisa, permitindo que nenhum elemento essencial fosse esquecido na Revisão sistemática.

Os artigos que avaliaram a influência de preditores ambientais na diversidade de abelhas de maneira espacialmente explícita, sob contexto de paisagem e escala local, foram selecionados para essa RS, conforme estratégia PECOS (Tabela S1a).

**Tabela S1a.** Estratégia PECOS utilizada para elaboração da pergunta da revisão sistemática e definição dos critérios de inclusão.

| Acrônimo | Definição                | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>P</b> | População                | Abelhas nativas (abelhas em geral, abelhas de uma tribo, abelhas de um gênero ou abelhas de uma guilda funcional).                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>E</b> | Expansão                 | Estudos que avaliam de forma quantitativa os efeitos dos preditores da paisagem sobre os padrões de diversidade de abelhas, de forma espacialmente explícita, sob contexto da paisagem e/ou escala de mancha.                                                                                                                                                                 |
| <b>C</b> | Comparação               | Entre os artigos foram comparados jornais de publicação, países da instituição de pesquisa, região climática da área de estudo, nível de análise do estudo (escala de mancha; contexto da paisagem) palavras-chave (variáveis preditoras da paisagem, aspectos da diversidade, tipos de uso da terra) e referências citadas em comum pelos autores entre pares de documentos. |
| <b>O</b> | <i>Outcome/</i> Desfecho | Descrição dos países de instituição de pesquisa, região climática da pesquisa dos estudos, nível de abordagem (escala de mancha, contexto paisagem), Grau de importância dos variados assuntos dos artigos (variáveis                                                                                                                                                         |

|          |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                   | preditoras da paisagem, aspectos da diversidade, classes de uso da terra) que influenciam nos padrões de diversidade de abelhas. Verificar a estrutura de Agrupamento dos <i>clusters</i> de pesquisa da área dessa revisão, bem como o desenvolvimento temporal da estrutura dos mesmos. |
| <b>S</b> | <i>Study type</i> /Tipo de estudo | Artigos científicos experimentais <i>in vivo</i> randomizados e artigos de avaliação de metadados.                                                                                                                                                                                        |

### 1.3. Critérios de exclusão

**Tabela S1b.** Critérios de exclusão utilizados para eleger artigos que atendam a pergunta desta pesquisa.

| <b>Critério de exclusão</b> | <b>Razão</b>                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>                    | Revisões, resumos de conferências e artigos de modelagem.                                                                                                           |
| <b>2</b>                    | Estudos que testam o efeito das variáveis da paisagem na diversidade de artrópodes, incluindo abelhas, sem especificar o resultado apenas para o grupo das abelhas. |
| <b>3</b>                    | Estudos que não apresentam variáveis preditoras espacialmente explícitas.                                                                                           |

### S2. Número de artigos publicados (n=290) por revista científica (n=69)

| <b>Publication titles</b>          | <b>Articles records</b> |
|------------------------------------|-------------------------|
| Agriculture Ecosystems Environment | 37                      |
| Journal Of Applied Ecology         | 23                      |
| Landscape Ecology                  | 21                      |
| Environmental Entomology           | 17                      |
| Biological Conservation            | 16                      |
| Basic And Applied Ecology          | 15                      |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Urban Ecosystems                   | 14 |
| Journal Of Insect Conservation     | 13 |
| Plos One                           | 9  |
| Ecological Applications            | 8  |
| Agricultural And Forest Entomology | 7  |
| Ecology And Evolution              | 6  |
| Neotropical Entomology             | 5  |
| Diversity Basel                    | 4  |
| Frontiers In Ecology And Evolution | 4  |
| Insect Conservation And Diversity  | 4  |
| Apidologie                         | 3  |
| Biodiversity And Conservation      | 3  |
| Bulletin Of Entomological Research | 3  |
| Diversity And Distributions        | 3  |
| Ecography                          | 3  |
| Ecology                            | 3  |
| Forest Ecology And Management      | 3  |
| Landscape And Urban Planning       | 3  |

|                                                        |   |
|--------------------------------------------------------|---|
| Oecologia                                              | 3 |
| Peerj                                                  | 3 |
| Scientific Reports                                     | 3 |
| Urban Forestry Urban Greening                          | 3 |
| Acta Amazonica                                         | 2 |
| Biota Neotropica                                       | 2 |
| Ecological Entomology                                  | 2 |
| Ecological Indicators                                  | 2 |
| Insects                                                | 2 |
| Journal Of Apicultural Research                        | 2 |
| Proceedings Of The Royal Society B Biological Sciences | 2 |
| Revista Colombiana De Entomologia                      | 2 |
| Sociobiology                                           | 2 |
| Sustainability                                         | 2 |
| Acta Oecologica International Journal Of Ecology       | 1 |
| Acta Societatis Botanicorum Poloniae                   | 1 |
| Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae        | 1 |
| Austral Ecology                                        | 1 |

|                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------|---|
| Baltic Forestry                                                | 1 |
| Biology And Environment Proceedings Of The Royal Irish Academy | 1 |
| Community Ecology                                              | 1 |
| Conservation Biology                                           | 1 |
| Conservation Science And Practice                              | 1 |
| Ecological Solutions And Evidence                              | 1 |
| Ecosphere                                                      | 1 |
| Environmental Science And Pollution Research                   | 1 |
| Forest Science                                                 | 1 |
| Frontiers In Sustainable Cities                                | 1 |
| Frontiers In Sustainable Food Systems                          | 1 |
| Functional Ecology                                             | 1 |
| Global Change Biology Bioenergy                                | 1 |
| Global Ecology And Biogeography                                | 1 |
| Global Ecology And Conservation                                | 1 |
| Insect Science                                                 | 1 |
| Journal Of Animal Ecology                                      | 1 |
| Journal Of Applied Entomology                                  | 1 |

|                                          |   |
|------------------------------------------|---|
| Journal Of Economic Entomology           | 1 |
| Oikos                                    | 1 |
| Perspectives In Ecology And Conservation | 1 |
| Plant Ecology Diversity                  | 1 |
| Polish Journal Of Ecology                | 1 |
| Renewable Agriculture And Food Systems   | 1 |
| Revista Brasileira De Entomologia        | 1 |
| Science                                  | 1 |
| Science Of The Total Environment         | 1 |

---

**S3.** Número de documentos por país da instituição do primeiro autor dos 290 artigos incluídos para essa pesquisa

| <b>ID</b> | <b>Country</b> | <b>Number of documents</b> | <b>Citations</b> |
|-----------|----------------|----------------------------|------------------|
| 1         | USA            | 79                         | 3762             |
| 2         | Germany        | 62                         | 6288             |
| 3         | Brazil         | 36                         | 721              |
| 4         | Canada         | 24                         | 1031             |
| 5         | England        | 22                         | 1170             |
| 6         | Sweden         | 22                         | 1588             |
| 7         | France         | 21                         | 1244             |
| 8         | Switzerland    | 20                         | 2298             |
| 9         | Netherlands    | 16                         | 3112             |
| 10        | Spain          | 15                         | 253              |
| 11        | Australia      | 10                         | 229              |
| 12        | Poland         | 10                         | 361              |
| 13        | Belgium        | 9                          | 1642             |
| 14        | Hungary        | 7                          | 274              |
| 15        | Italy          | 7                          | 257              |
| 16        | China          | 7                          | 113              |

|    |                |   |      |
|----|----------------|---|------|
| 17 | Austria        | 6 | 190  |
| 18 | Estonia        | 6 | 1617 |
| 19 | India          | 6 | 68   |
| 20 | Colombia       | 5 | 62   |
| 21 | South Africa   | 5 | 93   |
| 22 | Thailand       | 5 | 66   |
| 23 | Ireland        | 4 | 152  |
| 24 | Israel         | 4 | 60   |
| 25 | Norway         | 4 | 65   |
| 26 | Czech Republic | 3 | 439  |
| 27 | Greece         | 3 | 115  |
| 28 | Mexico         | 3 | 58   |
| 29 | Cyprus         | 2 | 68   |
| 30 | Denmark        | 2 | 17   |
| 31 | Ecuador        | 2 | 26   |
| 32 | Ethiopia       | 2 | 31   |
| 33 | Guatemala      | 2 | 55   |
| 34 | Japan          | 2 | 178  |
| 35 | Kenya          | 2 | 21   |
| 36 | Nigeria        | 2 | 20   |
| 37 | North Ireland  | 2 | 36   |
| 38 | Argentina      | 1 | 30   |
| 39 | Chile          | 1 | 2    |
| 40 | Costa Rica     | 1 | 180  |
| 41 | Finland        | 1 | 2    |
| 42 | Indonesia      | 1 | 36   |
| 43 | Lithuania      | 1 | 87   |
| 44 | Luxembourg     | 1 | 21   |
| 45 | Malawi         | 1 | 7    |
| 46 | Portugal       | 1 | 0    |
| 47 | Romania        | 1 | 57   |
| 48 | Serbia         | 1 | 0    |
| 49 | Singapore      | 1 | 6    |

**S4.** Lista de documentos incluídos nessa pesquisa separados por região climática e tipo de análise abordada nos estudos (n=290).

| <b>Author</b>       | <b>Climatic zone</b> | <b>Analysis level</b> |
|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Weber et al. (2023) | temperada            | contexto paisagem     |

|                                            |           |                   |
|--------------------------------------------|-----------|-------------------|
| KilleWald et al (2023)                     | temperada | contexto paisagem |
| Khalil, Sykes e Russo(2023)                | temperada | contexto paisagem |
| Pfeiffer,Crowder e Silbernagel (2023)      | temperada | contexto paisagem |
| Philpott et al (2023)                      | temperada | contexto paisagem |
| Rivers-Moore et al(2023)                   | temperada | contexto paisagem |
| Gutiérrez-Briceño et al(2023)              | temperada | contexto paisagem |
| Braman et al(2023)                         | temperada | contexto paisagem |
| Zitomer et al(2023)                        | temperada | contexto paisagem |
| Ockermüller et al.(2023)                   | temperada | contexto paisagem |
| Hulsmans et al.(2023)                      | temperada | contexto paisagem |
| Vega et al.(2023)                          | temperada | contexto paisagem |
| Roth, Coll and Mandelik(2023)              | temperada | contexto paisagem |
| Bishop et al.(2023)                        | temperada | contexto paisagem |
| Felderhoff, et al.(2023)                   | temperada | contexto paisagem |
| Eckarter et al.(2022)                      | temperada | contexto paisagem |
| Sciligo, M'Gonigle, Kremen(2022)           | temperada | contexto paisagem |
| Maurer et al.(2022)                        | temperada | contexto paisagem |
| Christman et al.(2022)                     | temperada | contexto paisagem |
| Sobieraj-Betlinska, Szefer and Twerd(2023) | temperada | contexto paisagem |
| Janvier et al.(2022)                       | temperada | contexto paisagem |

|                                          |           |                   |
|------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Perrot, Bretagnolle, and Gaba(2022)      | temperada | contexto paisagem |
| Weekers et al.(2022)                     | temperada | contexto paisagem |
| Villalta et al.(2022)                    | temperada | contexto paisagem |
| St Clair et al.(2022)                    | temperada | contexto paisagem |
| Graf, Schneiberg, Goncalves(2022)        | temperada | contexto paisagem |
| Schubert et al (2022)                    | temperada | contexto paisagem |
| Clake, Rogers, and Galpern(2022)         | temperada | contexto paisagem |
| Gerner and Sargent(2022)                 | temperada | contexto paisagem |
| Cohen, et al.(2022)                      | temperada | contexto paisagem |
| Galpern et al.(2021)                     | temperada | contexto paisagem |
| Pascual(2022)                            | temperada | contexto paisagem |
| Pisman et al.(2022)                      | temperada | contexto paisagem |
| Ratto et al (2021)                       | temperada | contexto paisagem |
| Gruver and CaraDonna(2021)               | temperada | contexto paisagem |
| Beyer et al.(2021)                       | temperada | contexto paisagem |
| Parys et al.(2021)                       | temperada | contexto paisagem |
| Kratschmer et al.(2021)                  | temperada | contexto paisagem |
| McCullough, Angelella and O'Rourke(2021) | temperada | contexto paisagem |
| Wu et al.(2021)                          | temperada | contexto paisagem |
| Lorandi et al.(2023)                     | temperada | contexto paisagem |

|                                           |           |                   |
|-------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Griffin, Bruninga-Socular and Gibbs(2023) | temperada | contexto paisagem |
| Theodorou et al.(2020)                    | temperada | contexto paisagem |
| Le Provost et al.(2021)                   | temperada | contexto paisagem |
| Turo et al. (2021)                        | temperada | contexto paisagem |
| Beyer et al.(2020)                        | temperada | contexto paisagem |
| Neumüller et al.(2020)                    | temperada | contexto paisagem |
| Reeher, Novotny, and Mitchell(2020)       | temperada | contexto paisagem |
| Yong et al.(2020)                         | temperada | contexto paisagem |
| Cohen et al. (2021)                       | temperada | contexto paisagem |
| Gómez-Martínez et al. (2020)              | temperada | contexto paisagem |
| Lane et al.(2020)                         | temperada | contexto paisagem |
| St Clair et al.(2020)                     | temperada | contexto paisagem |
| Buchholz et al.(2020)                     | temperada | contexto paisagem |
| Du Clos, Drummond and Loftin(2020)        | temperada | contexto paisagem |
| Ropars et al.(2020)                       | temperada | contexto paisagem |
| Birdshire, Carper and Briles(2020)        | temperada | contexto paisagem |
| Flicker,Poveda and Grab(2020)             | temperada | contexto paisagem |
| Shaw et al.(2020)                         | temperada | contexto paisagem |
| Egerer, Cecala, and Cohen(2020)           | temperada | contexto paisagem |
| Wilson and Jamieson (2019)                | temperada | contexto paisagem |

|                                       |           |                   |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|
| Vray et al.(2019)                     | temperada | contexto paisagem |
| Miljanic et al. (2019)                | temperada | contexto paisagem |
| Kratschmer et al.(2019)               | temperada | contexto paisagem |
| Rollin et al.(2019)                   | temperada | contexto paisagem |
| Spiesman et al.(2019)                 | temperada | contexto paisagem |
| Bennett and Lovell(2019)              | temperada | contexto paisagem |
| Grab et al.(2019)                     | temperada | contexto paisagem |
| Choate, Hickman and Moretti(2018)     | temperada | contexto paisagem |
| Hamblin, Youngsteadt and Frank(2018)  | temperada | contexto paisagem |
| Sivakoff, Prajzner and Gardiner(2018) | temperada | contexto paisagem |
| Dorchin et al.(2018)                  | temperada | contexto paisagem |
| Kehinde et al.(2018)                  | temperada | contexto paisagem |
| Neokosmidis et al.(2018)              | temperada | contexto paisagem |
| Wilson et al.(2018)                   | temperada | contexto paisagem |
| Nicholson et al.(2017)                | temperada | contexto paisagem |
| Bukovinszky et al.(2017)              | temperada | contexto paisagem |
| Plascencia and Philpott (2017)        | temperada | contexto paisagem |
| Morrison et al.(2017)                 | temperada | contexto paisagem |
| Carrié et al.(2017)                   | temperada | contexto paisagem |
| Foster, Bennett, and Sparks(2017)     | temperada | contexto paisagem |

|                                        |           |                   |
|----------------------------------------|-----------|-------------------|
| Kallioniemi et al.(2017)               | temperada | contexto paisagem |
| McKechnie, Thomsen and Sargent(2017)   | temperada | contexto paisagem |
| Carrié et al.(2017)                    | temperada | contexto paisagem |
| Fischer et al.(2016)                   | temperada | contexto paisagem |
| Geslin et al. (2016)                   | temperada | contexto paisagem |
| Mallinger, Gibbs, and Gratton(2016)    | temperada | contexto paisagem |
| Quistberg, Bichier and Philpott (2016) | temperada | contexto paisagem |
| Földesi et al. (2016)                  | temperada | contexto paisagem |
| Hardman et al.(2016)                   | temperada | contexto paisagem |
| Kammerer et al.(2016)                  | temperada | contexto paisagem |
| Sárospataki et al.(2016)               | temperada | contexto paisagem |
| Russo et al.(2015)                     | temperada | contexto paisagem |
| Park et al. (2015)                     | temperada | contexto paisagem |
| Martins,Gonzalez and Lechowicz(2015)   | temperada | contexto paisagem |
| Pardee and Philpott(2014)              | temperada | contexto paisagem |
| Fortel et al.(2014)                    | temperada | contexto paisagem |
| Bennett and Isaacs(2014)               | temperada | contexto paisagem |
| Bourke et al.(2014)                    | temperada | contexto paisagem |
| Carper et al.(2014)                    | temperada | contexto paisagem |
| Wray, Neame and Elle(2014)             | temperada | contexto paisagem |

|                                                   |           |                   |
|---------------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Pellissier, Maurel and Machon, (2013)             | temperada | contexto paisagem |
| Le Féon et al. (2013)                             | temperada | contexto paisagem |
| Smith, Bentley and Reynolds (2013)                | temperada | contexto paisagem |
| Jauker et al.(2013)                               | temperada | contexto paisagem |
| Lowenstein, Huseh and Groves (2012)               | temperada | contexto paisagem |
| Lentini et al.(2012)                              | temperada | contexto paisagem |
| Marini et al.(2012)                               | temperada | contexto paisagem |
| Tonietto et al.(2011)                             | temperada | contexto paisagem |
| Tscheulin et al.(2011)                            | temperada | contexto paisagem |
| Watson, Wolf and Ascher(2011)                     | temperada | contexto paisagem |
| Kovács-Hostyánszki, Batáry and Báldi (2011)       | temperada | contexto paisagem |
| Diaz-Forero et al.(2011)                          | temperada | contexto paisagem |
| Persson and Smith (2011)                          | temperada | contexto paisagem |
| Hendrix, Kwaiser and Heard (2010)                 | temperada | contexto paisagem |
| Diekötter et al. (2010)                           | temperada | contexto paisagem |
| Kearns and Oliveras (2009)                        | temperada | contexto paisagem |
| Sárospataki et al.(2009)                          | temperada | contexto paisagem |
| Ahrné, Bengtsson and Elmqvist (2009)              | temperada | contexto paisagem |
| Holzschuh, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2008) | temperada | contexto paisagem |

|                                       |           |                   |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|
| Rundlöf, Nilsson and Smith (2008)     | temperada | contexto paisagem |
| Diekötter, Billeter, and Crist (2008) | temperada | contexto paisagem |
| Taki, Kevan, and Ascher(2007)         | temperada | contexto paisagem |
| Hatfield and LeBuhn(2007)             | temperada | contexto paisagem |
| Holzschuh et al.(2007)                | temperada | contexto paisagem |
| Winfrey, Griswold, and Kremen (2007)  | temperada | contexto paisagem |
| Morandin et al.(2007)                 | temperada | contexto paisagem |
| Hines and Hendrix (2005)              | temperada | contexto paisagem |
| Steffan-Dewenter et al.(2002)         | temperada | contexto paisagem |
| Söderström et al.(2001)               | temperada | contexto paisagem |
| Pardo et al.(2023)                    | temperada | contexto paisagem |
| Vujanovic et al.(2023)                | temperada | contexto paisagem |
| de Paz et al.(2023)                   | temperada | contexto paisagem |
| Persson et al.(2022)                  | temperada | contexto paisagem |
| Schoch et al.(2022)                   | temperada | contexto paisagem |
| Bergholz et al.(2022)                 | temperada | contexto paisagem |
| Albrecht et al.(2021)                 | temperada | contexto paisagem |
| Roquer-Beni et al.(2021)              | temperada | contexto paisagem |
| Warzecha et al.(2021)                 | temperada | contexto paisagem |

|                                                |           |                   |
|------------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Dylewski, Mackowiak and Banaszak-Cibicka(2020) | temperada | contexto paisagem |
| Persson et al.(2020)                           | temperada | contexto paisagem |
| Li et al.(2020)                                | temperada | contexto paisagem |
| Van Reeth et al.(2019)                         | temperada | contexto paisagem |
| Denning and Foster(2018)                       | temperada | contexto paisagem |
| Brunbjerg et al(2018)                          | temperada | contexto paisagem |
| Andrieu et al.(2018)                           | temperada | contexto paisagem |
| Mendoza-García et al.(2018)                    | temperada | contexto paisagem |
| Theodorou et al.(2017)                         | temperada | contexto paisagem |
| Söderman et al.(2016)                          | temperada | contexto paisagem |
| Mogren et al. (2016)                           | temperada | contexto paisagem |
| Kovács-Hostyánszki et al.(2016)                | temperada | contexto paisagem |
| Aguirre-Gutiérrez et al.(2016)                 | temperada | contexto paisagem |
| Kormann et al. (2015)                          | temperada | contexto paisagem |
| Fahrig et al. (2015)                           | temperada | contexto paisagem |
| Muratet and Fontaine(2015)                     | temperada | contexto paisagem |
| Nayak et al.(2015)                             | temperada | contexto paisagem |
| Moron et al. (2014)                            | temperada | contexto paisagem |
| Luescher et al.(2014)                          | temperada | contexto paisagem |

|                                    |           |                                  |
|------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Hennig and Ghazoul(2012)           | temperada | contexto paisagem                |
| Bates et al. (2011)                | temperada | contexto paisagem                |
| Sattler et al. (2010)              | temperada | contexto paisagem                |
| Brittain et al. (2010)             | temperada | contexto paisagem                |
| Jauker et al. (2009)               | temperada | contexto paisagem                |
| Sjödin, Bengtsson and Ekbom (2008) | temperada | contexto paisagem                |
| Schaffers et al. (2008)            | temperada | contexto paisagem                |
| Dormann et al.(2007)               | temperada | contexto paisagem                |
| Hendrickx et al.(2007)             | temperada | contexto paisagem                |
| Kleijn, and van Langevelde (2006)  | temperada | contexto paisagem                |
| Dauber et al.(2003)                | temperada | contexto paisagem                |
| Bosco et al. (2023)                | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Grossmann et al. (2023)            | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Ruas et al.(2022)                  | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Braaker et al. (2017)              | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Jönsson (2015)                     | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Klein et al. (2012)                | temperada | Escala local e contexto paisagem |

|                                   |           |                                  |
|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Öckinger et al. (2012)            | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Kehinde and Samways (2012)        | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Franzén and Nilsson (2008)        | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Marshall, West and Kleijn (2006)  | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Wersebeckmann et al.(2023)        | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Geppert et al. (2023)             | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| wu et al (2021)                   | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Lozada-Gobilard et al. (2021)     | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Olynyk, Westwood, and Koper(2021) | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Sober et al.(2020)                | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Lanner et al.(2020)               | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Landsman et al.(2019)             | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Zajdel et al. (2019)              | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Kratschmer et al.(2018)           | temperada | Escala local e contexto paisagem |

|                                                    |           |                                  |
|----------------------------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Zou et al. (2017)                                  | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Roberts et al.(2017)                               | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Grab et al.(2017)                                  | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Banaszak-Cibicka,Ratynska, and Dylewski (2016)     | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Pisanty and Mandelik (2015)                        | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Hopfenmüller, Steffan-Dewenter and Holzschuh(2014) | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Diaz-Forero et al. (2013)                          | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Knoll and Penatti (2012)                           | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Wojcik and McBride (2012)                          | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Banaszak-Cibicka and Zmihorski(2012)               | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| McFrederick and LeBuhn(2006)                       | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Moron, Skórka and Lenda(2019)                      | temperada | Escala local                     |
| Pustkowiak et al.(2018)                            | temperada | Escala local                     |
| Blaauw and Isaacs(2014)                            | temperada | Escala local                     |
| Albrecht et al. (2010)                             | temperada | Escala local                     |
| Kohler et al. (2008)                               | temperada | Escala local                     |

|                                            |           |                   |
|--------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Albrecht et al.(2007)                      | temperada | Escala local      |
| Öckinger and Smith (2007)                  | temperada | Escala local      |
| Haaland (2023)                             | temperada | Escala local      |
| Barahona-Segovia et al.(2023)              | temperada | Escala local      |
| Eckerter et al.(2023)                      | temperada | Escala local      |
| Clausen, Elle and Smukler(2022)            | temperada | Escala local      |
| Hevia et al.(2021)                         | temperada | Escala local      |
| MacInnis, Buddle, and Forrest (2020)       | temperada | Escala local      |
| Vickruck et al.(2019)                      | temperada | Escala local      |
| Micholap et al.(2017)                      | temperada | Escala local      |
| Wrzesien and Denisow(2016)                 | temperada | Escala local      |
| Ahrenfeldt et al.(2015)                    | temperada | Escala local      |
| Samnegård,Persson and Smith (2011)         | temperada | Escala local      |
| Slagle and Hendrix (2009)                  | temperada | Escala local      |
| Krauss, Alfert and Steffan-Dewenter (2009) | temperada | Escala local      |
| Steffan-Dewenter and Tschardtke (1999)     | temperada | Escala local      |
| Karnchananiyom (2024)                      | tropical  | contexto paisagem |
| Marcacci et al. (2023)                     | tropical  | contexto paisagem |
| Assunção et al. (2022)                     | tropical  | contexto paisagem |
| Marcacci et al. (2022)                     | tropical  | contexto paisagem |

|                                                   |          |                   |
|---------------------------------------------------|----------|-------------------|
| Carneiro et al.(2022)                             | tropical | contexto paisagem |
| Gilpin et al. (2022)                              | tropical | contexto paisagem |
| Wenzel et al. (2022)                              | tropical | contexto paisagem |
| de Sousa et al.(2022)                             | tropical | contexto paisagem |
| Carneiro et al.(2022)                             | tropical | contexto paisagem |
| Obregon et al. (2021)                             | tropical | contexto paisagem |
| Carneiro et al. (2021)                            | tropical | contexto paisagem |
| Coutinho et al.(2021)                             | tropical | contexto paisagem |
| Escobedo-Kenefic et al.(2020)                     | tropical | contexto paisagem |
| Geeraert et al. (2020)                            | tropical | contexto paisagem |
| Montoya-Pfeiffer, Rodrigues and dos Santos (2020) | tropical | contexto paisagem |
| Cusser et al. (2019)                              | tropical | contexto paisagem |
| Avila-Gómez et al.(2019)                          | tropical | contexto paisagem |
| Ballare et al. (2019)                             | tropical | contexto paisagem |
| Cely-Santos and Philpott (2019)                   | tropical | contexto paisagem |
| Nery et al. (2018)                                | tropical | contexto paisagem |
| Gutiérrez-Chacón, Dorman and Klein (2018)         | tropical | contexto paisagem |
| Tangtorwongsakul, Warrit, and Gale(2018)          | tropical | contexto paisagem |
| Landaverde-González et al.(2017)                  | tropical | contexto paisagem |

|                                     |          |                                  |
|-------------------------------------|----------|----------------------------------|
| Silva,Nogueira, and De Marco (2017) | tropical | contexto paisagem                |
| Boscolo et al. (2017)               | tropical | contexto paisagem                |
| Moreira et al.(2017)                | tropical | contexto paisagem                |
| Saturni, Jaffé, and Metzger (2016)  | tropical | contexto paisagem                |
| Basu et al. (2016)                  | tropical | contexto paisagem                |
| Samnegård et al. (2015)             | tropical | contexto paisagem                |
| Ferreira et al. (2015)              | tropical | contexto paisagem                |
| Storck-Tonon et al. (2013)          | tropical | contexto paisagem                |
| Moulatlet et al. (2021)             | tropical | contexto paisagem                |
| Vogel et al. (2021)                 | tropical | contexto paisagem                |
| Hansen et al.(2020)                 | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Stewart et al. (2018)               | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Bartelli et al. (2023)              | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Prendergast et al. (2022)           | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Wayo et al. (2020)                  | tropical | escala local e contexto paisagem |
| González-Chaves et al. (2020)       | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Cândido et al. (2018)               | tropical | escala local e contexto paisagem |

|                                              |          |                                  |
|----------------------------------------------|----------|----------------------------------|
| Franceschinelli et al. (2017)                | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Motzke et al. (2016)                         | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Otieno et al. (2015)                         | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Brosi (2009)                                 | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Brosi et al.(2008)                           | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Reynolds et al. (2022)                       | tropical | escala local                     |
| Cândido,Miranda, and Morato (2021)           | tropical | escala local                     |
| Maia et al. (2020)                           | tropical | escala local                     |
| Viswanathan et al.(2020)                     | tropical | escala local                     |
| Almeida et al. (2020)                        | tropical | escala local                     |
| Caudill et al. (2017)                        | tropical | escala local                     |
| Storck-Tonon and Peres (2017)                | tropical | escala local                     |
| Botsch et al. (2017)                         | tropical | escala local                     |
| Antonini et al. (2017)                       | tropical | escala local                     |
| Sepúlveda-Cano, Smith-Pardo and Hoyos (2017) | tropical | escala local                     |
| De Aguiar et al. (2015)                      | tropical | escala local                     |
| Cepeda-Valencia, Gomez and Nicholls (2014)   | tropical | escala local                     |

|                                                |          |              |
|------------------------------------------------|----------|--------------|
| Ferreira et al. (2013)                         | tropical | escala local |
| Antonini et al.(2013)                          | tropical | escala local |
| Ramalho et al. (2013)                          | tropical | escala local |
| Boreux et al. (2013)                           | tropical | escala local |
| Andrade-Silva et al. (2012)                    | tropical | escala local |
| Nemésio and Silveira(2010)                     | tropical | escala local |
| Klein (2009)                                   | tropical | escala local |
| Brosi (2009)                                   | tropical | escala local |
| Ramalho, Gaglianone and de Oliveira(2009)      | tropical | escala local |
| Brosi,Daily and Ehrlich(2007)                  | tropical | escala local |
| Klein, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2003a) | tropical | escala local |
| Klein, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2003b) | tropical | escala local |

**S5.** Publicações incluídas na análise de acoplamento bibliográfico, com no mínimo 20 citações (n=146)

| ID | Authors                 | Citation | Total link strength |
|----|-------------------------|----------|---------------------|
| 1  | Dormann (2007)          | 1128     | 25                  |
| 2  | Steffan-dewenter (2002) | 871      | 45                  |
| 3  | Klein (2003b)           | 507      | 36                  |
| 4  | Steffan-dewenter (1999) | 462      | 33                  |
| 5  | Hendrickx (2007)        | 422      | 40                  |
| 6  | Ockinger (2007)         | 337      | 42                  |
| 7  | Holzschuh (2007)        | 327      | 38                  |
| 8  | Winfree (2007)          | 312      | 33                  |
| 9  | Schaffers (2008)        | 303      | 12                  |
| 10 | Söderström (2001)       | 272      | 17                  |

|    |                         |     |       |
|----|-------------------------|-----|-------|
| 11 | Bates (2011)            | 253 | 61    |
| 12 | Fahrig (2015)           | 243 | 22    |
| 13 | Jauker (2009)           | 242 | 38    |
| 14 | Mcfrederick (2006)      | 235 | 32    |
| 15 | Dauber (2003)           | 231 | 17    |
| 16 | Fortel (2014)           | 223 | 81    |
| 17 | Klein (2003a)           | 219 | 40    |
| 18 | Ahrne (2009)            | 213 | 49    |
| 19 | Banaszak-cibicka (2012) | 201 | 42    |
| 20 | Holzschuh (2008)        | 196 | 44    |
| 21 | Klein (2012)            | 190 | 30    |
| 22 | Rundloef (2008)         | 187 | 48    |
| 23 | Tonietto (2011)         | 181 | 29    |
| 24 | Brosi (2008)            | 180 | 49    |
| 25 | Albrecht (2007)         | 168 | 39    |
| 26 | Martins (2015)          | 161 | 33    |
| 27 | Grab (2019)             | 159 | 32    |
| 28 | Sjodin (2008)           | 159 | 31    |
| 29 | Kleijn (2006)           | 157 | 34    |
| 30 | Marshall (2006)         | 155 | 21    |
| 31 | Pardee (2014)           | 147 | 51.98 |
| 32 | Kohler (2008)           | 138 | 30    |
| 33 | Ockinger (2012)         | 116 | 31    |
| 34 | Blaauw (2014)           | 114 | 43    |
| 35 | Brosi (2009b)           | 112 | 37.98 |
| 36 | Brosi (2007)            | 112 | 35    |
| 37 | Mallinger (2016)        | 110 | 48    |
| 38 | Diekoetter (2010)       | 107 | 38    |
| 39 | Hines (2005)            | 107 | 21    |
| 40 | Sattler (2010)          | 103 | 20    |
| 41 | Geslin (2016)           | 102 | 92.98 |
| 42 | Kearns (2009)           | 100 | 38    |
| 43 | Hamblin (2018)          | 98  | 34    |
| 44 | Hatfield (2007)         | 95  | 25    |
| 45 | Watson (2011)           | 89  | 54    |
| 46 | Samnegard (2011)        | 88  | 36    |
| 47 | Theodorou (2017)        | 87  | 57    |
| 48 | Jonsson (2015)          | 86  | 36    |
| 49 | Hopfenmueller (2014)    | 85  | 58    |
| 50 | Le feon (2013)          | 84  | 36.98 |
| 51 | Kormann (2015)          | 81  | 37    |
| 52 | Morandin (2007)         | 81  | 21    |
| 53 | Quistberg (2016)        | 77  | 44    |
| 54 | Hennig (2012)           | 76  | 45    |
| 55 | Krauss (2009)           | 76  | 27    |
| 56 | Saturni (2016)          | 74  | 60    |

|     |                          |    |       |
|-----|--------------------------|----|-------|
| 57  | Jauker (2013)            | 73 | 53    |
| 58  | Carrie (2017)            | 71 | 65    |
| 59  | Taki (2007)              | 71 | 34    |
| 60  | Brittain (2010)          | 69 | 40    |
| 61  | Nemesio (2010)           | 69 | 16    |
| 62  | Grab (2017)              | 68 | 36    |
| 63  | Klein (2009)             | 68 | 32    |
| 64  | Diekoetter (2008)        | 68 | 18    |
| 65  | Wilson (2019)            | 65 | 67    |
| 66  | Ferreira (2015)          | 65 | 50.98 |
| 67  | Muratet (2015)           | 65 | 27    |
| 68  | Bennett (2014)           | 64 | 48    |
| 69  | Nicholson (2017)         | 62 | 65    |
| 70  | Roberts (2017)           | 62 | 73    |
| 71  | Bennett (2019)           | 60 | 60    |
| 72  | Foeldes (2016)           | 60 | 58.98 |
| 73  | Lentini (2012)           | 59 | 37    |
| 74  | Albrecht (2010)          | 59 | 28    |
| 75  | Ramalho (2009)           | 59 | 21    |
| 76  | Braaker (2017)           | 58 | 39    |
| 77  | Marini (2012)            | 58 | 26    |
| 78  | Kratschmer (2019)        | 57 | 54    |
| 79  | Boscolo (2017)           | 57 | 17    |
| 80  | Nayak (2015)             | 54 | 39.98 |
| 81  | Tscheulin (2011)         | 53 | 34    |
| 82  | Kratschmer (2018)        | 50 | 82    |
| 83  | Moron (2014)             | 50 | 27    |
| 84  | Wojcik (2012)            | 50 | 35    |
| 85  | Russo (2015)             | 49 | 39    |
| 86  | Brosi (2009a)            | 49 | 30    |
| 87  | Banaszak-cibicka (2016)  | 48 | 41    |
| 88  | Plascencia (2017)        | 46 | 57    |
| 89  | Fischer (2016)           | 46 | 50    |
| 90  | Wray (2014)              | 46 | 66.98 |
| 91  | Franzen (2008)           | 45 | 30    |
| 92  | Luescher (2014)          | 44 | 29    |
| 93  | Kehinde (2012)           | 44 | 23    |
| 94  | Buchholz (2020)          | 41 | 63    |
| 95  | Vickruck (2019)          | 40 | 34    |
| 96  | Egerer (2020)            | 39 | 60    |
| 97  | Kallioniemi (2017)       | 39 | 55.98 |
| 98  | Aguirre-gutierrez (2015) | 39 | 39.98 |
| 99  | Persson (2020)           | 38 | 39    |
| 100 | Zou (2017)               | 38 | 57.98 |
| 101 | Sivakoff (2018)          | 37 | 53    |
| 102 | Storck-tonon (2017)      | 36 | 42    |

|     |                           |    |       |
|-----|---------------------------|----|-------|
| 103 | Motzke (2016)             | 36 | 54    |
| 104 | Bourke (2014)             | 36 | 31.98 |
| 105 | Stewart (2018)            | 35 | 40    |
| 106 | Morrison (2017)           | 35 | 35    |
| 107 | Pisanty (2015)            | 35 | 27    |
| 108 | Kovacs-hostyanszki (2011) | 35 | 34    |
| 109 | St clair (2020)           | 33 | 58.98 |
| 110 | Ballare (2019)            | 33 | 71.98 |
| 111 | Bukovinszky (2017)        | 33 | 40.98 |
| 112 | Persson (2011)            | 33 | 34    |
| 113 | Kammerer (2016)           | 32 | 33    |
| 114 | Carper (2014)             | 32 | 37    |
| 115 | Lanner (2020)             | 30 | 49    |
| 116 | Rollin (2019)             | 30 | 49    |
| 117 | Diaz-forero (2013)        | 30 | 42    |
| 118 | Theodorou (2020)          | 29 | 56    |
| 119 | Beyer (2020)              | 29 | 33.98 |
|     | Landaverde-gonzalez       |    |       |
| 120 | (2017)                    | 29 | 39    |
| 121 | Kovacs-hostyanszki (2016) | 29 | 42    |
| 122 | Andrade-silva (2012)      | 29 | 34    |
| 123 | Choate (2018)             | 28 | 48    |
| 124 | Cohen (2021)              | 27 | 91    |
| 125 | Ropars (2020)             | 27 | 51    |
| 126 | Shaw (2020)               | 27 | 47    |
| 127 | Mogren (2016)             | 27 | 36    |
| 128 | Boreux (2013)             | 27 | 26    |
| 129 | Storck-tonon (2013)       | 27 | 24    |
| 130 | Hendrix (2010)            | 27 | 21    |
| 131 | Escobedo-kenefic (2020)   | 26 | 43    |
| 132 | Basu (2016)               | 26 | 44    |
| 133 | Lane (2020)               | 25 | 37    |
| 134 | Hardman (2016)            | 25 | 38    |
| 135 | Brunbjerg (2018)          | 23 | 22    |
| 136 | Dylewski (2020)           | 22 | 37    |
| 137 | Turo (2021)               | 22 | 38    |
| 138 | Neumueller (2020)         | 22 | 54    |
| 139 | Gutierrez-chacon (2018)   | 22 | 63    |
| 140 | Botsch (2017)             | 22 | 34    |
| 141 | Samnegard (2015)          | 22 | 44.98 |
| 142 | Roquer-beni (2021)        | 21 | 42    |
| 143 | Gonzalez-chaves (2020)    | 21 | 51    |
| 144 | Vray (2019)               | 21 | 58.98 |
| 145 | Maurer (2022)             | 20 | 20    |
| 146 | Antonini (2013)           | 20 | 29    |

---

**S6.** Referências bibliográficas dos documentos utilizados na análise de acoplamento bibliográfico, com no mínimo 20 citações (n=146). As referências estão separadas por agrupamento gerado pela análise.

### **CLUSTER 1 (24 itens)**

Albrecht, M., Duelli, P., Müller, C., *et al.* (2007). The Swiss agri-environment scheme enhances pollinator diversity and plant reproductive success in nearby intensively managed farmland. *Journal of Applied Ecology*, 44: 813-822

Andrade-Silva, A.C.R., Nemésio, A., de Oliveira, F.F., *et al.* (2012). Spatial-Temporal Variation in Orchid Bee Communities (Hymenoptera: Apidae) in Remnants of Arboreal Caatinga in the Chapada Diamantina Region, State of Bahia, Brazil. *Neotropical Entomology*, 41: 296-305. <https://doi.org/10.1007/s13744-012-0053-9>

Antonini, Y., Martins, R.P., Aguiar, L.M. *et al.* (2013). Richness, composition and trophic niche of stingless bee assemblages in urban forest remnants. *Urban Ecosystems*, 16: 527-541 <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0281-0>

Blaauw, B. R., Rufus Isaacs. (2014). Larger patches of diverse floral resources increase insect pollinator density, diversity, and their pollination of native wildflowers. *Basic and Applied Ecology*, 15(8): 701-71. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.10.001>.

Boreux, V., Krishnan, S., Kushalappa G., *et al.* (2013). Impact of forest fragments on bee visits and fruit set in rain-fed and irrigated coffee agro-forests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 172: 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.003>.

Botsch, J.C., Walter, S.T., Karubian, J., *et al.* (2017). Impacts of forest fragmentation on orchid bee (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) communities in the Chocó biodiversity hotspot of northwest Ecuador. *Journal of Insect Conservation*, 21: 633-643. <https://doi.org/10.1007/s10841-017-0006-z>

Brosi, B.J., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. (2007). Bee Community Shifts With Landscape Context In A Tropical Countryside. *Ecological Applications*, 17: 418-430. <https://doi.org/10.1890/06-0029>

Brosi, B.J., Daily, G.C., Shih, T.M., *et al.* (2008), The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45: 773-783.

Brosi, B. J. (2009a). The complex responses of social stingless bees (Apidae: Meliponini) to tropical deforestation. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1830-1837. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.02.025>.

Brosi, B. J. (2009b). The effects of forest fragmentation on euglossine bee communities (Hymenoptera: Apidae: Euglossini). *Biological Conservation*, 142(2): 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.11.003>.

Hendrix, S.D., Kwaiser, K.S., Heard, S.B. (2010). Bee communities (Hymenoptera: Apoidea) of small Iowa hill prairies are as diverse and rich as those of large prairie preserves. *Biodiversity and Conservation*, 19:1699–1709. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9797-x>

Klein, A.-M., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. (2003a). Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*, 40:837-845. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00847.x>

Klein, A.-M., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. (2003b). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society B*, 270(1518): 955–961 <http://doi.org/10.1098/rspb.2002.2306>

Klein, A.-M. (2009). Nearby rainforest promotes coffee pollination by increasing spatio-temporal stability in bee species richness. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1838–1845. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.05.005>.

Lentini, P. E., Tara, G. M., Gibbons, P., *et al.* (2012). Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. *Biological Conservation*, 149(1): 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.004>.

Nemésio, A., Silveira, F. A. (2010). Forest fragments with larger core areas better sustain diverse orchid bee faunas (Hymenoptera: Apidae: Euglossina). *Neotropical Entomology*, 39(4): 555–561. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000400014>.

Ramalho, A. V., Gaglianone, M. C., de Oliveira, M. L. (2009). Comunidades de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em fragmentos de Mata Atlântica no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira De Entomologia*, 53(1): 95–101. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262009000100022>.

Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. (1999). Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia*, 121: 432–440. <https://doi.org/10.1007/s004420050949>.

Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., *et al.* (2002). Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83(5): 1421–1432. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1421:SDEOLC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1421:SDEOLC]2.0.CO;2).

Storck-Tonon, D., Morato, E. F., de Melo, A. W. F., *et al.* (2013). Orchid Bees of forest fragments in Southwestern Amazonia. *Biota Neotropica*, 13(1): 133–141. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100015>

Storck-Tonon, D., Peres, C. A. (2017). Forest patch isolation drives local extinctions of Amazonian orchid bees in a 26 years old archipelago. *Biological Conservation*, 214: 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.018>.

Taki, H., Kevan, P.G., Ascher, J.S. (2007). Landscape effects of forest loss in a pollination system. *Landscape Ecology*, 22: 1575–1587. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9153-z>

Winfree, R., Griswold, T., Kremen, C. (2007). Effect Of Human Disturbance On Bee Communities In A Forested Ecosystem. *Conservation Biology*, 21(1): 213–223. <https://doi.org/10.1111/J.1523-1739.2006.00574.X>

Wray, J.C., Neame, L.A., Elle, E. (2014). Floral resources, body size, and surrounding landscape influence bee community assemblages in oak-savannah fragments. *Ecological Entomology*, 39(1): 83–93. <https://doi.org/10.1111/een.12070>.

## **CLUSTER 2 (46 itens)**

Ahrné, K., Bengtsson, J., Elmqvist, T. (2009) Bumble Bees (*Bombus* spp) along a Gradient of Increasing Urbanization. *Plos One*, 4(5): e5574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005574>.

Albrecht, M., Schmid, B., Obrist, M.K., *et al.* (2010). Effects of ecological compensation meadows on arthropod diversity in adjacent intensively managed grassland. *Biological Conservation*, 143(3): 642–649. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.11.029>.

- Bourke, D., Stanley, D., O'Rourke, E., *et al.* (2014). Response of farmland biodiversity to the introduction of bioenergy crops: effects of local factors and surrounding landscape context. *Global Change Biology Bioenergy*, 6(3): 275-289. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12089>.
- Brittain, C., Bommarco, R., Vighi, M., *et al.* (2010). Organic farming in isolated landscapes does not benefit flower-visiting insects and pollination. *Biological Conservation*, 143(8): 1860-1867. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.029>
- Dauber, J., Hirsch, M., Simmering, D., *et al.* (2003). Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3): 321-329. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00092-6).
- Diaz-Forero, I., Kuusemets, V., Mänd, M. *et al.* (2013). Influence of local and landscape factors on bumblebees in semi-natural meadows: a multiple-scale study in a forested landscape. *Journal of Insect Conservation*, 17: 113-125 . <https://doi.org/10.1007/s10841-012-9490-3>
- Diekötter, T., Billeter, R., Crist, T. O. (2008). Effects of landscape connectivity on the spatial distribution of insect diversity in agricultural mosaic landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 9(3): 298-307. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2007.03.003>.
- Diekötter, T., Kadoya, T., Peter, F., *et al.* (2010). Oilseed rape crops distort plant-pollinator interactions. *Journal of Applied Ecology*, 47(1): 209-214. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01759.x>.
- Dormann, C.F., Schweiger, O., Augenstein, I., *et al.* (2007). Effects of landscape structure and land-use intensity on similarity of plant and animal communities. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6): 774-787. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00344.x>
- Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., *et al.* (2015). Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200: 219-234. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.018>
- Franzén, M., Nilsson, S.G. (2008). How can we preserve and restore species richness of pollinating insects on agricultural land? *Ecography*, 31: 698-708. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05110.x>.
- Hardman, C.J., Harrison, D.P.G., Shaw, P.J., *et al.* (2016). Supporting local diversity of habitats and species on farmland: a comparison of three wildlife-friendly schemes. *Journal of Applied Ecology*, 53(1): 171-180. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12557>
- Hatfield, R.G., LeBuhn, G. (2007). Patch and landscape factors shape community assemblage of bumble bees, *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae), in montane meadows. *Biological Conservation*, 139(1-2): 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.06.019>.
- Hendrickx, F., Maelfait, J.-P., Van Wingerden, W., *et al.* (2007). How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(2): 340-351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01270.x>.
- Hines, H.M., Hendrix, S.D. (2005). Bumble Bee (Hymenoptera: Apidae) Diversity and Abundance in Tallgrass Prairie Patches: Effects of Local and Landscape Floral Resources. *Environmental Entomology*, 34(6): 1477-1484, <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.6.1477>.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D., *et al.* (2007). Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology*, 44(6): 41-49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01259.x>.

- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Tschamntke, T. (2008). Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117(3): 354-361. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.16303.x>.
- Hopfenmüller, S., Steffan-Dewenter, I., Holzschuh, A. (2014). Trait-Specific Responses of Wild Bee Communities to Landscape Composition, Configuration and Local Factors. *Plos One*, 9(8): e104439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104439>.
- Jauker, F., Diekötter, T., Schwarzbach, F., *et al.* (2009). Pollinator dispersal in an agricultural matrix: opposing responses of wild bees and hoverflies to landscape structure and distance from main habitat. *Landscape Ecology*, 24: 547–555. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9331-2>.
- Jauker, B., Krauss, J., Jauker, F., *et al.* (2013). Linking life history traits to pollinator loss in fragmented calcareous grasslands. *Landscape Ecology*, 28: 107–120. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9820-6>.
- Jönsson, A.M., Ekroos, J., Dänhardt, J., *et al.* (2015). Sown flower strips in southern Sweden increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape. *Biological Conservation*, 184: 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.027>.
- Kehinde, T., Samways, M. J. (2012). Endemic pollinator response to organic vs. conventional farming and landscape context in the Cape Floristic Region biodiversity hotspot. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1): 162-167, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.020>.
- Kleijn, D., Langevelde, F. V. (2006). Interacting effects of landscape context and habitat quality on flower visiting insects in agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 7(3):201-214. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.07.011>.
- Kohler, F., Verhulst, J., Van Klink, R., *et al.* (2008). At what spatial scale do high-quality habitats enhance the diversity of forbs and pollinators in intensively farmed landscapes? *Journal of Applied Ecology*, 45(3): 753-762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01394.x>.
- Kormann, U., Rösch, V., Batáry, P., *et al.* (2015). Local and landscape management drive trait-mediated biodiversity of nine taxa on small grassland fragments. *Diversity and Distributions*, 21(10): 1204-1217. <https://doi.org/10.1111/ddi.12324>.
- Kovács-Hostyánszki, A., Batáry, P., Báldi, A. (2011). Local and landscape effects on bee communities of Hungarian winter cereal fields. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(1): 59-66. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2010.00498.x>.
- Kovács-Hostyánszki, A., Földesi, R., Mózes, E., *et al.* (2016). Conservation of Pollinators in Traditional Agricultural Landscapes – New Challenges in Transylvania (Romania) Posed by EU Accession and Recommendations for Future Research. *Plos One*, 11(6): e0151650. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151650>.
- Krauss, J., Alfert, T., Steffan-Dewenter, I. (2009). Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. *Journal of Applied Ecology*, 46(1): 194-202. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01582.x>.
- Le Féon, V., Burel, F., Chifflet, R., *et al.* (2013). Solitary bee abundance and species richness in dynamic agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 166: 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.020>.
- Lüscher, G., Jeanneret, P., Schneider, M. K., *et al.* (2014). Responses of plants, earthworms, spiders and bees to geographic location, agricultural management and surrounding landscape

in European arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186: 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.020>.

Marshall, E.J.P., West, T.M., Kleijn, D. (2006). Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4): 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.036>.

McFrederick, Q.S., LeBuhn, G. (2006). Are urban parks refuges for bumble bees *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae)? *Biological Conservation*, 129(3): 372-382. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.11.004>.

Morandin, L.A., Winston, M.L., Abbott, V.A., *et al.* (2007). Can pastureland increase wild bee abundance in agriculturally intense areas? *Basic and Applied Ecology*, 8(2): 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2006.06.003>.

Moroń, D., Skórka, P., Lenda, M., *et al.* (2014) Railway Embankments as New Habitat for Pollinators in an Agricultural Landscape. *Plos One*, 9(7): e101297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101297>.

Öckinger, E., Smith, H.G. (2007). Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(1): 50-59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01250.x>

Öckinger, E., Lindborg, R., Sjödin, N.E., *et al.* (2012). Landscape matrix modifies richness of plants and insects in grassland fragments. *Ecography*, 35: 259-267. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06870.x>.

Persson, A.S., Smith, H.G. (2011). Bumblebee colonies produce larger foragers in complex landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 12(8): 695-702. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.002>.

Rollin, O., Pérez-Méndez, N., Bretagnolle, V., *et al.* (2019). Preserving habitat quality at local and landscape scales increases wild bee diversity in intensive farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275: 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.012>.

Rundlöf, M., Nilsson, H., Smith, H.G. (2008). Interacting effects of farming practice and landscape context on bumble bees. *Biological Conservation*, 141(2): 417-426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.011>.

Samnegård, U., Persson, A.S., Smith, H.G. (2011). Gardens benefit bees and enhance pollination in intensively managed farmland. *Biological Conservation*, 144(11): 2602-2606. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.008>.

Sattler, T., Borcard, D., Arlettaz, R., *et al.* (2010). Spider, bee, and bird communities in cities are shaped by environmental control and high stochasticity. *Ecology*, 91(11): 3343-3353. <https://doi.org/10.1890/09-1810.1>

Schaffers, A.P., Raemakers, I.P., Sýkora, K.V., *et al.* (2008). Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition. *Ecology*, 89(3): 782-794. <https://doi.org/10.1890/07-0361.1>.

Sjödin, N.E., Bengtsson, J., Ekbom, B. (2008). The influence of grazing intensity and landscape composition on the diversity and abundance of flower-visiting insects. *Journal of Applied Ecology*, 45(3): 763-772. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01443.x>.

Söderström, B., Svensson, B., Vessby, K. *et al.* (2001). Plants, insects and birds in semi-natural pastures in relation to local habitat and landscape factors. *Biodiversity and Conservation*, 10: 1839–1863. <https://doi.org/10.1023/A:1013153427422>.

Tscheulin, T., Neokosmidis, L., Petanidou, T., *et al.* (2011). Influence of landscape context on the abundance and diversity of bees in Mediterranean olive groves. *Bulletin of Entomological Research*, 101(5): 557–564. <https://doi.org/10.1017/S0007485311000149>.

Vray, S., Rollin, O., Rasmont, P., *et al.* (2019). A century of local changes in bumblebee communities and landscape composition in Belgium. *Journal of Insect Conservation*, 23: 489–501. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00139-9>.

### **CLUSTER 3 (45 itens)**

Aguirre-Gutiérrez, J., Biesmeijer, J.C., van Loon, E.E., *et al.* (2015). Susceptibility of pollinators to ongoing landscape changes depends on landscape history. *Diversity Distribution*, 21(10): 1129–1140. <https://doi.org/10.1111/ddi.12350>.

Basu, P., Parui, A.K., Chatterjee, S., *et al.* (2016). Scale dependent drivers of wild bee diversity in tropical heterogeneous agricultural landscapes. *Ecology and Evolution*, 6(19): 6983–6992. <https://doi.org/10.1002/ece3.2360>.

Bennett, A., Isaacs, R. (2014). Landscape composition influences pollinators and pollination services in perennial biofuel plantings. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 193: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.016>.

Beyer, N., Gabriel, D., Kirsch, F., *et al.* (2020). Functional groups of wild bees respond differently to faba bean *Vicia faba* L. cultivation at landscape scale. *Journal of Applied Ecology*, 57(12): 2499–2508. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13745>.

Boscolo, D., Tokumoto, P.M., Ferreira, P.A., *et al.* (2017). Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1): 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.002>.

Bukovinszky, T., Verheijen, J., Zwerver, S., *et al.* (2017). Exploring the relationships between landscape complexity, wild bee species richness and reproduction, and pollination services along a complexity gradient in the Netherlands. *Biological Conservation*, 214: 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.08.027>.

Carrié, R., Andrieu, E., Cunningham, S.A., *et al.* (2017). Relationships among ecological traits of wild bee communities along gradients of habitat amount and fragmentation. *Ecography*, 40: 85–97. <https://doi.org/10.1111/ecog.02632>.

Cohen, H., Philpott, S.M., Liere, H. *et al.* (2021). The relationship between pollinator community and pollination services is mediated by floral abundance in urban landscapes. *Urban Ecosystems*, 24: 275–290. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01024-z>.

Escobedo-Kenefic, N., Landaverde-González, P., Theodorou, P. *et al.* (2020). Disentangling the effects of local resources, landscape heterogeneity and climatic seasonality on bee diversity and plant-pollinator networks in tropical highlands. *Oecologia*, 194: 333–344. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04715-8>.

- Ferreira, P.A., Boscolo, D., Carvalheiro, L.G. *et al.* (2015). Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. *Landscape Ecology*, 30: 2067–2078. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0231-3>.
- Földesi, R., Kovács-Hostyánszki, A., Kőrösi, Á., *et al.* (2016). Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(1): 68-75. <https://doi.org/10.1111/afe.12135>.
- González-Chaves, A., Jaffé, R., Metzger, J.P. *et al.* (2020). Forest proximity rather than local forest cover affects bee diversity and coffee pollination services. *Landscape Ecology*, 35: 1841–1855. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01061-1>.
- Grab, H., Blitzer, E., Danforth, B. *et al.* (2017). Temporally dependent pollinator competition and facilitation with mass flowering crops affects yield in co-blooming crops. *Scientific Reports*, 7(45296). <https://doi.org/10.1038/srep45296>.
- Grab, H. , Branstetter, M. G., Amon, N., *et al.* (2019). Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science*, 363(6424): 282-284. <https://doi.org/10.1126/science.aat6016>.
- Gutiérrez-Chacón, C., Dormann, C.F., Klein, A.-M. (2018). Forest-edge associated bees benefit from the proportion of tropical forest regardless of its edge length. *Biological Conservation*, 220: 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.02.009>.
- Kallioniemi, E., Åström, J., Rusch, G.M., *et al.* (2017). Local resources, linear elements and mass-flowering crops determine bumblebee occurrences in moderately intensified farmlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239: 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.039>.
- Kammerer, M.A., Biddinger, D.J., Rajotte, E.G., *et al.* (2016). Local Plant Diversity Across Multiple Habitats Supports a Diverse Wild Bee Community in Pennsylvania Apple Orchards. *Environmental Entomology*, 45, (1): 32–38. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv147>.
- Klein, A.-M., Brittain, C., Hendrix, S.D., *et al.* (2012). Wild pollination services to California almond rely on semi-natural habitat. *Journal of Applied Ecology*, 49(3): 723-732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02144.x>.
- Kratschmer, S., Pachinger, B., Schwantzer, M., *et al.* (2018). Tillage intensity or landscape features: What matters most for wild bee diversity in vineyards? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266: 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.018>.
- Kratschmer, S., Pachinger, B., Schwantzer, M., *et al.* (2019). Response of wild bee diversity, abundance, and functional traits to vineyard inter-row management intensity and landscape diversity across Europe. *Ecology and Evolution*, 9(7): 4103–4115. <https://doi.org/10.1002/ece3.5039>.
- Landaverde-González, P., Quezada-Euán, J.J.G., Theodorou, P., *et al.* (2017). Sweat bees on hot chillies: provision of pollination services by native bees in traditional slash-and-burn agriculture in the Yucatán Peninsula of tropical Mexico. *Journal of Applied Ecology*, 54(6): 1814-1824. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12860>.
- Lane, I.G., Herron-Sweet, C.R., Portman, Z.M., *et al.* (2020). Floral resource diversity drives bee community diversity in prairie restorations along an agricultural landscape gradient. *Journal of Applied Ecology*, 57(10): 2010–2018. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13694>.

- Mallinger, R.E., Gibbs, J., Gratton, C. (2016). Diverse landscapes have a higher abundance and species richness of spring wild bees by providing complementary floral resources over bees' foraging periods. *Landscape Ecology*, 31: 1523–1535. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0332-z>.
- Marini, L., Quaranta, M., Fontana, P., *et al.* (2012). Landscape context and elevation affect pollinator communities in intensive apple orchards. *Basic and Applied Ecology*, 13, (8): 681–689. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.09.003>.
- Martins, K.T., Gonzalez, A., Lechowicz, M.J. (2015). Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200: 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.018>.
- Maurer, C., Sutter, L., Martínez-Núñez, C., *et al.* (2022). Different types of semi-natural habitat are required to sustain diverse wild bee communities across agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 59(10): 2604–2615. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14260>.
- Mogren, C. L., Rand, T.A., Fausti, S.W., *et al.* (2016). The Effects of Crop Intensification on the Diversity of Native Pollinator Communities. *Environmental Entomology*, 45(4): 865–872, <https://doi.org/10.1093/ee/nvw066>.
- Morrison, J., Izquierdo, J., Plaza, E.H., *et al.* (2017). The role of field margins in supporting wild bees in Mediterranean cereal agroecosystems: Which biotic and abiotic factors are important? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247: 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.047>.
- Motzke, I., Klein, A.-M., Saleh, S., *et al.* (2016). Habitat management on multiple spatial scales can enhance bee pollination and crop yield in tropical homegardens. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 223: 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.001>.
- Nayak, G. K., Roberts, S.P.M., Garratt, M., *et al.* (2015). Interactive effect of floral abundance and semi-natural habitats on pollinators in field beans (*Vicia faba*). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199: 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.016>.
- Neumüller, U., Burger, H., Krausch, S., *et al.* (2020). Interactions of local habitat type, landscape composition and flower availability moderate wild bee communities. *Landscape Ecology*, 35:2209–2224. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01096-4>.
- Nicholson, C.C., Koh, I., Richardson, L.L., *et al.* (2017). Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 250: 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.030>.
- Pisanty, G., Mandelik, Y. (2015). Profiling crop pollinators: life history traits predict habitat use and crop visitation by Mediterranean wild bees. *Ecological Applications*, 25(3): 742–752. <https://doi.org/10.1890/14-0910.1>.
- Roberts, H.P., King, D.I., Milam, J. (2017). Factors affecting bee communities in forest openings and adjacent mature forest. *Forest Ecology and Management*, 394: 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.027>.
- Ropars, L., Affre, L., Schurr, L., *et al.* (2020). Land cover composition, local plant community composition and honeybee colony density affect wild bee species assemblages in a Mediterranean biodiversity hot-spot. *Acta Oecologica*, 104(103546). <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103546>.

- Roquer-Beni, L., Alins, G., Arnan, X., *et al.* (2021). Management-dependent effects of pollinator functional diversity on apple pollination services: A response–effect trait approach. *Journal of Applied Ecology*, 58(12): 2843–2853. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14022>.
- Russo, L., Park, M., Gibbs, J., *et al.* (2015). The challenge of accurately documenting bee species richness in agroecosystems: bee diversity in eastern apple orchards. *Ecology and Evolution*, 5(17): 3531–3540. <https://doi.org/10.1002/ece3.1582>.
- Samnegård, U., Hambäck, P.A., Eardley, C., *et al.* (2015). Turnover in bee species composition and functional trait distributions between seasons in a tropical agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211: 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.010>.
- Saturni, F.T., Jaffé, R., Metzger, J.P. (2016). Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.008>.
- Shaw, R.F., Phillips, B.B., Doyle, T. *et al.* (2020). Mass-flowering crops have a greater impact than semi-natural habitat on crop pollinators and pollen deposition. *Landscape Ecology*, 35: 513–527. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00962-0>.
- St. Clair, A. L., Zhang, G., Dolezal, A.G., *et al.* (2020). Diversified Farming in a Monoculture Landscape: Effects on Honey Bee Health and Wild Bee Communities. *Environmental Entomology*, 49(3): 753–764. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaa031>.
- Theodorou, P., Albig, K., Radzevičiūtė, R., *et al.* (2017). The structure of flower visitor networks in relation to pollination across an agricultural to urban gradient. *Functional Ecology*, 31(4): 838–847. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12803>.
- Vickruck, J.L., Best, L.R., Gavin, M.P., *et al.* (2019). Pothole wetlands provide reservoir habitat for native bees in prairie croplands. *Biological Conservation*, 232: 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.015>.
- Watson, J.C., Wolf, A.T., Ascher, J.S. (2011). Forested Landscapes Promote Richness and Abundance of Native Bees (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in Wisconsin Apple Orchards. *Environmental Entomology*, 40(3): 621–632. <https://doi.org/10.1603/EN10231>.
- Zou, Y., Bianchi, F.J.J.A., Jauker, F., *et al.* (2017). Landscape effects on pollinator communities and pollination services in small-holder agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246: 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.035>.

#### **CLUSTER 4 (31 itens)**

- Ballare, K.M., Neff, J. L., Ruppel, R., *et al.* (2019). Multi-scalar drivers of biodiversity: local management mediates wild bee community response to regional urbanization. *Ecological Applications*, 29(3): e01869. <https://doi.org/10.1002/eap.1869>.
- Banaszak-Cibicka, W., Żmihorski, M. (2012). Wild bees along an urban gradient: winners and losers. *Journal of Insect Conservation*, 16: 331–343. <https://doi.org/10.1007/s10841-011-9419-2>.
- Banaszak-Cibicka, W., Ratyńska, H., Dylewski, Ł. (2016). Features of urban green space favourable for large and diverse bee populations (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Urban Forestry & Urban Greening*, 20: 448–452. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.015>.

- Bates, A.J., Sadler, J.P., Fairbrass, A.J., *et al.* (2011) Changing Bee and Hoverfly Pollinator Assemblages along an Urban-Rural Gradient. *Plos One*, 6(8): e23459. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023459>.
- Bennett, A.B., Lovell, S. (2019) Landscape and local site variables differentially influence pollinators and pollination services in urban agricultural sites. *Plos One*, 14(2): e0212034. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212034>.
- Braaker, S., Obrist, M.K., Ghazoul, J., *et al.* (2017). Habitat connectivity and local conditions shape taxonomic and functional diversity of arthropods on green roofs. *Journal of Animal Ecology*, 86(3): 521-531. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12648>.
- Brunbjerg, A.K., Hale, J.D., Bates, A.J., *et al.* (2018). Can patterns of urban biodiversity be predicted using simple measures of green infrastructure?. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32: 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.015>.
- Buchholz, S., Gathof, A.K., Grossmann, A.J., *et al.* (2020). Wild bees in urban grasslands: Urbanisation, functional diversity and species traits. *Landscape and Urban Planning*, 196(103731). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103731>.
- Carper, A.L., Adler, L.S., Warren, P.S., *et al.* (2014). Effects of Suburbanization on Forest Bee Communities. *Environmental Entomology*, 43(2): 253–262. <https://doi.org/10.1603/EN13078>.
- Choate, B.A., Hickman, P.L., Moretti, E.A. (2018). Wild bee species abundance and richness across an urban–rural gradient. *Journal of Insect Conservation*, 22: 391–403. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0068-6>.
- Dylewski, Ł., Maćkowiak, L., Banaszak-Cibicka, W. (2020). Linking pollinators and city flora: How vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 56(126795). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126795>.
- Egerer, M., Cecala, J.M., Cohen, H. (2020). Wild Bee Conservation within Urban Gardens and Nurseries: Effects of Local and Landscape Management. *Sustainability*, 12(1): 293. <https://doi.org/10.3390/su12010293>.
- Fischer, L.K., Eichfeld, J., Kowarik, I., *et al.* (2016). Disentangling urban habitat and matrix effects on wild bee species. *PeerJ*, 4:e2729. <https://doi.org/10.7717/peerj.2729>.
- Fortel, L., Henry, M., Guilbaud, L., *et al.* (2014). Decreasing Abundance, Increasing Diversity and Changing Structure of the Wild Bee Community (Hymenoptera: Anthophila) along an Urbanization Gradient. *Plos One*, 9(8): e104679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104679>.
- Geslin, B., Le Féon, V., Folschweiller, M., *et al.* (2016). The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecology and Evolution*, 6(18): 6599-6615. <https://doi.org/10.1002/ece3.2374>.
- Hamblin, A.L., Youngsteadt, E., Frank, S.D. (2018). Wild bee abundance declines with urban warming, regardless of floral density. *Urban Ecosystems*, 21: 419–428. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0731-4>.
- Hennig, E.I., Ghazoul, J. (2012). Pollinating animals in the urban environment. *Urban Ecosystems*, 15: 149–166. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0202-7>.

- Kearns, C.A., Oliveras, D.M. (2009). Environmental factors affecting bee diversity in urban and remote grassland plots in Boulder, Colorado. *Journal of Insect Conservation*, 13: 655–665. <https://doi.org/10.1007/s10841-009-9215-4>.
- Lanner, J., Kratschmer, S., Petrović, B., *et al.* (2020). City dwelling wild bees: how communal gardens promote species richness. *Urban Ecosystems*, 23: 271–288. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00902-5>.
- Muratet, A., Fontaine, B. (2015). Contrasting impacts of pesticides on butterflies and bumblebees in private gardens in France. *Biological Conservation*, 182: 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.045>.
- Pardee, G.L., Philpott, S.M. (2014). Native plants are the bee's knees: local and landscape predictors of bee richness and abundance in backyard gardens. *Urban Ecosystems*, 17: 641–659. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0349-0>.
- Persson, A.S., Ekroos, J., Olsson, P., *et al.* (2020). Wild bees and hoverflies respond differently to urbanisation, human population density and urban form. *Landscape and Urban Planning*, 204(103901). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103901>.
- Plascencia, M., Philpott, S.M. (2017). Floral abundance, richness, and spatial distribution drive urban garden bee communities. *Bulletin of Entomological Research*, 107(5): 658–667. <https://doi.org/10.1017/S0007485317000153>.
- Quistberg, R.D., Bichier, P., Philpott, S.M. (2016). Landscape and Local Correlates of Bee Abundance and Species Richness in Urban Gardens. *Environmental Entomology*, 45(3): 592–601. <https://doi.org/10.1093/ee/nvw025>.
- Sivakoff, F.S.; Prajzner, S.P.; Gardiner, M.M. (2018). Unique Bee Communities within Vacant Lots and Urban Farms Result from Variation in Surrounding Urbanization Intensity. *Sustainability*, 10(6): 1926. <https://doi.org/10.3390/su10061926>.
- Stewart, A.B., Sritongchuay, T., Teartisup, P., *et al.* (2018). Habitat and landscape factors influence pollinators in a tropical megacity, Bangkok, Thailand. *PeerJ*, 6: e5335. <https://doi.org/10.7717/peerj.5335>.
- Theodorou, P., Herbst, S.C., Kahnt, B., *et al.* (2020). Urban fragmentation leads to lower floral diversity, with knock-on impacts on bee biodiversity. *Scientific Reports*, 10(21756). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78736-x>.
- Tonietto, R., Fant, J., Ascher, J., *et al.* (2011). A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning*, 103(1): 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.004>.
- Turo, K.J., Spring, M.R., Sivakoff, F.S., *et al.* (2021). Conservation in post-industrial cities: How does vacant land management and landscape configuration influence urban bees? *Journal of Applied Ecology*, 58(1): 58–69. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13773>.
- Wilson, C.J., Jamieson, M.A. (2019). The effects of urbanization on bee communities depends on floral resource availability and bee functional traits. *Plos One*, 14(12): e0225852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225852>.
- Wojcik, V.A., McBride, J.R. (2012). Common factors influence bee foraging in urban and wildland landscapes. *Urban Ecosystems*, 15:581–598. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0211-6>

**S7.** Identificação das características dos estudos utilizados na análise de acoplamento bibliográfico para verificação da influência intelectual (n=146). Os documentos estão classificados pelo número do agrupamento, zona climática e tipo de análise abordada

| <b>Author</b>                                     | <b>Cluster</b> | <b>Climatic zone</b> | <b>Analysis level</b> |
|---------------------------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------|
| Vray et al.(2019)                                 | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Rollin et al.(2019)                               | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Hardman et al.(2016)                              | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Bourke et al.(2014)                               | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Le Féon et al. (2013)                             | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Jauker et al.(2013)                               | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Tscheulin et al.(2011)                            | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Kovács-Hostyánszki, Batáry and Báldi (2011)       | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Persson and Smith (2011)                          | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Diekötter et al. (2010)                           | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Ahrné, Bengtsson and Elmqvist (2009)              | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Holzschuh, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2008) | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Rundlöf, Nilsson and Smith (2008)                 | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Diekötter, Billeter, and Crist (2008)             | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Hatfield and LeBuhn(2007)                         | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |
| Holzschuh et al.(2007)                            | cluster 1      | temperada            | contexto paisagem     |

|                                        |           |           |                                       |
|----------------------------------------|-----------|-----------|---------------------------------------|
| Morandin et al.(2007)                  | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Hines and Hendrix (2005)               | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Söderström et al.(2001)                | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Kovács-Hostyánszki et al.(2016)        | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Kormann et al. (2015)                  | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Fahrig et al. (2015)                   | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Moron et al. (2014)                    | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Luescher et al.(2014)                  | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Sattler et al. (2010)                  | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Brittain et al. (2010)                 | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Jauker et al. (2009)                   | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Sjödin, Bengtsson and Ekblom<br>(2008) | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Schaffers et al. (2008)                | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Dormann et al.(2007)                   | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Hendrickx et al.(2007)                 | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Kleijn, and van Langevelde<br>(2006)   | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Dauber et al.(2003)                    | cluster 1 | temperada | contexto paisagem                     |
| Jönsson (2015)                         | cluster 1 | temperada | Escala local e con-<br>texto paisagem |
| Öckinger et al. (2012)                 | cluster 1 | temperada | Escala local e con-<br>texto paisagem |

|                                                    |           |           |                                  |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|
| Kehinde and Samways (2012)                         | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Franzén and Nilsson (2008)                         | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Marshall, West and Kleijn (2006)                   | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Hopfenmüller, Steffan-Dewenter and Holzschuh(2014) | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Diaz-Forero et al. (2013)                          | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| McFrederick and LeBuhn(2006)                       | cluster 1 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Albrecht et al. (2010)                             | cluster 1 | temperada | Escala local                     |
| Kohler et al. (2008)                               | cluster 1 | temperada | Escala local                     |
| Öckinger and Smith (2007)                          | cluster 1 | temperada | Escala local                     |
| Samnegård,Persson and Smith (2011)                 | cluster 1 | temperada | Escala local                     |
| Krauss, Alfert and Steffan-Dewenter (2009)         | cluster 1 | temperada | Escala local                     |
| Maurer et al.(2022)                                | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Beyer et al.(2020)                                 | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Neumüller et al.(2020)                             | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Lane et al.(2020)                                  | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| St Clair et al.(2020)                              | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Ropars et al.(2020)                                | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Shaw et al.(2020)                                  | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |
| Kratschmer et al.(2019)                            | cluster 2 | temperada | contexto paisagem                |

|                                      |           |           |                   |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| Grab et al.(2019)                    | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Nicholson et al.(2017)               | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Bukovinszky et al.(2017)             | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Morrison et al.(2017)                | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Kallioniemi et al.(2017)             | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Carrié et al.(2017)                  | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Mallinger, Gibbs, and Gratton(2016)  | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Földesi et al. (2016)                | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Kammerer et al.(2016)                | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Russo et al.(2015)                   | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Martins,Gonzalez and Lechowicz(2015) | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Bennett and Isaacs(2014)             | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Marini et al.(2012)                  | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Watson, Wolf and Ascher(2011)        | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Roquer-Beni et al.(2021)             | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Theodorou et al.(2017)               | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Mogren et al. (2016)                 | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Aguirre-Gutiérrez et al.(2016)       | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |
| Nayak et al.(2015)                   | cluster 2 | temperada | contexto paisagem |

|                                           |           |           |                                  |
|-------------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|
| Klein et al. (2012)                       | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Kratschmer et al.(2018)                   | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Zou et al. (2017)                         | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Roberts et al.(2017)                      | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Grab et al.(2017)                         | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Pisanty and Mandelik (2015)               | cluster 2 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Vickruck et al.(2019)                     | cluster 2 | temperada | Escala local                     |
| Escobedo-Kenefic et al.(2020)             | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Gutiérrez-Chacón, Dorman and Klein (2018) | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Landaverde-González et al.(2017)          | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Boscolo et al. (2017)                     | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Saturni, Jaffé, and Metzger (2016)        | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Basu et al. (2016)                        | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Samnegård et al. (2015)                   | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| Ferreira et al. (2015)                    | cluster 2 | tropical  | contexto paisagem                |
| González-Chaves et al. (2020)             | cluster 2 | tropical  | escala local e contexto paisagem |
| Motzke et al. (2016)                      | cluster 2 | tropical  | escala local e contexto paisagem |
| Theodorou et al.(2020)                    | cluster 3 | temperada | contexto paisagem                |
| Turo et al. (2021)                        | cluster 3 | temperada | contexto paisagem                |

|                                                |           |           |                   |
|------------------------------------------------|-----------|-----------|-------------------|
| Buchholz et al.(2020)                          | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Egerer, Cecala, and Cohen(2020)                | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Wilson and Jamieson (2019)                     | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Bennett and Lovell(2019)                       | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Choate, Hickman and Morretti(2018)             | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Hamblin, Youngsteadt and Frank(2018)           | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Sivakoff, Prajzner and Gardner(2018)           | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Plascencia and Philpott (2017)                 | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Fischer et al.(2016)                           | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Geslin et al. (2016)                           | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Quistberg, Bichier and Philpott (2016)         | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Pardee and Philpott(2014)                      | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Fortel et al.(2014)                            | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Carper et al.(2014)                            | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Tonietto et al.(2011)                          | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Kearns and Oliveras (2009)                     | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Dylewski, Mackowiak and Banaszak-Cibicka(2020) | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Persson et al.(2020)                           | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |
| Brunbjerg et al(2018)                          | cluster 3 | temperada | contexto paisagem |

|                                                |           |           |                                  |
|------------------------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|
| Muratet and Fontaine(2015)                     | cluster 3 | temperada | contexto paisagem                |
| Hennig and Ghazoul(2012)                       | cluster 3 | temperada | contexto paisagem                |
| Bates et al. (2011)                            | cluster 3 | temperada | contexto paisagem                |
| Braaker et al. (2017)                          | cluster 3 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Lanner et al.(2020)                            | cluster 3 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Banaszak-Cibicka,Ratynska, and Dylewski (2016) | cluster 3 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Wojcik and McBride (2012)                      | cluster 3 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Banaszak-Cibicka and Zmi-horski(2012)          | cluster 3 | temperada | Escala local e contexto paisagem |
| Ballare et al. (2019)                          | cluster 3 | tropical  | contexto paisagem                |
| Stewart et al. (2018)                          | cluster 3 | tropical  | escala local e contexto paisagem |
| Wray, Neame and Elle(2014)                     | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Lentini et al.(2012)                           | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Hendrix, Kwaiser and Heard (2010)              | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Taki, Kevan, and Ascher(2007)                  | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Winfree, Griswold, and Kremen (2007)           | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Steffan-Dewenter et al.(2002)                  | cluster 4 | temperada | contexto paisagem                |
| Blaauw and Isaacs(2014)                        | cluster 4 | temperada | Escala local                     |
| Albrecht et al.(2007)                          | cluster 4 | temperada | Escala local                     |
| Steffan-Dewenter and Tschardtke (1999)         | cluster 4 | temperada | Escala local                     |

|                                               |           |          |                                  |
|-----------------------------------------------|-----------|----------|----------------------------------|
| Storck-Tonon et al. (2013)                    | cluster 4 | tropical | contexto paisagem                |
| Brosi (2009)                                  | cluster 4 | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Brosi et al.(2008)                            | cluster 4 | tropical | escala local e contexto paisagem |
| Storck-Tonon and Peres (2017)                 | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Botsch et al. (2017)                          | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Antonini et al.(2013)                         | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Boreux et al. (2013)                          | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Andrade-Silva et al. (2012)                   | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Nemésio and Silveira(2010)                    | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Klein (2009)                                  | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Brosi (2009)                                  | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Ramalho, Gaglianone and de Oliveira(2009)     | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Brosi, Daily and Ehrlich(2007)                | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Klein, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2003) | cluster 4 | tropical | escala local                     |
| Klein, Steffan-Dewenter and Tschardtke (2003) | cluster 4 | tropical | escala local                     |

---

**S8.** Lista de palavras-chave selecionadas para representar sistemas, métricas de paisagem e aspectos da diversidade (n=76), a partir do conjunto de palavras-chave encontradas nos 290 artigos incluídos para essa pesquisa no VOSviewer (n=1275).

| <b>ID</b> | <b>Keywords</b>           | <b>Occurrences</b> | <b>Total Link Strength</b> |
|-----------|---------------------------|--------------------|----------------------------|
| 1         | biodiversity conservation | 120                | 389                        |
| 2         | richness                  | 98                 | 361                        |
| 3         | abundance                 | 95                 | 284                        |
| 4         | agriculture               | 50                 | 146                        |
| 5         | urbanization              | 46                 | 139                        |
| 6         | habitat fragmentation     | 43                 | 146                        |
| 7         | foraging ranges           | 41                 | 138                        |
| 8         | agricultural landscapes   | 40                 | 134                        |
| 9         | semi-natural habitats     | 33                 | 111                        |
| 10        | landscape context         | 32                 | 113                        |
| 11        | crops                     | 25                 | 79                         |
| 12        | agri-environment scheme   | 24                 | 90                         |

|    |                              |    |     |
|----|------------------------------|----|-----|
| 13 | species traits               | 24 | 75  |
| 14 | agricultural intensification | 23 | 106 |
| 15 | landscape heterogeneity      | 23 | 76  |
| 16 | functional diversity         | 19 | 71  |
| 17 | foraging range               | 17 | 61  |
| 18 | agro-ecosystem               | 16 | 39  |
| 19 | landscape composition        | 14 | 58  |
| 20 | body size                    | 13 | 49  |
| 21 | species composition          | 13 | 40  |
| 22 | dispersal                    | 12 | 48  |
| 23 | beta diversity               | 11 | 36  |
| 24 | landscape structure          | 11 | 40  |
| 25 | life history traits          | 11 | 46  |
| 26 | spatial scale                | 11 | 43  |

|    |                          |    |    |
|----|--------------------------|----|----|
| 27 | specialist               | 11 | 33 |
| 28 | habitat quality          | 10 | 40 |
| 29 | habitat loss             | 9  | 28 |
| 30 | landscape complexity     | 9  | 40 |
| 31 | matrix                   | 9  | 39 |
| 32 | connectivity             | 8  | 36 |
| 33 | habitat patches          | 8  | 23 |
| 34 | natural habitats         | 8  | 15 |
| 35 | conventional agriculture | 7  | 25 |
| 36 | organic agriculture      | 7  | 29 |
| 37 | urban agriculture        | 7  | 26 |
| 38 | grazing                  | 6  | 31 |
| 39 | habitat area             | 6  | 25 |
| 40 | landscape configuration  | 6  | 23 |

|    |                        |   |    |
|----|------------------------|---|----|
| 41 | agroforestry           | 5 | 21 |
| 42 | land cover types       | 5 | 21 |
| 43 | urban landscapes       | 5 | 16 |
| 44 | crop diversity         | 4 | 20 |
| 45 | isolation              | 4 | 19 |
| 46 | landscape diversity    | 4 | 22 |
| 47 | urban biodiversity     | 4 | 10 |
| 48 | edge density           | 3 | 18 |
| 49 | functional group       | 3 | 11 |
| 50 | impervious area        | 3 | 11 |
| 51 | local habitat          | 3 | 10 |
| 52 | multiscalar approach   | 3 | 8  |
| 53 | phylogenetic diversity | 3 | 16 |
| 54 | sociality              | 3 | 15 |

|    |                           |   |    |
|----|---------------------------|---|----|
| 55 | agricultural landscapes   | 2 | 8  |
| 56 | alpha-diversity           | 2 | 7  |
| 57 | deforestation             | 2 | 3  |
| 58 | different spatial scales  | 2 | 12 |
| 59 | diversified farming       | 2 | 9  |
| 60 | edge effect               | 2 | 5  |
| 61 | field size                | 2 | 8  |
| 62 | forest cover              | 2 | 7  |
| 63 | habitat amount hypothesis | 2 | 5  |
| 64 | habitat edges             | 2 | 5  |
| 65 | habitat heterogeneity     | 2 | 7  |
| 66 | habitat isolation         | 2 | 6  |
| 67 | island biogeography       | 2 | 6  |
| 68 | nesting behaviours        | 2 | 12 |

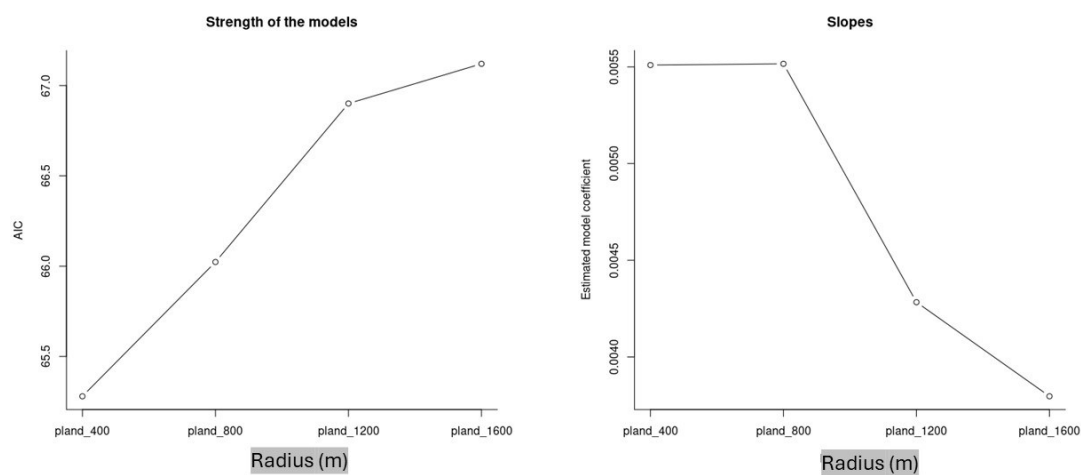
|    |                            |   |    |
|----|----------------------------|---|----|
| 69 | patch size                 | 2 | 4  |
| 70 | proximity                  | 2 | 5  |
| 71 | scale of effect            | 2 | 6  |
| 72 | shade effects              | 2 | 6  |
| 73 | spatial structure          | 2 | 9  |
| 74 | species diversity          | 2 | 11 |
| 75 | species-area relationships | 2 | 15 |
| 76 | tropical agroecosystems    | 2 | 9  |

---

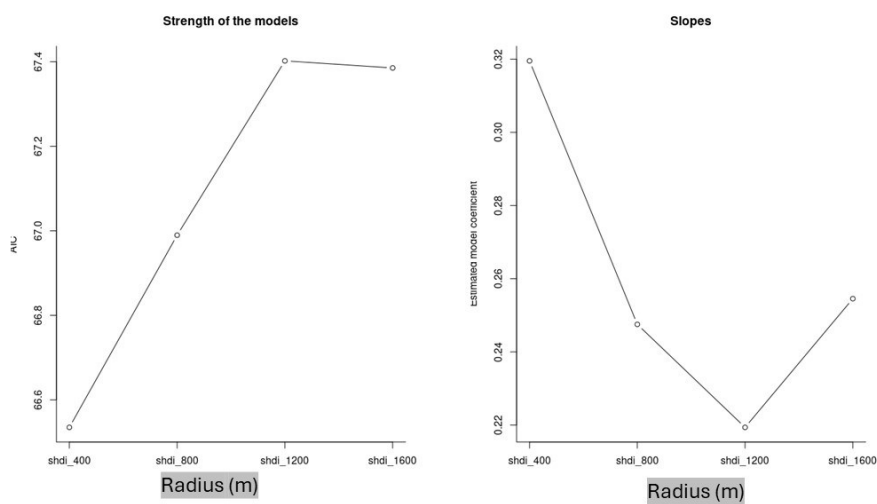
## **MATERIAL SUPLEMENTAR-CAPÍTULO 2**

### **APENDICE S1**

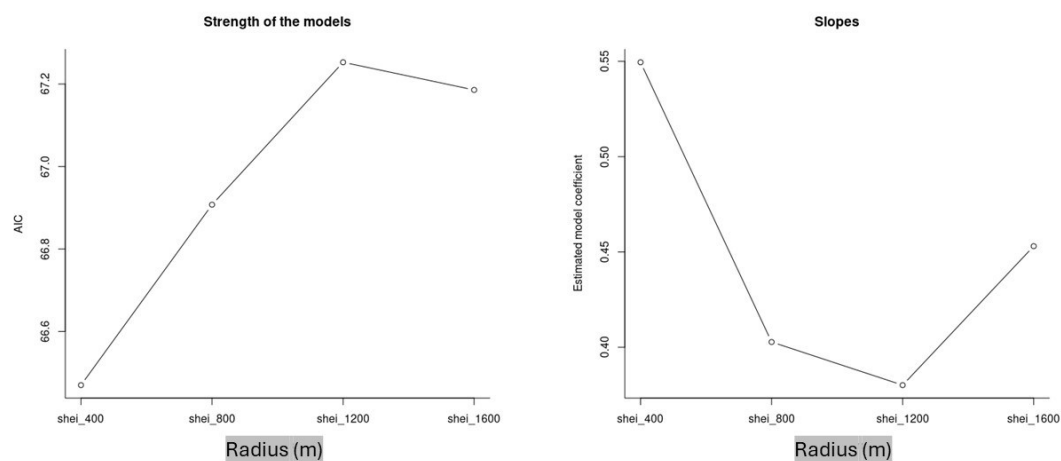
**APÊNDICE S1. Escalas de efeito para aspectos da diversidade de abelhas e variáveis preditoras da paisagem.**



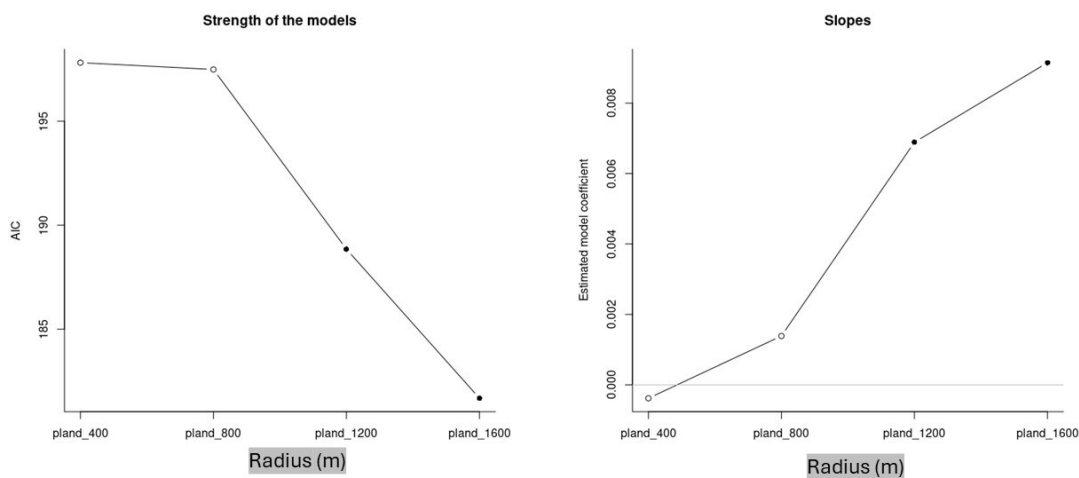
*Figura S1. Escala de Efeito para riqueza de abelhas e proporção de floresta nas paisagens*



*Figura S2. Escala de Efeito para riqueza de abelhas e diversidade de classes (SDHI) nas paisagens*



*Figura S3. Escala de Efeito para riqueza de abelhas e Equitabilidade de classes (SHEI) nas paisagens*



*Figura S4. Escala de Efeito para abundância de abelhas e proporção de floresta nas paisagens*

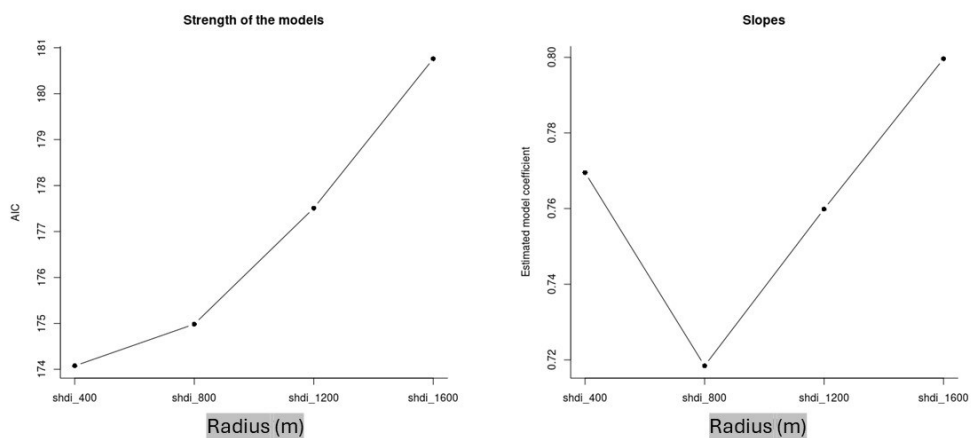


Figura S5. Escala de Efeito para abundância de abelhas e diversidade de classes (SDHI) nas paisagens

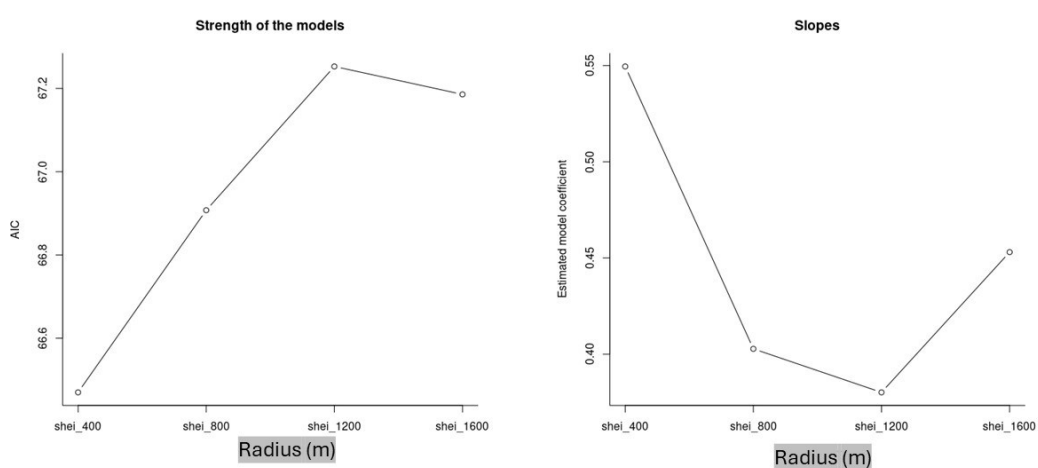


Figura S6. Escala de Efeito para abundância de abelhas e equitabilidade de classes (SHEI) nas paisagens

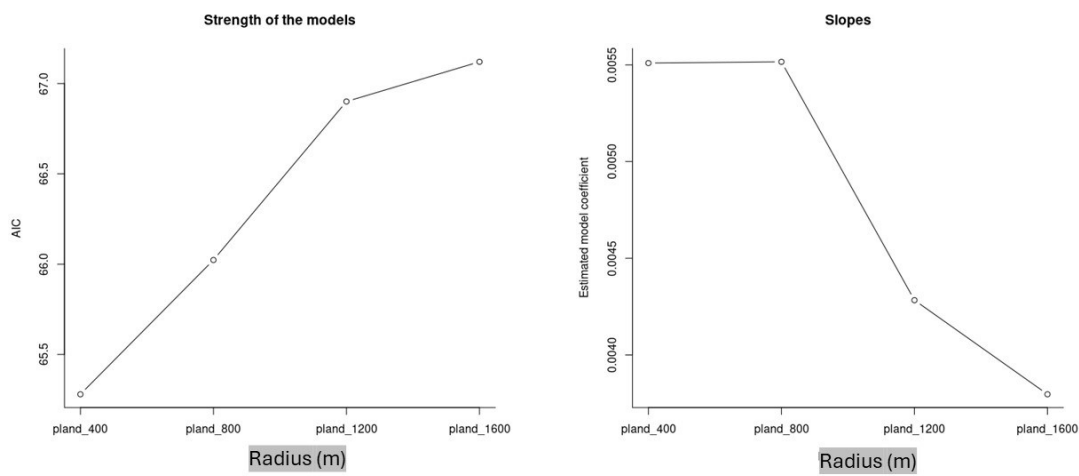


Figura S7. Escala de Efeito para riqueza funcional de abelhas e proporção de floresta nas paisagens

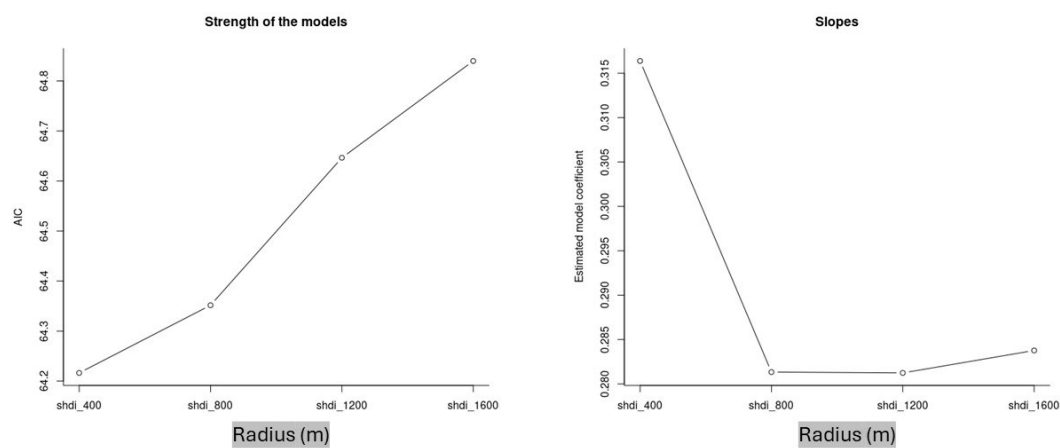


Figura S8. Escala de Efeito para riqueza funcional de abelhas e diversidade de classes (SDHI) nas paisagens

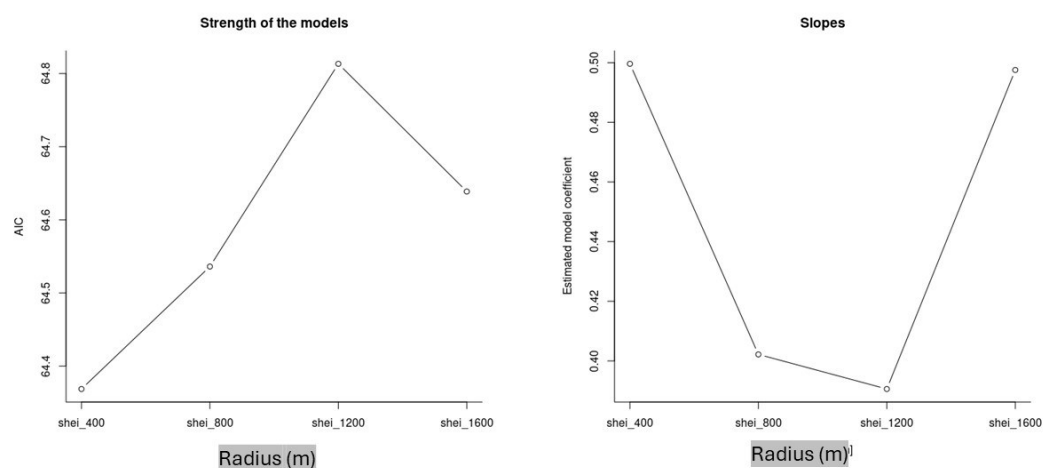


Figura S9. Escala de Efeito para riqueza funcional de abelhas e equitabilidade de classes (SHEI) nas paisagens

### APENDICE S3. Características ecológicas das comunidades de abelhas

| Espécies                  | Tamanho do centroíde | Dist estimada de voo | Sociabilidade    | Posição ninho | Especialização alimentar |
|---------------------------|----------------------|----------------------|------------------|---------------|--------------------------|
| <i>Anthidium sp.1</i>     | 37.424               | 1,713                | solitária        | solo          | polilético               |
| <i>Anthodioctes sp.2</i>  | -                    | -                    | solitária        | solo          | -                        |
| <i>Anthodioctes sp.3</i>  | -                    | -                    | solitária        | solo          | -                        |
| <i>Augochlora sp.1</i>    | -                    | -                    | solitária        | aereo         | polilético               |
| <i>Augochlora sp.2</i>    | 34.752               | 1,221                | solitária        | aereo         | polilético               |
| <i>Augochlora sp.3</i>    | -                    | -                    | solitária        | aereo         | polilético               |
| <i>Augochlorella sp.</i>  | -                    | -                    | solitária        | solo          | polilético               |
| <i>Augochloropsis sp.</i> | -                    | -                    | solitária        | solo          | polilético               |
| <i>Bombus atratus</i>     | 84.577               | 10,398               | social_primitivo | solo          | polilético               |
| <i>Bombus CF morio</i>    | -                    | -                    | social_primitivo | solo          | polilético               |
| <i>Centris sponsa</i>     | 97.759               | 12,826               | solitária        | solo          | oligolético              |
| <i>Centris sp.1</i>       | 45.385               | 3,180                | solitária        | -             | oligolético              |
| <i>Centris sp.2</i>       | 48.728               | 3,796                | solitária        | -             | oligolético              |
| <i>Centris sp.3</i>       | 60.444               | 5,954                | solitária        | solo          | oligolético              |
| <i>Centris sp.4</i>       | -                    | -                    | solitária        | -             | oligolético              |
| <i>Centris sp.5</i>       | 48.562               | 3,765                | solitária        | -             | oligolético              |
| <i>Centris sp.6</i>       | 49.624               | 3,961                | solitária        | -             | oligolético              |
| <i>Centris sp.7</i>       | -                    | -                    | solitária        | solo          | oligolético              |
| <i>Centris sp.8</i>       | -                    | -                    | solitária        | solo          | oligolético              |
| <i>Ceratina sp.1</i>      | -                    | -                    | solitária        | aereo         | polilético               |
| <i>Ceratina sp.2</i>      | 40.331               | 2,249                | solitária        | aéreo         | polilético               |

|                                         |         |        |           |                     |             |
|-----------------------------------------|---------|--------|-----------|---------------------|-------------|
| <i>CF tetrapedia</i>                    | -       | -      | solitária | aereo               | -           |
| <i>CF trigona sp.1</i>                  | 41.210  | 2,411  | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Coelioxys sp.1</i>                   | 46.006  | 3,294  | solitária | cleptopara-<br>sita | -           |
| <i>Colletes sp.</i>                     | 44.179  | 2,958  | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Dialictus sp.</i>                    | 33.441  | 980    | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Eulaema nigrita</i>                  | 110.376 | 15,150 | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Exomalopsis sp.1</i>                 | 35.995  | 1,450  | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Exomalopsis sp.2</i>                 | -       | -      | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Exomalopsis sp.3</i>                 | 36.885  | 1,614  | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Exomalopsis sp.4</i>                 | -       | -      | solitária | solo                | polilético  |
| <i>Florilegus sp.</i>                   | 41.422  | 2,450  | solitária | solo                | -           |
| <i>Friesiomellita sp.</i>               | -       | -      | eussocial | aereo               | -           |
| <i>Hylaeus sp.1</i>                     | -       | -      | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Hylaeus sp.2</i>                     | -       | -      | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Hylaeus sp.3</i>                     | -       | -      | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Megachile sp.1</i>                   | 53.390  | 4,654  | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Megachile sp.2</i>                   | -       | -      | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Megachile sp.3</i>                   | 53.301  | 4,638  | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Megalopta sp.</i>                    | -       | -      | solitária | aereo               | -           |
| <i>Melipona scutellaris</i>             | 54.296  | 4,821  | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Melitoma CF segmenta-<br/>ria</i>    | -       | -      | solitária | aereo               | oligolético |
| <i>Melitoma sp.1</i>                    | -       | -      | solitária | aereo               | oligolético |
| <i>Mesocheira sp.</i>                   | -       | -      | solitária | cleptopara-<br>sita | -           |
| <i>Mesoplia azurea</i>                  | 70.970  | 7,892  | solitária | cleptopara-<br>sita | -           |
| <i>Nanotrigona testacei-<br/>cornis</i> | 24.946  | 585    | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Oxytrigona tataira</i>               | 33.115  | 920    | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Plebeia sp.1</i>                     | -       | -      | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Plebeia sp.2</i>                     | -       | -      | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Tetragonisca angustula</i>           | 22.711  | 996    | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Tetragonisca sp</i>                  | -       | -      | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Trigona fulviventris</i>             | 44.517  | 3,020  | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Trigona spinipes</i>                 | 48.250  | 3,707  | eussocial | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa cearensis</i>               | 95.262  | 12,367 | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa violacea</i>                | 98.849  | 13,027 | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa suspecta</i>                | 138.096 | 20,256 | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa frontalis</i>               | 171.203 | 26,354 | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa grisescens</i>              | -       | -      | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa muscaria</i>                | 82.489  | 10,014 | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa sp.1</i>                    | 69.883  | 7,692  | solitária | aereo               | polilético  |
| <i>Xylocopa sp.3</i>                    | 69.075  | 7,543  | solitária | aereo               | polilético  |

**Tabela S1.** Espécies de abelhas coletadas no Parque Nacional Serra de Itabaiana e entorno, classificadas por atributos funcionais

**APENDICE S4. Abundância das Espécies de Abelhas Coletadas no Parque Nacional Serra de Itabaiana e Entorno por Ponto Amostral e por Método de Coleta**

| Morfoespécie/Espécie                   | Local |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     | Método de Coleta |      |          |
|----------------------------------------|-------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|------|----------|
|                                        | P3    | P6 | P8 | P19 | P22 | P25 | P28 | P29 | P40 | P44 | P47 | P49              | Rede | Pan trap |
| <i>Anthidium sp.1</i>                  |       |    |    |     |     |     | 1   |     |     |     |     | 2                | 3    |          |
| <i>Anthodioctes sp.2</i>               | 1     |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |                  | 1    |          |
| <i>Anthodioctes sp.3</i>               | 1     | 1  | 3  |     | 1   |     |     |     |     |     |     |                  | 4    | 2        |
| <i>Augochlora sp.1</i>                 |       |    |    |     |     |     | 1   |     |     |     |     | 1                | 1    | 1        |
| <i>Augochlora sp.2</i>                 |       |    |    |     |     |     |     |     |     |     | 3   |                  |      | 3        |
| <i>Augochlora sp.3</i>                 |       |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     | 1                |      | 1        |
| <i>Augochlorella sp.</i>               |       |    |    |     | 1   |     | 3   |     |     | 1   |     |                  | 3    | 2        |
| <i>Augochloropsis sp.</i>              |       |    |    |     |     |     | 1   |     |     |     |     |                  | 1    |          |
| <i>Bombus atratus</i> (Franklin, 1913) |       | 2  |    | 9   |     |     | 8   |     |     | 2   | 13  |                  | 33   | 1        |
| <i>Bombus CF morio</i>                 |       | 2  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |                  | 2    |          |
| <i>Centris CF sponsa</i>               |       |    |    |     |     |     |     |     |     | 1   |     | 1                | 2    |          |
| <i>Centris sp.1</i>                    |       | 5  |    |     |     |     |     |     |     |     | 1   |                  | 6    |          |
| <i>Centris sp.2</i>                    |       |    | 1  |     |     | 1   |     | 4   |     |     | 1   | 2                | 9    |          |

|                                           |   |   |   |   |   |    |   |   |        |
|-------------------------------------------|---|---|---|---|---|----|---|---|--------|
| <i>Centris sp.3</i>                       | 1 | 1 | 7 | 5 | 3 | 19 | 5 | 3 | 44     |
| <i>Centris sp.4</i>                       |   |   |   |   |   | 2  |   |   | 2      |
| <i>Centris sp.5</i>                       |   |   |   | 1 |   | 3  | 2 |   | 6      |
| <i>Centris sp.6</i>                       | 2 |   |   |   |   | 5  |   |   | 7      |
| <i>Centris sp.7</i>                       |   |   |   |   |   | 1  |   |   | 1      |
| <i>Centris sp.8</i>                       | 1 |   |   |   |   |    |   |   | 1      |
| <i>Ceratina sp.1</i>                      |   |   |   |   | 1 |    | 1 |   | 2      |
| <i>Ceratina sp.2</i>                      |   |   | 1 | 1 |   |    |   | 1 | 1 2    |
| <i>CF tetrapedia</i>                      | 1 |   |   |   |   |    |   |   | 1      |
| <i>CF trigona sp.1</i>                    |   | 1 |   |   |   | 10 |   |   | 10 1   |
| <i>Coelioxys sp.1</i>                     | 3 | 2 | 1 | 1 |   |    |   |   | 6 1    |
| <i>Colletes sp.</i>                       | 3 | 1 | 1 |   |   |    | 1 | 1 | 1 6    |
| <i>Dialictus sp.</i>                      |   | 1 |   |   |   | 1  |   |   | 2      |
| <i>Eulaema nigrita</i> (Lepeletier, 1841) |   |   |   |   |   |    | 9 |   | 9      |
| <i>Exomalopsis sp.1</i>                   | 1 |   |   | 1 | 3 |    | 9 | 1 | 4 14 5 |
| <i>Exomalopsis sp.2</i>                   |   |   |   |   |   |    | 3 |   | 3 1    |
| <i>Exomalopsis sp.3</i>                   |   |   |   | 1 | 1 |    | 1 | 1 | 4      |
| <i>Exomalopsis sp.4</i>                   | 1 |   |   |   |   |    |   |   | 1      |

|                                                       |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|-------------------------------------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| <i>Florilegus sp.1</i>                                | 17 | 4 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 20 | 1  |    |
| <i>Friesiomellita sp.</i>                             |    |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   | 1  |    |    |
| <i>Hylaeus sp.1</i>                                   |    |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   | 1  |    |    |
| <i>Hylaeus sp.2</i>                                   |    |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   | 1  |    |    |
| <i>Hylaeus sp.3</i>                                   |    |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   | 1  |    |    |
| <i>Megachile sp.1</i>                                 | 1  |   | 1 | 3 | 1 |   |   |   |   |   |   | 6  |    |    |
| <i>Megachile sp.2</i>                                 |    |   |   |   |   | 2 |   |   |   |   |   | 2  |    |    |
| <i>Megachile sp.3</i>                                 | 1  | 2 | 1 |   | 1 |   | 3 |   |   | 2 |   | 10 |    |    |
| <i>Megalopta sp.</i>                                  |    |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   |   |    | 1  |    |
| <i>Melipona scutellares</i> (Latreille, 1811)         |    |   |   |   |   | 6 |   |   | 1 |   |   | 7  |    |    |
| <i>Melitoma CF segmentaria</i>                        | 5  |   | 2 | 2 |   | 1 | 2 | 1 |   |   |   |    | 13 |    |
| <i>Melitoma sp.1</i>                                  |    | 1 | 6 | 4 | 1 | 1 |   | 4 |   | 6 | 1 | 4  | 1  | 27 |
| <i>Mesocheira sp.</i>                                 |    |   |   |   |   |   | 2 |   |   |   |   | 2  |    |    |
| <i>Mesoplia CF azurea</i>                             |    |   |   |   |   |   | 3 |   |   |   |   | 3  |    |    |
| <i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836) |    |   |   |   | 2 |   |   |   |   |   |   | 2  |    |    |
| <i>Oxytrigona tartaira</i>                            | 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 1  |    |
| <i>Plebeia sp.1</i>                                   |    |   |   |   | 4 |   |   |   | 2 | 2 |   | 8  |    |    |
| <i>Plebeia sp.2</i>                                   |    |   |   |   |   | 1 |   |   |   |   |   | 1  |    |    |

|                                                      |   |   |  |   |   |    |   |    |    |   |    |   |     |   |
|------------------------------------------------------|---|---|--|---|---|----|---|----|----|---|----|---|-----|---|
| <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)      |   |   |  |   | 4 |    |   |    | 3  |   | 13 |   | 19  | 1 |
| <i>Tetragonisca sp.</i>                              |   |   |  |   |   |    |   |    |    |   | 1  |   | 1   |   |
| <i>Trigona fulviventris</i> (Guérin-Méneville, 1844) |   |   |  |   | 4 | 1  |   | 2  |    | 8 | 3  |   | 18  |   |
| <i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)            | 1 | 5 |  | 1 | 2 | 10 | 7 | 15 | 50 | 2 | 14 | 1 | 102 | 5 |
| <i>Xylocopa cearenses</i> (Ducke, 1911)              |   |   |  |   |   |    |   |    |    |   | 4  |   | 4   |   |
| <i>Xylocopa CF violacea</i>                          |   |   |  |   | 1 | 1  |   |    |    | 1 | 6  |   | 9   |   |
| <i>Xylocopa CF suspecta</i>                          | 1 |   |  |   | 2 |    |   | 1  |    |   | 1  |   | 5   |   |
| <i>Xylocopa frontalis</i> (Olivier, 1789)            |   |   |  |   | 5 |    |   |    |    |   |    | 3 | 8   |   |
| <i>Xylocopa grisescens</i> (Lepeletier, 1841)        |   |   |  |   |   |    |   |    |    |   | 1  |   | 1   |   |
| <i>Xylocopa muscaria</i> (Fabricius, 1775)           |   |   |  |   |   | 3  |   |    |    |   |    | 1 | 4   |   |
| <i>Xylocopa sp.1</i>                                 |   |   |  |   |   | 1  |   |    |    | 1 | 1  |   | 4   |   |
| <i>Xylocopa sp.3</i>                                 |   |   |  |   |   | 2  |   |    |    |   |    |   | 2   |   |

**Tabela S2.** Abundancia absoluta das espécies encontradas nas 12 paisagens da área de estudo dessa pesquisa.