

DIVERSIDADE DE ABELHAS EM CAFEEIROS (*Coffea arabica* E *Coffea canephora*,
RUBIACEAE) E RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE FRUTOS EM ÁREAS DE CULTIVO
INSERIDAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO SUDESTE DO BRASIL

ANNA PAZINI HAUTEQUESTT

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JUNHO/2023

DIVERSIDADE DE ABELHAS EM CAFEEIROS (*Coffea arabica* E *Coffea canephora*,
RUBIACEAE) E RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE FRUTOS EM ÁREAS DE CULTIVO
INSERIDAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO SUDESTE DO BRASIL

ANNA PAZINI HAUTEQUESTT

Tese apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ecologia e Recursos e Naturais.

Orientadora: Dra. Maria Cristina Gaglianone

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JUNHO/2023

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

H381

Hautequestt, Anna Pazini.

Diversidade de abelhas em cafeeiros (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*, Rubiaceae) e relação com a produção de frutos em áreas de cultivo inseridas no bioma Mata Atlântica no Sudeste do Brasil / Anna Pazini Hautequestt. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

81 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2023.

Orientadora: Maria Cristina Gaglianone.

1. visitantes florais. 2. polinização. 3. frutificação. 4. café. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577

DIVERSIDADE DE ABELHAS EM CAFEEIROS (*Coffea arabica* E *Coffea canephora*,
RUBIACEAE) E RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE FRUTOS EM ÁREAS DE CULTIVO
INSERIDAS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA NO SUDESTE DO BRASIL

ANNA PAZINI HAUTEQUESTT

Tese apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ecologia e Recursos e Naturais.

Aprovada em: 19/06/2023

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARINA WOLOWSKI TORRES**
Data: 12/09/2023 07:46:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Marina Wolowski Torres (Dra. em Botânica) – UNIFAL/MG

Documento assinado digitalmente
 **SOLANGE CRISTINA AUGUSTO**
Data: 13/09/2023 10:21:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Solange Cristina Augusto (Dra. em Entomologia) – UFU

Documento assinado digitalmente
 **WILLIAN MOURA DE AGUIAR**
Data: 11/09/2023 12:19:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. William Moura Aguiar (Dr. em Ecologia e Recursos Naturais) – UEFS

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CRISTINA GAGLIANONE**
Data: 20/09/2023 13:54:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Maria Cristina Gaglianone (Dra. em Entomologia) – UENF
(Orientadora)



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

DECLARAÇÃO

Eu, Marina Satika Suzuki, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), seguindo a Resolução CPPG nº2 de 2021, declaro validadas as assinaturas constantes da Folha de Assinaturas da Dissertação intitulada “**Diversidade de abelhas em cafeeiros (*Coffea arabica* e *Coffea canephora*, Rubiaceae) e relação com a produção de frutos em áreas de cultivo inseridas no bioma Mata Atlântica no Sudeste do Brasil**” de autoria de Anna Pazini Hautequestt, defendida no dia 19 de junho de 2023.

Campos dos Goytacazes, 20 de setembro de 2023

Marina Satika Suzuki
Coordenadora PPG-ERN / UENF
ID. Funcional 641333-1



Documento assinado eletronicamente por **Marina Satika Suzuki, Coordenadora**, em 20/09/2023, às 15:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento nos art. 28º e 29º do [Decreto nº 48.209, de 19 de setembro de 2022](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.rj.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=6, informando o código verificador **60012635** e o código CRC **7992372F**.

Referência: Processo nº SEI-260009/002124/2021

SEI nº 60012635

Avenida Alberto Lamego, 2000, - Bairro Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes/RJ, CEP 28013-602
Telefone: - www.uenf.br

*Aos meus pais, Lúcia e Edson.
Às abelhas, por seu incrível papel na natureza.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) pelo apoio logístico para a realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao CNPq/MCTIC/IBAMA/ABELHA: Projeto “Serviço de polinização nas principais regiões produtoras de café no Brasil: biodiversidade, avaliação bioeconômica e intensificação ecológica”.

À Profa. Maria Cristina Gaglianone pela oportunidade de orientação e aprendizado ao longo de todos esses anos.

Aos professores e membros da banca, Marina Wolowski, Solange Augusto, Willian Aguiar, Wilson Frantine e Ângela Vitória por terem aceitado o convite.

Aos colegas de laboratório que fizeram parte das idas ao campo: Mariana Deprá, Vivian Manhães, Caíque Barcellos, Wilson Frantine, Marcelita Marques e Lázaro Carneiro. Sem vocês esse trabalho não seria possível. E ao Gol KOE 3930 por ter resistido bravamente aos campos.

À Emater e à Secretaria de Agricultura de Varre-Sai/RJ; ao Prof. João Batista Pavesi, ao técnico Eduardo Sudre e à Caparaó Júnior, por todo o apoio durante o projeto.

A todos os produtores que cederam seus plantios ou que ajudaram nas etapas desse estudo: Afonso, Kaká, Euler, Júnior, Carlos Magno, Ricardo Consentino, Niquinho, Vinícius, Borromeu, José Ferreira, Jonas Coqueiro, Lauro Santaroni, Regina Grillo, Saluza Frossard, Isaías, João Abreu, Silvaninho, Júlio Mendonça, José Augusto, Leandro e Duilas. Obrigada por todo o carinho, amizade e aprendizado ao longo de todos esses anos.

Ao Prof. Gabriel Melo, Prof. Rodrigo Gonçalves e Dra. Cindy Celis pela identificação taxonômica das abelhas e Dra. Vanessa Matos pela identificação das plantas.

Ao professor e grande amigo Inácio Pestana pelo auxílio nas análises estatísticas deste estudo e por sempre estar disponível para me ajudar e ensinar.

À Vivian Manhães pelo auxílio durante a montagem, etiquetagem e identificação das abelhas.

À Jennyfer Ribeiro pela ajuda com as fotografias das abelhas em lupa.

Ao Dr. Diego Lacerda pelo auxílio na produção do mapa das áreas de estudo.

À doutora e amiga Marcelita Marques por todos os ensinamentos ao longo de todos esses anos no laboratório, pelas considerações em todos os meus textos e, também pela força e palavras de incentivo quando precisei. Obrigada por tudo!

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida por mais essa conquista. O caminho até aqui não foi fácil e sem o apoio e guia em todos os momentos, eu jamais teria concluído essa etapa.

Aos meus pais, Lúcia Pazini e Edson Hautequestt, por todo o amor, por sempre acreditarem em mim, pela confiança e apoio em toda a minha trajetória acadêmica. Além disso, pelas orações e pela força para chegar até aqui. Essa vitória também é de vocês! Amo vocês!

A toda minha família e amigos que torceram e rezaram por mim, comemorando comigo cada vitória.

Aos amigos, integrantes e ex-integrantes do Grupo de Pesquisa em Ecologia de Abelhas e Polinização, Beatriz Ribeiro, Jennyfer Ribeiro, Jéssica Moraes, Lázaro Carneiro, Marcelita Marques, Mariana Deprá, Sônia Alves, Vanessa Matos, Vivian Manhães e Wilson Frantine pela amizade, aprendizado, ideias e ajuda na realização deste trabalho. Ao colega de laboratório e amigo Caíque Barcellos pelo companheirismo, pela ajuda em todos os momentos, pela força e por não me deixar desistir e, também pelas risadas e momentos de diversão. À Maria de Fátima pelo carinho e pelos cafés nas horas de desespero.

Aos eternos amigos da CBio09, que estando próximos ou não, foram essenciais durante toda a jornada até aqui. Seja pelas mensagens de força e incentivo, por me acalmar nos momentos difíceis e pela paciência ao ouvir meus áudios intermináveis. Obrigada por torcerem por mim sempre e por não me deixar desistir. Amo vocês!

*“There’s no lemon so sour that you can’t make
something resembling lemonade”
(Doctor K, This Is Us – S01E01)*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT.....	xvi
ESTRUTURA DA TESE.....	xvii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVO GERAL.....	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1 – Estrutura da comunidade de abelhas polinizadoras de <i>Coffea arabica</i> e <i>Coffea canephora</i> (Rubiaceae) no sudeste do Brasil	12
RESUMO	12
1.1 – INTRODUÇÃO	12
1.2 – OBJETIVOS	14
1.3 – METODOLOGIA.....	14
1.3.1 - Áreas de estudo	14
1.3.2 - Caracterização da comunidade de polinizadores	16
1.3.3 - Análise de dados	17
1.4 – RESULTADOS	17
1.5 – DISCUSSÃO	25
1.6 – CONCLUSÕES	29
1.7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
CAPÍTULO 2 – Interações entre polinizadores do cafeeiro e plantas no entorno de áreas de cultivo.....	36
RESUMO	36
2.1 – INTRODUÇÃO	36
2.2 – OBJETIVO	38
2.3 – HIPÓTESES.....	38
2.4 – METODOLOGIA.....	38
2.4.1 – Áreas de estudo.....	38
2.4.2 – Identificação de outras fontes de recursos para os polinizadores dos cafeeiros	39
2.4.3 – Interação dos polinizadores dos cafeeiros com plantas do entorno	39
2.4 - Análise de dados	39
2.5 – RESULTADOS	40
2.5.1 – Avaliação dos recursos florais na paisagem de entorno dos plantios de cafeeiros <i>Coffea arabica</i> e <i>Coffea canephora</i>	40
2.5.2 – Estrutura da comunidade de abelhas em flores na paisagem local dos plantios de cafeeiros	42

2.5.3 – Comunidade de abelhas nos cafeeiros e no entorno dos plantios.....	46
2.5.4 - Interações entre abelhas e plantas fontes de recursos no entorno dos plantios de cafeeiros	51
2.6 – DISCUSSÃO	56
2.7 – CONCLUSÕES	59
2.8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPÍTULO 3 – Efeito da diversidade de abelhas na produção e qualidade de frutos de <i>Coffea arabica</i> e <i>Coffea canephora</i>	63
RESUMO	63
3.1 – INTRODUÇÃO	63
3.2 – OBJETIVO	65
3.3 – HIPÓTESES.....	65
3.4 – METODOLOGIA.....	65
3.4.1 – Áreas de estudo.....	65
3.4.2 – Avaliação da frutificação	65
3.4.3 – Avaliação da qualidade dos frutos de <i>C. arabica</i>	67
3.4.4 - Análise de dados	67
3.5 – RESULTADOS	68
3.5.1 – Taxas de frutificação.....	68
3.5.2 – Qualidade dos frutos de <i>C. arabica</i>	71
3.6 – DISCUSSÃO	73
3.7 – CONCLUSÕES	77
3.8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inflorescências (tipo glomérulo) de <i>Coffea arabica</i> (A) e <i>Coffea canephora</i> (B)	3
Figura 1.1 – Localização das 15 áreas de plantio de cafeeiro estudadas (círculos pretos) nos municípios de Espera Feliz/MG e Dores do Rio Preto/ES (A), Castelo/ES (B), Varre-Sai/RJ (C) e Alegre/ES (D)	14
Figura 1.2 – Área de plantio de <i>Coffea arabica</i> localizada no município de Varre-Sai/RJ (A) e área de plantio de <i>Coffea canephora</i> localizada no município de Alegre/ES	15
Figura 1.3 – Amostragem da comunidade de abelhas utilizando rede entomológica ao longo das fileiras dos plantios de café	16
Figura 1.4 – Curvas de rarefação para a riqueza de espécies de abelhas que foram coletadas em áreas de plantios de <i>Coffea arabica</i> localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	21
Figura 1.5 – Curvas de rarefação para a riqueza de espécies de abelhas que foram coletadas em áreas de plantios de <i>Coffea canephora</i> localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	21
Figura 1.6 – Dendrograma de similaridade (Jaccard) na composição das espécies de abelhas coletadas em áreas de plantio de <i>C. arabica</i> (linhas azuis) e <i>C. canephora</i> (linhas vermelhas) localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	22
Figura 1.7 – Espécies de abelhas mais abundantes nas áreas de plantio de café: <i>Apis mellifera</i> (A), <i>Trigona spinipes</i> (B), <i>Schwarziana quadripunctata</i> (C), <i>Oxytrigona tataira</i> (D), <i>Plebeia droryana</i> (E) e <i>Scaptotrigona bipunctata</i> (F). Escala: 2 mm	22
Figura 1.8 – Abundância relativa (%) das abelhas (apresentadas por tribo) nas áreas de plantio de <i>Coffea arabica</i> (AF até JF) e <i>Coffea canephora</i> (SF até LE) estudadas. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	23
Figura 1.9 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de <i>C. arabica</i> localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	24
Figura 1.10 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de <i>C. canephora</i> localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	25
Figura 2.1 – Plantas em florescimento encontradas no entorno dos plantios. A- <i>Bidens pilosa</i> (sp12), B- <i>Conyza</i> sp. (sp14), C- <i>Crepis japonica</i> (sp16), D- <i>Emilia</i> sp. (sp17), E- <i>Gazania rigens</i> (sp18), F- <i>Parthenium</i> sp1 (sp20), G- <i>Tridax procumbens</i> (sp26), H- <i>Commelina</i> sp. (sp36), I- Cucurbitaceae sp. (sp46), J- <i>Euphorbia hirta</i> (sp50), K- <i>Hyptis</i> sp. (sp56), L- <i>Leonurus japonicus</i> (sp58), M- <i>Mesosphaerum</i> sp. (sp59), N- <i>Ocimum basilicum</i> (sp60), O- <i>Oxalis</i> sp1 (sp81), P- <i>Richardia brasiliensis</i> (sp94), Q- <i>Solanum paniculatum</i> (sp97) e R- Não identificada (sp115)	42
Figura 2.2 – Espécies de abelhas mais abundantes nas áreas do entorno dos plantios de café: <i>Apis mellifera</i> (A), <i>Paratrigona subnuda</i> (B), <i>Trigona spinipes</i> (C), <i>Tetragonisca angustula</i> (D), <i>Trigona braueri</i> (E), <i>Augochlora aurinasis</i> (F), <i>Exomalopsis auropilosa</i> (G) e <i>Nannotrigona testaceicornis</i> (H). Escala: 2 mm	46
Figura 2.3 – Relação entre o índice de diversidade de Shannon para a comunidade de abelhas amostradas nas flores do cafeeiro e a riqueza de plantas encontradas no entorno dos plantios. O sombreado azul claro indica intervalo de confiança de 95% da regressão	47
Figura 2.4 – Abundância relativa (%) das tribos de abelhas coletadas nas plantas em florescimento do entorno das áreas de plantio de <i>Coffea arabica</i> (AF até JF) e <i>Coffea canephora</i> (SF até LE) estudadas. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	49

Figura 2.5 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas dentro da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de <i>C. arabica</i> localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	50
Figura 2.6 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas dentro da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de <i>C. canephora</i> localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	51
Figura 2.7 – Rede de interações qualitativas entre abelhas visitantes e plantas em florescimento no entorno de plantios de <i>C. arabica</i> localizados no sul do ES e norte do RJ. Plantas identificadas conforme tabela 2.1	52
Figura 2.8 – Rede de interações qualitativas entre abelhas visitantes e plantas em florescimento no entorno de plantios de <i>C. canephora</i> localizados no sul do ES. Plantas identificadas conforme tabela 2.1	53
Figura 2.9 – Redes de interações qualitativas entre abelhas e plantas em florescimento no entorno de plantios de <i>C. arabica</i> (AF até JF) e <i>C. canephora</i> (SF até LE) localizados no sudeste do Brasil. Plantas identificadas conforme tabela 2.1. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	55
Figura 3.1 – Delimitação da área de contagem dos botões com auxílio de fitas (A), em ramos ensacados (B) e ramos abertos (C) nos indivíduos de <i>Coffea canephora</i>	66
Figura 3.2 – Taxa de frutificação (%) nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de <i>Coffea arabica</i> (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios). *indica diferença significativa entre experimentos dentro do mesmo plantio ($p < 0,05$)	69
Figura 3.3 – Taxa de frutificação (%) nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de <i>Coffea canephora</i> (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os Plantios). *indica diferença significativa entre experimentos dentro do mesmo plantio ($p < 0,05$)	69
Figura 3.4 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e a abundância relativa de abelhas da tribo Meliponini (%) coletadas sobre as flores de <i>Coffea arabica</i> em nove plantios avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão)	70
Figura 3.5 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e a abundância relativa de abelhas da tribo Apini (%) coletadas e, nove plantios de <i>Coffea arabica</i> avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão)	70
Figura 3.6 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e o índice de diversidade de Shannon para a comunidade de abelhas amostradas nas flores de <i>Coffea arabica</i> em oito plantios avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão). A regressão foi realizada sem o plantio CM que foi considerado um outlier. Considerando o outlier, o modelo seria: $Y = 9,13X + 7,38$; $R^2 = 0,21$; $p = 0,22$	71
Figura 3.7 – Peso dos frutos (g) coletados nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de <i>Coffea arabica</i> (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios)	72
Figura 3.8 – Peso dos frutos secos (g), peso dos grãos secos e razão entre peso dos grãos/peso dos frutos coletados nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nas áreas de plantio de <i>Coffea arabica</i> (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios)	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Localização e descrição das áreas de plantio de cafeeiro avaliadas entre 2019 e 2021 no sudeste do Brasil	15
Tabela 1.2 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas entre setembro e novembro de 2019, 2020 e 2021, durante visitas às flores de <i>Coffea arabica</i> , em áreas de plantios localizadas no sudeste do Brasil (espécies marcadas em negrito são comuns às duas espécies de café estudadas). Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	18
Tabela 1.3 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas entre setembro e novembro de 2019, 2020 e 2021, durante visitas às flores de <i>Coffea canephora</i> , em áreas de plantios localizadas no sudeste do Brasil (espécies marcadas em negrito são espécies comuns às duas espécies de café estudadas). Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	20
Tabela 2.1 – Plantas em florescimento no entorno dos plantios de <i>Coffea arabica</i> e <i>Coffea canephora</i> localizados no sudeste do Brasil (¹ Árvore, ² Sub arbusto, ³ Arbusto, ⁴ Liana, ⁵ Trepadeira, ⁶ Erva). Para plantas não identificadas em nível de espécie, estão indicados os hábitos possíveis, de acordo com referências encontradas para o táxon mais próximo	41
Tabela 2.2 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas em espécies em florescimento no entorno de plantios de <i>Coffea arabica</i> (em negrito: espécies coletadas também nas flores do cafeeiro), em período de ausência de flores do cafeeiro. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	43
Tabela 2.3 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas em espécies em florescimento no entorno de plantios de <i>Coffea canephora</i> (em negrito: espécies coletadas também nas flores do cafeeiro), em períodos de ausência de flores do cafeeiro. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	45
Tabela 2.4 – Índice de similaridade de Bray-Curtis (similaridade quantitativa) e de Jaccard (similaridade qualitativa) entre a comunidade de abelhas coletadas em flores do cafeeiro e a comunidade de abelhas coletadas nas plantas em florescimento no entorno dos respectivos plantios. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	48
Tabela 2.5 – Métricas das redes de interações qualitativas (Figura 2.9) entre abelhas e plantas em florescimento no entorno de cada plantio de <i>C. arabica</i> e <i>C. canephora</i> localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)	55

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a diversidade de abelhas polinizadoras dos cafeeiros e avaliar a sua importância na produção de frutos, associando à paisagem em um contexto local. O estudo foi realizado em 15 plantios de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, localizados nos municípios de Varre-Sai (RJ), Alegre, Castelo e Dores do Rio Preto (ES) e Espera Feliz (MG), inseridos no bioma Mata Atlântica. As coletas das abelhas foram feitas com rede entomológica das 7 às 14h, no período de floração, sobre as flores do cafeeiro (set-nov de 2019/20/21) e, na ausência das flores do cafeeiro (fev-mai de 2020/21/22), sobre flores de outras espécies de plantas no entorno dos plantios. Em cada plantio, os botões do cafeeiro em pré-antese foram contados em seis ramos em quatro plantas, em seguida, três ramos foram ensacados (experimento de autopolinização) e três ficaram livres à visitação (polinização aberta). No total, 2903 abelhas (63 espécies) foram coletadas sobre as flores do cafeeiro, sendo 1831 (39 espécies) em *C. arabica* e 1072 (43 espécies) em *C. canephora*. As tribos com maior riqueza e abundância foram Meliponini (25 espécies, 2150 indivíduos) e Apini (*Apis mellifera*, 687 indivíduos). Já no entorno dos plantios, 1567 abelhas (73 espécies) foram coletadas em 134 espécies de plantas, sendo 1268 indivíduos de abelhas (58) no entorno de plantios de *C. arabica* e 297 indivíduos (41) de *C. canephora*. Observou-se que a riqueza de plantas do entorno apresentou uma tendência positiva com a diversidade de abelhas no café. Além disso, 25 espécies de abelhas coletadas em flores de *C. arabica* e 20 em *C. canephora* também foram coletadas nas plantas do entorno, indicando que essas abelhas se mantêm nas áreas de plantio e visitam outras fontes de recursos na ausência da floração do café. Quanto aos frutos de café formados em cada experimento de polinização, observou-se que a taxa de frutificação em *C. arabica* e *C. canephora* foi estatisticamente maior na polinização aberta quando considerados todos os plantios. A taxa de incremento na frutificação de *C. arabica* foi positivamente relacionada com a abundância relativa de abelhas da tribo Meliponini e com a diversidade de abelhas. Esses resultados confirmam a importância dos polinizadores para o aumento da produtividade do cafeeiro. Além disso, os dados também reforçam a importância de se conservar as plantas no entorno dos plantios para a manutenção da comunidade dessas abelhas, principalmente as plantas herbáceas, em ambientes seminaturais inseridos na Mata Atlântica.

Palavras-chave: visitantes florais, polinização, frutificação, café

ABSTRACT

This study aimed to analyze the diversity of pollinating bees of coffee species, their importance in fruit sets, and associate it with the local and landscape context. The study was carried out in 15 crops of *Coffea arabica* and *Coffea canephora* in the Atlantic Forest in the municipalities of Varre-Sai (RJ), Alegre, Castelo, Dores do Rio Preto (ES), and Espera Feliz (MG). During the coffee season flowering, the bees on the coffee flowers were sampled with entomological nets from 7:00 am to 2:00 pm (September-November 2019/2020/2021). In the absence of coffee flowers (February-May 2020/2021/2022), the bees were sampled on flowers of plants surrounding the coffee crops. In each coffee area, the coffee buds in pre-anthesis were counted in six branches in four plants. After, three branches were bagged (self-pollination experiment), and three were open for pollinator visitation (open pollination). There were sampled 2903 bees (63 species) in the coffee flowers, 1831 (39 species) in *C. arabica* crops, and 1072 (43 species) in *C. canephora* areas. Meliponini was the tribe with the highest richness and abundance (25 species, 2150 individuals), followed by Apini (*Apis mellifera*, 687 individuals). There were sampled 1567 bees (73 species) associated with 134 plant species in the areas surrounding the coffee crops, in which 1268 bee individuals (58) were found in the *C. arabica* areas and 297 bee individuals (41) in the *C. canephora*. We observed a positive association of plant richness with the bee diversity sampled in coffee crops. In addition, 25 bee species found in the flowers of *C. arabica* and 20 in *C. canephora* were also sampled on the plants surrounding the coffee crops. This indicates that these bee species remain in these agricultural areas, using other floral resources outside the coffee flowering season. For the coffee set fruits formed in each pollination experiment, it was observed that the fruiting rate in *C. arabica* and *C. canephora* was statistically higher in open pollination in relation to closed pollination. The fruiting rate of *C. arabica* was positively linked to the relative abundance of Meliponini species and bee diversity. These results confirm the bee's importance as pollinators to increase coffee productivity in agricultural landscapes. In addition, this study reinforces the importance of conserving plants such as herbaceous species near coffee crops to maintain the bee communities in human-modified landscapes in the Atlantic Forest.

Keywords: floral visitors, pollination, fruiting, coffee

ESTRUTURA DA TESE

Esta tese apresenta-se organizada em três capítulos. O capítulo 1 “Estrutura da comunidade de abelhas polinizadoras de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (Rubiaceae) no sudeste do Brasil” focado em descrever a comunidade de abelhas que visitam o cafeeiro durante o pico de floração em áreas de plantios situadas em municípios dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais. O capítulo 2 “Interações entre polinizadores do cafeeiro e plantas no entorno de áreas de cultivo” focado em avaliar quem são as abelhas visitantes e quais plantas no entorno dos plantios elas visitam quando o cafeeiro não está em floração. E o capítulo 3 “Efeito da diversidade de abelhas na produção e qualidade de frutos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*” focado em avaliar o papel das abelhas na produção e qualidade dos frutos do cafeeiro através da taxa de frutificação, peso dos frutos e dos grãos.

INTRODUÇÃO GERAL

Importância da biodiversidade de polinizadores

A polinização, transferência do pólen entre as flores das plantas, é um processo essencial para a reprodução de plantas cultivadas e nativas (Rech *et al.*, 2014). Esse serviço ecossistêmico é prestado por diversos agentes polinizadores, principalmente as abelhas, que atuam na polinização de cerca de 80% das plantas em ecossistemas tropicais (Michener, 1974; Kevan & Baker, 1983; BPBES/REBIPP, 2019). Ressalta-se que, mais de 73% das culturas agrícolas mundiais dependem dos animais para a polinização, sendo grande parte realizada pelas abelhas (FAO, 2004; Klein *et al.*, 2007). A importância das abelhas na polinização está relacionada com a sua dependência de recursos florais (como pólen e néctar) para alimentação própria ou da prole, sendo o pólen a sua principal fonte proteica, e com o uso de recursos florais (como óleos e resinas) na construção de seus ninhos (Roubik, 1989; Michener, 2000).

A biodiversidade de abelhas é crucial para a polinização e, conseqüentemente, para produção de frutos, pois as espécies de polinizadores apresentam diversos comportamentos de forrageamento e nidificação e dinâmicas populacionais, associados a diferentes padrões florais morfológicos e fenológicos (Rech *et al.*, 2014). Nesse contexto, a biodiversidade de abelhas pode ser afetada por diversos fatores. A sazonalidade na oferta de recursos florais pode afetar a sobrevivência e reprodução das populações de abelhas que vivem nas áreas cultivadas e naturais, uma vez que algumas plantas apresentam floração restrita a uma determinada época do ano (Guezen & Forrest, 2021). Além disso, nos ambientes agrícolas, onde muitas vezes a maior parte das terras é convertida em grandes monoculturas, tanto abelhas de hábito generalista ou especialista podem ser prejudicadas quanto à disponibilidade e disposição espacial e temporal dos recursos (Williams, 2003; Eckhardt *et al.*, 2014; Kline & Joshi, 2020).

Para a conservação da biodiversidade de abelhas em diferentes ecossistemas é importante compreender a relação da comunidade de abelhas com a heterogeneidade e diversidade das paisagens agrícolas e naturais (Benton *et al.*, 2003; Tscharrntke *et al.*, 2005). As abelhas podem se beneficiar da heterogeneidade dos habitats, já que os recursos de alimentação e nidificação muitas vezes estão em diferentes tipos de habitat (Winfrey *et al.*, 2008). Fragmentos florestais em paisagens agrícolas, por exemplo, podem proporcionar maior heterogeneidade ambiental e, desta forma, manter as comunidades de abelhas polinizadores ao longo do tempo (Tscharrntke *et al.*, 2005).

A descrição da estrutura da comunidade de abelhas, bem como dos fatores que a afetam, podem auxiliar em práticas de manejo e conservação das abelhas em habitats distintos, com intuito de aumentar os serviços ecológicos prestados e a produção de frutos em áreas agrícolas. Neste contexto, cultivos agrícolas de grande importância econômica inseridos em ecossistemas naturais são cenários ideais para a avaliação deste tipo de estudo. Em vista disso, o café é um bom modelo de estudo, pois está entre os três produtos agrícolas de maior valor econômico no Brasil (IBGE, 2021).

Biologia floral do cafeeiro

O café pertence ao gênero *Coffea*, família Rubiaceae, onde se encontram mais de 100 espécies descritas (Davis *et al.*, 2006). Dentre estas, aproximadamente 25 são comercializadas, mas apenas quatro possuem destaque no mercado mundial: *Coffea arabica*, conhecido como café arábica; *Coffea canephora*, conhecido como café robusta ou conilon; *Coffea liberica* Bull ex Hiern. e *Coffea dewevrei* var. *dewevrei* (De Wild. & T. Durand) Lebrun, que produzem o café libérica e o café excelsa, respectivamente, em menor volume comparado às outras espécies (Souza *et al.*, 2004; Ngo *et al.*, 2011). No Brasil, apenas o café arábica e o café robusta possuem importância econômica, começando a produzir após três ou quatro anos de plantio e com cerca de 20 a 30 anos de vida econômica (EPAMIG, 2002).

O café arábica (*C. arabica*) responde por cerca de 70% do café comercializado no mundo. Tem origem nas florestas tropicais da Etiópia e atualmente é cultivado na África, Ásia e no continente americano (Souza *et al.*, 2004). São arbustos, monocaulos, podendo atingir até 4 metros de altura. Suas folhas são verde escuras, ovaladas ou sublanceoladas, com cerca de 10 a 15 cm de comprimento. As flores são hermafroditas, formam inflorescências do tipo glomérulos com conjuntos de 8 a 15 flores (Figura 1A). As flores de *C. arabica* são autógamas e o processo da autofecundação pode atingir até 90% de suas flores (Sakiyama *et al.*, 1999). Contudo, a polinização cruzada realizada por polinizadores pode aumentar a frutificação desta espécie de café em mais de 60% (Roubik, 2002; Ngo *et al.*, 2011; Moreaux *et al.*, 2022).

O café robusta (*C. canephora*) tem sua origem nas florestas baixas da África Equatorial e atualmente é cultivado na África Central e Ocidental, no sudeste da Ásia e na América do Sul (Souza *et al.*, 2004). Esta espécie é mais utilizada em misturas (*blends*) com o café arábica, compondo até 30% do produto final. O café robusta é usado principalmente para cafés solúveis (cafés instantâneos), visto que possui maior teor de sólidos solúveis que o café arábica e apresenta maior rendimento após o processo de

torrefação (Moncada & McCouch, 2004; Souza *et al.*, 2004). Os grãos apresentam mais acidez (Reiger, 2006), com aproximadamente o dobro da quantidade de cafeína por grão (2-3% da massa total do grão) comparado com *C. arabica* (Willson, 1999; DaMatta, 2004).

As plantas de *C. canephora* são arbustos multicaules, com desenvolvimento inicial mais lento do que *C. arabica*, porém quando atingem a maturidade apresentam copas mais desenvolvidas e porte mais elevado (Souza *et al.*, 2004). As flores brancas são maiores do que *C. arabica* e em grande número por inflorescência por axila foliar (Figura 1B). Apresentam reprodução alógama e autoincompatibilidade do tipo gametofítica, sendo a fecundação cruzada o único meio de reprodução da espécie (Souza *et al.*, 2004).

Ainda que as flores de *C. arabica* sejam autocompatíveis e apresentem altas taxas de autopolinização (Carvalho & Krug, 1949), estudos mostraram que a polinização mediada por agentes polinizadores pode aumentar a produção de frutos e que a produção de grãos pode aumentar com a polinização realizada por abelhas, em várias regiões do Brasil (Minas Gerais: De Marco & Coelho, 2004, Saturni *et al.*, 2016; São Paulo: Nogueira Neto *et al.*, 1959, Malerbo-Souza *et al.*, 2003; Bahia: Hipólito *et al.* 2018; Ceará: Carvalho-Neto, 2010) e do mundo (Jamaica: Raw & Free, 1977; Papua Nova Guiné: Willmer & Stone, 1989; Indonésia: Klein *et al.*, 2003a, Klein *et al.*, 2003b; Costa Rica: Ricketts *et al.*, 2004; México: Vergara & Badano, 2009; Índia: Krishnan *et al.*, 2012; Colômbia: Bravo-Monroy *et al.*, 2015).

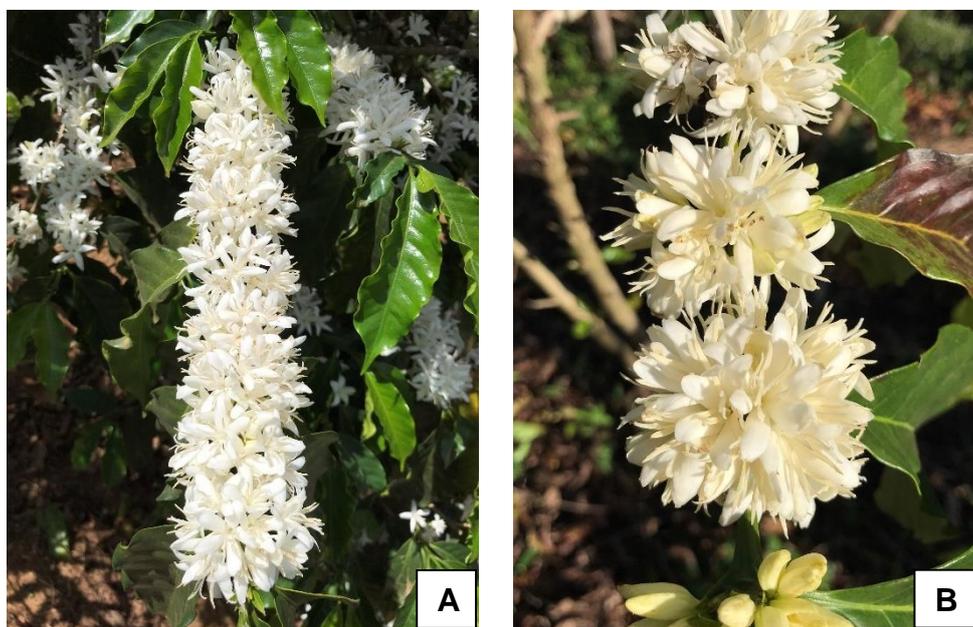


Figura 1 – Inflorescências (tipo glomérulo) de *Coffea arabica* (A) e *Coffea canephora* (B).

Breve histórico e cenário atual da cafeicultura nos estados do ES, RJ e MG

O Brasil destaca-se no mercado mundial de café, uma atividade do setor agrícola essencial para o desenvolvimento socioeconômico do país, sendo o principal produtor e exportador das espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (45 e 22% respectivamente do comércio mundial) (Souza *et al.*, 2004; Ngo *et al.*, 2011; CONAB, 2022). A produção de café no Brasil é liderada pela região sudeste, que reúne os principais estados produtores de café do país: Minas Gerais e Espírito Santo, que contribuem com 43,1% e 32,8% da produção nacional de café, respectivamente (Consórcio Pesquisa Café 2022). Apesar de não ser um grande produtor de café da região sudeste, o estado do Rio de Janeiro desempenhou um papel histórico importante no início da produção de café em larga escala no Brasil.

A cafeicultura no Espírito Santo é uma atividade expressiva, sendo um estado referência na produção do café arábica (*C. arabica*) e do café robusta (*C. canephora*). O estado se mantém como o segundo maior produtor de café no país, alcançando em 2022 uma produção de 16,72 milhões de sacas (cerca de 32,8% da safra total brasileira) (CONAB, 2022). O cultivo de café no ES iniciou-se sob influência do RJ, na metade do século XIX.

O café arábica no ES é conhecido como o café das regiões montanhosas, cultivado em regiões acima de 500m de altitude. Essas áreas eram cobertas originalmente por Florestas Ombrófila Densa e Estacional Semidecidual, onde atualmente restam fragmentos destes tipos florestais (Garbin *et al.*, 2017). O café arábica é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas, que possuem área de 6,4 ha em média (INCAPER, 2023). As pequenas propriedades apresentam um perfil de agricultura familiar, visto que a mão-de-obra que atua nas lavouras reside nas áreas com suas famílias. O Espírito Santo é o terceiro maior produtor de café arábica no Brasil, atingindo a produção de 4,36 milhões de sacas (13% da produção do país), com produtividade média de 30,4 sacas/ha no ano de 2022 (CONAB, 2022).

O café robusta foi introduzido no ES no final da década de 20 (CCCV, 1997). Essa espécie é cultivada em regiões baixas, geralmente abaixo dos 500 m de altitude, onde as temperaturas médias variam entre 22 e 26°C (Ferrão *et al.*, 2007). Atualmente, o cultivo deste café é a principal atividade em mais de 80% dos municípios do estado, correspondendo a 68% da produção do país (CONAB, 2022). A produção se baseia também na agricultura familiar e o cultivo do café robusta (principalmente a variedade “conilon”) é considerada uma importante atividade no contexto social, contribuindo para a

manutenção das pessoas na zona rural. Na safra de 2022, o estado do ES foi responsável pela produção de 12,35 milhões de sacas, com produtividade média de 47,7 sacas/ha (CONAB, 2022).

O ciclo do café no Rio de Janeiro iniciou-se em 1790 (CCCRJ, 2016) e aos poucos, a cafeicultura tornou-se a principal atividade econômica do estado. Atualmente, a cafeicultura do estado é predominantemente do café arábica (com aproximadamente 83% da área plantada) e sua distribuição se concentra nos municípios de Varre-Sai, Porciúncula, Bom Jardim, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jesus do Itabapoana (representando cerca de 96% de toda a área cafeeira do Rio de Janeiro) (Emater, 2020).

A região noroeste do estado é responsável por 81% da produção do café no estado (cerca de 17.036 toneladas), e de acordo com informações da Emater-Rio (Empresa de Assistência Técnica e Extensão), o setor cafeeiro dessa região abrange mais de 2 mil produtores em áreas de aproximadamente 10 mil hectares (Emater, 2020). A agricultura familiar é marcante, visto que a maior parte são de pequenas propriedades. A produção de café nessa região é concentrada nos municípios de Varre-Sai, Porciúncula, Natividade e Bom Jesus do Itabapoana. O município de Varre-Sai é o maior produtor de café do estado, com 9.400 toneladas, 1200 produtores envolvidos no setor, 5.000 ha de área colhida e produtividade média de 31,33 sacas/ha (Emater, 2020). Além disso, o café mais comum nessa região é o arábica e é plantado entre 600 e mil metros de altitude.

O cultivo de café em Minas Gerais remonta ao século XIX, quando as primeiras mudas foram trazidas da Guiana Francesa para a região de Ouro Preto (Carvalho, 2008). A partir daí, o cultivo de café se espalhou rapidamente pelo estado e se tornou a principal atividade econômica de diversas regiões mineiras. A produção de café em Minas Gerais cresceu significativamente ao longo dos anos, e hoje o estado é responsável por cerca de 43,1% da produção nacional de café, sendo o maior produtor do país (Consórcio Pesquisa Café, 2022). As principais regiões produtoras de café no estado de Minas Gerais são a Zona da Mata, sul de Minas e Cerrado Mineiro (CONAB, 2022). O café é uma importante fonte de renda e emprego em Minas Gerais, gerando divisas para o estado e contribuindo para o desenvolvimento econômico e social de diversas regiões mineiras (Gandolfi *et al.*, 2019). Além disso, o café produzido em Minas Gerais é reconhecido pela sua alta qualidade e é exportado para diversos países ao redor do mundo (Consórcio Pesquisa Café, 2022).

Essas áreas eram antes cobertas por vegetação nativa e, para o estabelecimento do cultivo do café, sofreram elevado grau de devastação e degradação dos fragmentos florestais. A agricultura familiar, estrutura mais frequentemente encontrada no cultivo do cafeeiro, possibilita a manutenção de maior heterogeneidade da paisagem, pois muitas

vezes cultivam também outras espécies vegetais para comércio ou subsistência (Schneider & Cassol, 2014). Maior heterogeneidade na paisagem pode propiciar recursos para polinizadores, sendo interessante o estudo das comunidades de abelhas como polinizadoras dos cafeeiros.

Este projeto pretende entender a estrutura das comunidades de abelhas em áreas com cultivo de café e como elas influenciam na produção de frutos através da polinização, e assim propor medidas de manejo de polinizadores que possam ser aplicadas às regiões estudadas. Alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração para a justificativa do trabalho nestas regiões:

- os estados do ES, RJ e MG são representantes relevantes na produção nacional de café e poucos dados estão disponíveis para esses locais;
- as regiões encontram-se dentro do bioma Mata Atlântica na região sudeste, com diversidade de fauna distinta daquela já descrita para outras áreas de café estudadas (no cerrado, por exemplo);
- o manejo de polinizadores como prática no campo vem crescendo e é importante conhecer a fauna local para planejar ações de polinização dirigida, introdução de polinizadores visando ao aumento da biodiversidade nas áreas agrícolas.

Além disso, as diretrizes deste trabalho vão ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU que devem ser implementados até 2030 (ONU, 2017). Um dos objetivos (nº 15) tem como meta “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”. Neste contexto, estudos sobre os polinizadores e medidas para a sua conservação são de extrema relevância.

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é analisar a diversidade de abelhas polinizadoras de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* e avaliar a sua importância na produção de frutos dessas espécies, associando à paisagem em um contexto local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benton, T.G., Vickery, J.A. & Wilson, J.D. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 182–188.
- BPBES/REBIPP. 2019. *Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil*. 1ª edição, São Carlos, SP: Editora Cubo. 184p.
- Bravo-Monroy, L.; Tzanopoulos, J. & Potts, S.G. 2015. Ecological and social drivers of coffee pollination in Santander, Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211: 145–154.
- Carvalho, A. & Krug, C.A. 1949. Biologia da flor do cafeeiro *Coffea arabica* L. *Ciência e Cultura*, 1(1-2): 35–38.
- Carvalho, C.H.S. 2008. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café.
- Carvalho-Neto, F.H. 2010. *Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadoras do café (Coffea arabica L.) ecológico e sombreado no Maciço de Baturité – Ceará*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 67p.
- CCCRJ. 2016. *Centro do Comércio de Café do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://www.cccrj.com.br/rio/producao.htm>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.
- CCCV. 1997. *Centro do Comércio de Café de Vitória*. Disponível em: <<http://www.cccv.org.br/institucional/historia-cafe/>>. Acesso em: 15 de junho de 2019.
- CONAB. 2022. *Companhia Nacional de Abastecimento Café Brasil: Série histórica de produção*. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 21 de março de 2023.
- Consórcio Pesquisa Café. 2022. *Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D/Café. Estatísticas, Exportações e Cotações*. Disponível em: <www.consorciopesquisacafe.com.br>. Acesso em: 13 de abril 2023.
- DaMatta, F.M. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1): 1–6.
- Davis, A.P.; Govaerts, R.; Bridson, D.M. & Stoffelen, P. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152: 465–512.
- De Marco, P.J. & Coelho, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1245–1255.

- Eckhardt, M.; Haider, M.; Dorn, S. & Müller, A. 2014. Pollen mixing in pollen generalist solitary bees: A possible strategy to complement or mitigate unfavourable pollen properties? *Journal of Applied Ecology*, 83(3): 588–597.
- Emater. 2020. *Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<https://www.emater.rj.gov.br/images/municcorr2020.htm>>. Acesso em: 21 de março de 2023.
- EPAMIG. 2002. *Café Orgânico. 23 (24-215). Informe Agropecuário*. Disponível em: <http://www.epamig.br/download/ia_214-215_cafe-organico/>. Acesso em: 21 de março de 2023.
- FAO. 2004. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. pp. 19-25. In: Freitas, B.M. & Pereira, J.O.P. (Eds.). *Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination*. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária Universidade Federal do Ceará, Food and Agriculture Organization. 282p.
- Ferrão, R.G.; Fonseca, A.F.A.; Ferrão, M.A.G.; Bragança, S.M.; Verdin Filho, A.C. & Volpi, P.C. 2007. Cultivares de café conilon. pp. 203–225. In: Ferrão, R.G.; Fonseca, A.F.A.; Bragança, S.M.; Ferrão, M.A.G. & Muner, L.H. (Eds.). *Café Conilon*. Vitória, ES: Incaper.
- Gandolfi, M.R.C.; Jesus, C.M. & Gandolfi, P.E. 2019. Qualidade do Emprego nas Culturas de Café, Cana-de-açúcar e Milho: estudo comparativo 2000/2010 entre mesorregiões de Minas Gerais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57: 63–80.
- Garbin, M.L.; Saiter, F.Z.; Carrijo, T.T. & Peixoto, A.L. 2017. Breve histórico e classificação da vegetação capixaba. *Rodriguésia*, 68(5): 1883–1894.
- Guezen, J.M. & Forrest, J.R.K. 2021. Seasonality of floral resources in relation to bee activity in agroecosystems. *Ecology and Evolution*, 11: 3130–3147.
- Hipólito, J.; Boscolo, D. & Viana, B.F. 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256: 218–225.
- IBGE. 2021. *Estatística: Agricultura, pecuária e outros, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 de abril de 2023.
- INCAPER. 2023. *Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural*. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-arabica>>. Acesso em: 21 de março de 2023.

- Kevan, P.G. & Baker, H.G. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28: 407–53.
- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2003a. Fruit set of Highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270: 955–961.
- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2003b. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90: 153–157.
- Klein, A.M.; Vaissiere, B.E.; Cane, J.H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S.A.; Kremen, C. & Tscharntke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274: 303–313.
- Kline, O. & Joshi, N.K. 2020. Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems. *Agriculture*, 10(115): 1–14.
- Krishnan, S.; Kushalappa, C.G.; Shaanker, R.U. & Ghazoul, J. 2012. Status of pollinators and their efficiency in coffee fruit set in a fragmented landscape mosaic in South India. *Basic and Applied Ecology*, 13: 277–285.
- Malerbo-Souza, D.T.; Nogueira-Couto, R.H.; Couto, L.A. & Souza, J.C. 2003. Atrativos para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 40: 272–278.
- Michener, C.D. 1974. *The social behavior of the bees: a comparative study*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. 404p.
- Michener, C.D. 2000. *The Bees of the World*. Baltimore and London: The John Hopkins University Press. 913p.
- Moncada, P. & McCouch, S. 2004. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid *Coffea* species. *Genome*, 47(3): 501–509.
- Moreaux, C.; Meireles, D.A.L.; Sonne, J.; Badano, E.I.; Classen, A.; González-Chaves, A.; Hipólito, J.; Klein, A.M.; Maruyama, P.K.; Metzger, J.P.; Philpott, S.M.; Rahbek, C.; Saturni, F.T.; Sritongchuay, T.; Tscharntke, T.; Uno, S.; Vergara, C.H.; Viana, B.F.; Strange, N. & Dalsgaard, B. 2022. The value of biotic pollination and dense forest for fruit set of *Arabica* coffee: A global assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 323: 107680.
- Ngo, H.T.; Mojica, A.C. & Packer, L. 2011. Coffee plant – pollinator interactions: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89: 647–660.
- Nogueira-Neto, P.; Carvalho, A. & Antunes, H. 1959. Efeito da exclusão dos insetos polinizadores na produção do café Bourbon. *Bragantia*, 18(29): 441–468.

- ONU. 2017. *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/amp/>>. Acesso em: 18 de junho de 2019.
- Raw, A. & Free, J.B. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honeybees. *Tropical Agriculture*, 54: 365–369.
- Rech, A.R.; Agostini, K.; Oliveira, P.E. & Machado, I.C. 2014. *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. 527p.
- Reiger, M. 2006. Introduction to fruit crops. New York: Hawthorn Press Inc. 520p.
- Ricketts, T.H.; Daily, G.C.; Ehrlich, P.R. & Michener, C.D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 101(34): 12579–12582.
- Roubik, D.W. 1989. *Ecology and natural history of the tropical bees*. London: Cambridge University. 514p.
- Roubik, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417: 708.
- Sakiyama, N.S.; Pereira, A.A. & Zambolim, L. 1999. Melhoria de café arábica. pp. 189–204. *In*: Borém, A. (Ed.). Melhoria de espécies cultivadas. Viçosa: UFV.
- Saturni, F.T.; Jaffé, R. & Metzger, J.P. 2016. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235: 1–12.
- Schneider, S. & Cassol, A. 2014. Diversidade e heterogeneidade da agricultura familiar no Brasil e algumas implicações para políticas públicas. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 31(2): 227–263.
- Souza, F.F.; Santos, J.C.F.; Costa, J.N.M. & Santos, M.M. 2004. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia. Embrapa – Documentos 93. Porto Velho: Embrapa Rondônia. 21p.
- Tscharntke, T.; Klein, A.M.; Kruess, A.; Steffan-Dewenter, I. & Thies, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857–874.
- Vergara, C.H. & Badano, E.I. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: the importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129: 117–123.
- Williams, N.M. 2003. Use of novel pollen species by specialist and generalist solitary bees (Hymenoptera: Megachilidae). *Oecologia*, 134: 228–237.

- Willmer, P.G. & Stone, G.N. 1989. Incidence of entomophilous pollination of lowland coffee (*Coffea canephora*); the role of leaf cutter bees in Papua New Guinea. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 50: 113–124.
- Willson, K.C. 1999. Coffee, cocoa and tea. Cambridge, U.K: CABI Publishing. 304p.
- Winfree, R.; Williams, N.M.; Gaines, H.; Ascher, J.S. & Kremen, C. 2008. Wild bee pollinators provide the majority of crop visitation across land-use gradients in New Jersey and Pennsylvania, USA. *Journal of Applied Ecology*, 45: 793–802.

CAPÍTULO 1 – Estrutura da comunidade de abelhas polinizadoras de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (Rubiaceae) no sudeste do Brasil

RESUMO

O café arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*Coffea canephora*), cultivados no Brasil, são polinizados principalmente pelas abelhas. Sabe-se que, a comunidade de abelhas pode ser influenciada por fatores como disponibilidade de recursos florais utilizados para alimentação e construção de ninhos e de locais adequados de nidificação, dos quais podem diminuir na paisagem frente ao avanço da agricultura e à consequente fragmentação florestal. Desta forma, o objetivo desse capítulo foi caracterizar a comunidade de abelhas em 10 plantios de *C. arabica* e 5 de *C. canephora* nos estados do RJ, ES e MG, inseridos no bioma Mata Atlântica do sudeste do Brasil. A coleta das abelhas foi realizada no período de floração do cafeeiro (setembro-novembro de 2019/20/21), com auxílio de rede entomológica, das 7 às 14h. No total, 2903 abelhas pertencentes a 63 espécies foram coletadas, sendo 1831 indivíduos (39 espécies) em *C. arabica* e 1072 indivíduos (43 espécies) em *C. canephora*. A tribo com maior abundância (2150 indivíduos, 74% do total) e riqueza (25 espécies) foi Meliponini (abelhas sem ferrão). Nessa tribo, *Schwarziana quadripunctata* (326 indivíduos), *Trigona spinipes* (262) e *Plebeia droryana* (171) foram as espécies mais abundantes nos plantios de *C. arabica* e *T. spinipes* (268), *Oxytrigona tataira* (121) e *Scaptotrigona bipunctata* (101) nos plantios de *C. canephora*. A segunda tribo mais abundante foi representada por Apini (*Apis mellifera*), com 687 indivíduos (23,6%). As abelhas sem ferrão e a espécie *A. mellifera* também foram as mais representativas em outros estudos em áreas de cafeeiro, o que reforça a necessidade da conservação desses importantes polinizadores. No geral, a riqueza encontrada neste estudo foi maior do que em outros estudos realizados no Brasil, o que sugere a importância das regiões de estudo como estoques populacionais de abelhas nativas, uma vez que estão inseridas em áreas de cobertura de Mata Atlântica.

1.1 – INTRODUÇÃO

A polinização é um serviço ecossistêmico fundamental para a manutenção da diversidade das plantas, pois promove a reprodução e permite o fluxo gênico entre as espécies vegetais (Rech *et al.*, 2014). Dentre os animais capazes de realizar a polinização, destacam-se as abelhas como os principais polinizadores de cerca de 80% das plantas em ecossistemas tropicais (Kevan & Baker, 1983; Bawa, 1990; BPBES/REBIPP, 2019). Em

relação às plantas cultivadas, onde mais de 73% são polinizadas por animais, a maior parte é realizada também pelas abelhas (FAO, 2004; Klein *et al.*, 2007).

A dependência das abelhas por recursos florais (como pólen e néctar), para alimentação própria ou da prole, caracteriza a importância deste grupo na polinização (Roubik, 1989). Desta forma, parâmetros da comunidade de abelhas, como composição e diversidade, podem ser influenciados pela disponibilidade desses recursos alimentares (Kremen *et al.*, 2007). Outro fator que podem também afetar a estrutura da comunidade de abelhas é a disponibilidade de locais de nidificação em meio às paisagens heterogêneas (Carrié *et al.*, 2018; Ayers & Rehan, 2021). As abelhas apresentam comportamentos distintos de nidificação e podem utilizar diversos materiais para construção de seus ninhos, podendo nidificar no solo, em cavidades preexistentes, em galerias em plantas vivas ou mortas ou expostos em substratos (Michener, 2000).

Com o avanço da agricultura e a consequente fragmentação florestal, a perda de área e de conectividade de habitats naturais pode afetar a estrutura das comunidades biológicas (Liow *et al.*, 2001; Donaldson *et al.*, 2002; Benton *et al.*, 2003; Samejima *et al.*, 2004; Steffan-Dewenter & Westphal, 2008; Haddad *et al.*, 2015; Rybicki *et al.*, 2020). Com essas alterações, a disponibilidade dos recursos alimentares e de locais de nidificação diminui na paisagem, culminando na redução da capacidade de suporte da paisagem e tornando esses ambientes desfavoráveis às populações de abelhas polinizadoras (Chacoff & Aizen, 2006; Ricketts *et al.*, 2008; Winfree *et al.*, 2009; Holzschuh *et al.*, 2010; Potts *et al.*, 2010). Uma vez que a estrutura das comunidades de polinizadores pode sofrer mudanças, a reprodução das plantas consequentemente pode ser afetada, principalmente as que dependem de polinizadores específicos (Aguilar & Galetto, 2004; Rodríguez-Cabal *et al.*, 2007; Williams & Winfree, 2013; Carvalho *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, a diminuição das populações de polinizadores e seus efeitos nos serviços ecológicos prestados nos ecossistemas natural e agrícola tem sido amplamente discutida e, fatores como a perda e fragmentação do habitat, uso excessivo de agrotóxicos, doenças, introdução de espécies exóticas e mudanças climáticas são os principais contribuintes para esse declínio (Abati *et al.*, 2021; Varassin *et al.*, 2021; El-Seed *et al.*, 2022; Mull *et al.*, 2022). Dessa forma, estudos a fim de conhecer a comunidade de polinizadores de um importante sistema agrícola em meio a um ecossistema natural possibilitam traçar estratégias de conservação e manejo para manter esses polinizadores nas áreas e garantir o serviço de polinização para plantas cultivadas e nativas.

1.2 – OBJETIVOS

Caracterizar a comunidade de abelhas polinizadoras em plantios de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* em áreas de domínio de Mata Atlântica na região sudeste do Brasil, quanto aos parâmetros ecológicos de abundância, riqueza e diversidade.

1.3 – METODOLOGIA

1.3.1 - Áreas de estudo

O estudo abrangeu 15 áreas de cultivo de café. Dez delas com cultivo de *Coffea arabica* localizadas nos municípios de: Varre-Sai no noroeste do estado do Rio de Janeiro; Dolores do Rio Preto (distrito Pedra Menina) ao sul da região do Parque Nacional do Caparaó no estado do Espírito Santo; e Espera Feliz na Zona da Mata de Minas Gerais (Tabela 1.1; Figura 1.1 e 1.2A). Além disso, foram também estudadas cinco áreas de cultivo de *Coffea canephora*, localizadas nos municípios de Alegre e Castelo, no sul do estado do Espírito Santo (Tabela 1; Figura 1.1 e 1.2B). Todas as áreas apresentavam manejo convencional no cultivo do café e distância mínima de 300 m entre essas áreas.

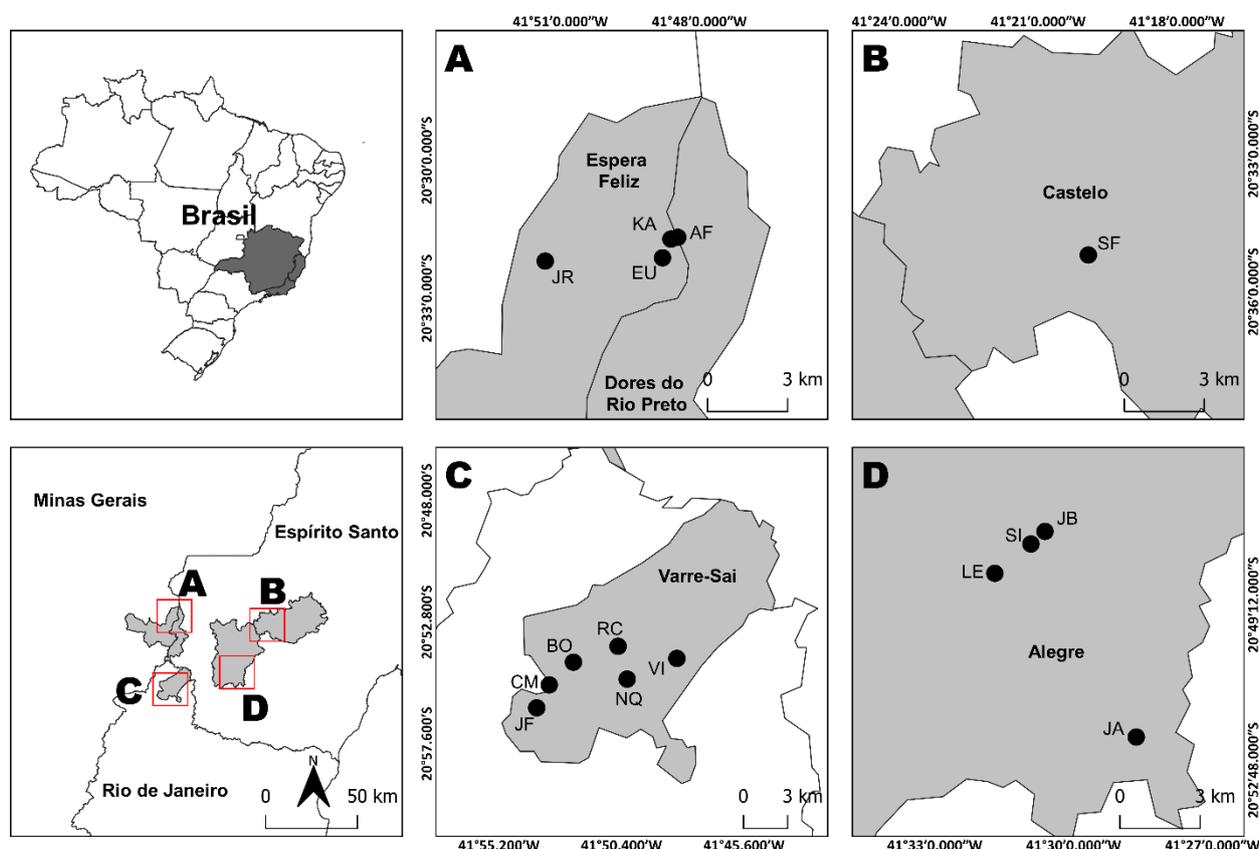


Figura 1.1 – Localização das 15 áreas de plantio de cafeeiro estudadas (círculos pretos) nos municípios de Espera Feliz/MG e Dolores do Rio Preto/ES (A), Castelo/ES (B), Varre-Sai/RJ (C) e Alegre/ES (D).



Figura 1.2 – Área de plantio de *Coffea arabica* localizada no município de Varre-Sai/RJ (A) e área de plantio de *Coffea canephora* localizada no município de Alegre/ES.

Tabela 1.1 – Localização e descrição das áreas de plantio de cafeeiro avaliadas entre 2019 e 2021 no sudeste do Brasil

Plantio	Município/Estado	Espécie cultivada	Área plantada	Localização geográfica
AF	Dores do Rio Preto/ES	<i>Coffea arabica</i>	6ha	20°31'40,4"S 41°48'28,1"W
KA	Espera Feliz/MG	<i>Coffea arabica</i>	6ha	20°31'42,8"S 41°48'36,9"W
EU	Espera Feliz/MG	<i>Coffea arabica</i>	Não estimada	20°32'07,2"S 41°48'47,8"W
JR	Espera Feliz/MG	<i>Coffea arabica</i>	3ha	20°32'11,5"S 41°51'19,8"W
CM	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	1,5ha	20°55'16,6"S 41°53'14,1"W
RC	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	13ha	20°53'45,3"S 41°50'32,3"W
NQ	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	4,8ha	20°55'03"S 41°50'11"W
VI	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	2ha	20°54'14"S 41°48'14"W
BO	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	15ha	20°54'23,0"S 41°52'17,2"W
JF	Varre-Sai/RJ	<i>Coffea arabica</i>	177,6ha	20°56'11"S 41°53'43,6"W
SF	Castelo/ES	<i>Coffea canephora</i>	30ha	20°35'12,0"S 41°19'55,1"W
JA	Alegre/ES	<i>Coffea canephora</i>	3ha	20°52'04,8"S 41°28'39,0"W
SI	Alegre/ES	<i>Coffea canephora</i>	1,5ha	20°47'52,8"S 41°30'55,5"W
JB	Alegre/ES	<i>Coffea canephora</i>	2ha	20°47'36,4"S 41°30'37,3"W
LE	Alegre/ES	<i>Coffea canephora</i>	2,5ha	20°48'31,1"S 41°31'42,3"W

1.3.2 - Caracterização da comunidade de polinizadores

A amostragem dos visitantes florais foi realizada durante o período de florescimento das espécies estudadas (setembro a novembro) nos anos de 2019, 2020 e 2021. Em cada plantio foi realizado um dia de amostragem, que corresponde a 7 h de esforço amostral. As coletas dos visitantes florais foram realizadas com auxílio de rede entomológica (21 cm de diâmetro) por dois coletores, ao longo das fileiras em cada plantio, nos horários de maior atividade das abelhas e receptividade estigmática das flores, entre 7 e 14 h (Figura 1.3, observações prévias). A cada hora foram realizadas três sessões de coleta de 15 min, ao longo das fileiras dos plantios.



Figura 1.3 – Amostragem da comunidade de abelhas utilizando rede entomológica ao longo das fileiras dos plantios de café.

Os visitantes florais foram capturados assim que pousavam nas flores, mortos em frascos tipo *ependorf* contendo acetato de etila e mantidos armazenados individualmente nos mesmos frascos para que não houvesse contaminação do pólen entre os indivíduos. Em laboratório, todos os visitantes foram montados, etiquetados e identificados com auxílio de chaves taxonômicas, comparados com material de referência, e analisados por especialistas da Universidade Federal do Paraná (Prof. Gabriel Augusto Rodrigues de Melo, Prof. Rodrigo Barbosa Gonçalves, Dra. Cindy Julieth Celis Borda). Após a identificação, todos foram depositados na Coleção de Abelhas do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF.

Para a caracterização abiótica dos pontos amostrais, a temperatura e umidade relativa do ar foram aferidas com termohigrômetro, em valores mínimos e máximos durante o período de amostragem, em cada dia de coleta.

1.3.3 - Análise de dados

A estrutura das comunidades de abelhas polinizadoras do cafeeiro foi descrita através dos seguintes parâmetros ecológicos: abundância (n), riqueza (S), composição de espécies, diversidade (H'), equitabilidade (J) e similaridade qualitativa.

A diversidade de abelhas em cada área foi calculada a partir do índice de Shannon-Wiener ($H' = \sum -p_i \cdot \log p_i$, onde p_i = proporção de indivíduos amostrados pela espécie i e \ln = logaritmo neperiano) (Magurran, 2004). A equitabilidade de Pielou ($J = H'/\log S$, onde H' = índice de Shannon e S = riqueza de abelhas coletadas), derivada do índice de Shannon, permite representar a uniformidade da distribuição das espécies de abelhas coletadas nos diferentes plantios (amplitude de 0 a 1) (Pielou, 1966). O dendrograma de similaridade de Jaccard entre as áreas de plantios levou em consideração a composição das espécies de abelhas coletadas em cada área de plantio. Para o cálculo dos índices de diversidade e equitabilidade e a construção do dendrograma de similaridade foi utilizado o programa PAST versão 2.14 (Hammer *et al.*, 2001).

Curvas de rarefação foram calculadas para comparar a riqueza de espécies entre as áreas amostradas, através de 1000 aleatorizações dos dados amostrados. Essas curvas foram calculadas com auxílio do programa Past versão 2.14 (Hammer *et al.*, 2001) e o gráfico construído no Excel.

1.4 – RESULTADOS

No total, 2903 abelhas pertencentes a 63 espécies foram coletadas nas flores de cafeeiro, compreendendo três subfamílias e 14 tribos (Tabelas 1.2 e 1.3). A subfamília com maior riqueza foi Apinae, com 45 espécies, seguida de Halictinae com 17 e Andreninae com uma espécie somente. As tribos com maior riqueza e abundância de indivíduos foram Meliponini (25 espécies e 2150 indivíduos) e Apini (1 e 687).

Nas 10 áreas de plantio de *Coffea arabica* foram coletados 1831 indivíduos e 39 espécies de abelhas, sendo 22 espécies pertencentes à tribo Meliponini (Tabela 1.2). As espécies com maior abundância nas áreas de *C. arabica* foram *Apis mellifera* (354 indivíduos), *Schwarziana quadripunctata* (326), *Trigona spinipes* (262) e *Plebeia droryana* (171) (Figuras 1.7A, C, B e E, respectivamente). Os plantios com maior abundância de

indivíduos foram RC com 497 abelhas, JR com 245 e KA com 192. A riqueza variou de 5 a 21 espécies nos plantios, e os plantios com maior riqueza foram RC com 21 espécies, JF com 17 e VI com 14. A diversidade de Shannon foi maior nos plantios RC e NQ (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas entre setembro e novembro de 2019, 2020 e 2021, durante visitas às flores de *Coffea arabica*, em áreas de plantios localizadas no sudeste do Brasil (espécies marcadas em negrito são comuns às duas espécies de café estudadas). Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

Tribo	Espécie	<i>Coffea arabica</i>									
		AF	KA	EU	JR	CM	RC	NQ	VI	BO	JF
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	58	83	44	45	6	17	10	7	26	58
Eucerini	<i>Thygater palliventris</i> (Friese, 1908)										1
Exomalopsini	<i>Exomalopsis fernandoi</i> Moure, 1990		1								
	<i>Exomalopsis</i> sp			1							
Tapinotaspidini	<i>Trigonopedia</i> sp		1								
Tetrapediini	<i>Tetrapedia diversipes</i> Klug, 1810										1
Meliponini	<i>Friesella schrottkyi</i> (Friese, 1900)						29				
	<i>Melipona bicolor</i> Lepeletier, 1836				2						
	<i>Melipona quadrifasciata</i> Lepeletier, 1836		4		4		1		1		3
	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836)	1			3	3	22	1	8	2	
	<i>Oxytrigona tataira</i> (Smith, 1863)					133			1	16	
	<i>Paratrigona subnuda</i> Moure, 1947	10	7	3	5		63				15
	<i>Partamona criptica</i> Pedro & Camargo, 2003		6								
	<i>Partamona helleri</i> (Friese, 1900)					2	1			2	3
	<i>Plebeia droryana</i> (Friese, 1900)	1					138	16	13	2	1
	<i>Plebeia lucii</i> Moure, 2004						15				
	<i>Plebeia phrynostoma</i> Moure, 2004						41	14	1		
	<i>Plebeia remota</i> (Holmberg, 1903)		4		19		59	12	7	1	3
	<i>Plebeia</i> sp	7									
	<i>Scaptotrigona bipunctata</i> (Lepeletier, 1836)		17		22						
	<i>Scaptotrigona xanthotricha</i> Moure, 1950						2	11			2
	<i>Scaptotrigona</i> sp							3		1	
	<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier, 1836)	76	53	24	44	1	23	6		62	37
	<i>Tetragona clavipes</i> (Fabricius, 1804)								3		2
	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)		1			7	25	6	19	1	12
	<i>Trigona braueri</i> Friese, 1900						1		1		3
	<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900							17	5		1
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	9	15	7	100	14	53	12	41	10	1	
<i>Meliponini</i> sp	2			1		2					
Ceratinini	<i>Ceratina (Crewella)</i> sp1										1
Xylocopini	<i>Xylocopa nigrocincta</i> Smith, 1854								1		
Augochlorini	<i>Augochlora foxiana</i> Cockerell, 1900									1	
	<i>Augochlora laeovicarinata</i> Lepeco & Gonçalves, 2020										1
	<i>Augochlora</i> sp						1				
	<i>Augochloropsis patens</i> (Vachal, 1903)						1				
Halictini	<i>Dialictus</i> sp1						1				
	<i>Dialictus</i> sp2								2		
	<i>Dialictus</i> sp3						1				
	<i>Dialictus</i> sp5						1				
	Não identificado	1									
TOTAL		165	192	79	245	166	497	108	110	124	145
Riqueza (S)		8	11	5	10	7	21	11	14	11	17
Diversidade (H')		1,32	1,63	1,10	1,68	0,81	2,29	2,29	2,04	1,53	1,89
Equitabilidade (J)		0,63	0,67	0,68	0,72	0,41	0,75	0,95	0,77	0,64	0,66

Já nas cinco áreas de *Coffea canephora* foram coletados 1072 indivíduos de 43 espécies, sendo 17 pertencentes a tribo Meliponini e 10 espécies da tribo Augochlorini (Tabela 1.3). As espécies com maior abundância nas áreas foram *A. mellifera* (333 indivíduos), seguida de *T. spinipes* (268), *Oxytrigona tataira* (121) e *Scaptotrigona bipunctata* (101) (Figura 1.7A, B, D e F, respectivamente). Os plantios com maior abundância de indivíduos foram JA e LE com 504 e 256 abelhas, respectivamente. A riqueza variou de 6 a 20 espécies por plantio, e os plantios com maior riqueza foram JB com 20 espécies e LE com 18. A diversidade de Shannon foi maior no plantio JA (Tabela 1.3).

Dentre as espécies amostradas, 19 foram exclusivas nas flores de *C. arabica* e 25 nas flores de *C. canephora*. As curvas de rarefação com base na riqueza de espécies, em função da abundância nas áreas de plantio de café arábica e café conilon, apresentaram em sua maioria um perfil ascendente (Figura 1.4 e 1.5), com tendência à estabilização nos plantios de arábica NQ, JR e CM e o plantio de conilon JA. Comparando a curva de riqueza entre as áreas estudadas, com base em uma mesma abundância observada entre todos os plantios em cada espécie de café, percebe-se que a riqueza dos plantios JF (arábica) e JA (conilon) foi significativamente superior à riqueza encontrada nos demais plantios de café avaliados (Figura 1.4 e 1.5).

Tabela 1.3 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas entre setembro e novembro de 2019, 2020 e 2021, durante visitas às flores de *Coffea canephora*, em áreas de plantios localizadas no sudeste do Brasil (espécies marcadas em negrito são espécies comuns às duas espécies de café estudadas). Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

Tribo	Espécie	<i>Coffea canephora</i>					
		SF	JA	SI	JB	LE	
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	23	21	61	142	86	
Centridini	<i>Centris (Centris) nitens</i> Lepeletier, 1841				2		
	<i>Centris (Centris) varia</i> (Erichson, 1849)				1		
	<i>Centris (Centris) sp1</i>				2		
	<i>Centris (Hemisiella) tarsata</i> Smith, 1874				2		
	<i>Centris (Heterocentris) sp1</i>				1		
Ericrocidini	<i>Mesoplia rufipes</i> (Perty, 1833)				2		
Euglossini	<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier, 1841				1		
Exomalopsini	<i>Exomalopsis analis</i> Spinola, 1853				2		
	<i>Exomalopsis auropilosa</i> Spinola, 1853	1		1			
Meliponini	<i>Cephalotrigona capitata</i> (Smith, 1854)		18			1	
	<i>Friesella schrottkyi</i> (Friese, 1900)		4			1	
	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836)		16			1	
	<i>Oxytrigona tataira</i> (Smith, 1863)		121				
	<i>Paratrigona subnuda</i> Moure, 1947		29				
	<i>Partamona helleri</i> (Friese, 1900)		2		1		
	<i>Partamona sooretamae</i> Pedro & Camargo, 2003		3				
	<i>Plebeia droryana</i> (Friese, 1900)		9	2	1	10	
	<i>Plebeia lucii</i> Moure, 2004		5		1		
	<i>Plebeia phrynostoma</i> Moure, 2004		3				
	<i>Plebeia remota</i> (Holmberg, 1903)		1				
	<i>Scaptotrigona bipunctata</i> (Lepeletier, 1836)		101				
	<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier, 1836)		35			17	
	<i>Tetragona clavipes</i> (Fabricius, 1804)	2				15	
	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	1	19			1	
	<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900					2	
	<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	23	117	8	10	110	
	Xylocopini	<i>Xylocopa frontalis</i> (Olivier, 1789)				3	1
		<i>Xylocopa muscaria</i> (Fabricius, 1775)				1	
		<i>Xylocopa nigrocincta</i> Smith, 1854				2	
<i>Xylocopa sp</i>				1			
Oxaeini	<i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807					1	
Augochlorini	<i>Augochlora aurinasis</i> (Vachal, 1911)			1	4		
	<i>Augochlora tenax</i> Lepeco & Gonçalves, 2020			1			
	<i>Augochlorella urania</i> (Smith, 1853)			1			
	<i>Augochloropsis calypso</i> (Smith, 1879)	1				1	
	<i>Augochloropsis illustris</i> (Vachal, 1903)					1	
	<i>Augochloropsis patens</i> (Vachal, 1903)					3	
	<i>Augochloropsis (Augochloropsis) sp</i>					1	
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) sp1</i>				1		
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) sp3</i>					1	
<i>Pereirapis semiaurata</i> (Spinola, 1853)				1			
Halictini	<i>Dialictus sp1</i>			2	2	3	
	Não identificado	1					
	TOTAL	52	504	78	182	256	
	Riqueza (S)	6	16	9	20	18	
	Diversidade (H')	1,12	2,10	0,94	1,16	1,59	
	Equitabilidade (J)	0,62	0,75	0,42	0,38	0,55	

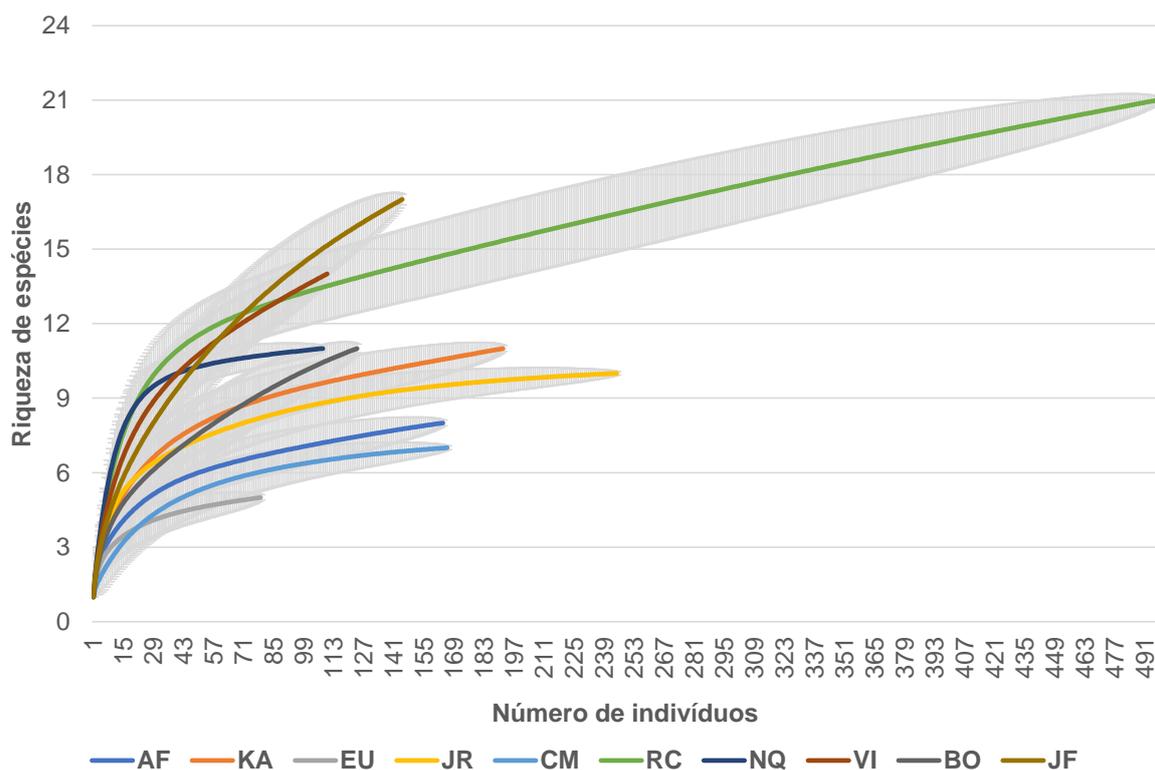


Figura 1.4 – Curvas de rarefação para a riqueza de espécies de abelhas que foram coletadas em áreas de plantios de *Coffea arabica* localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

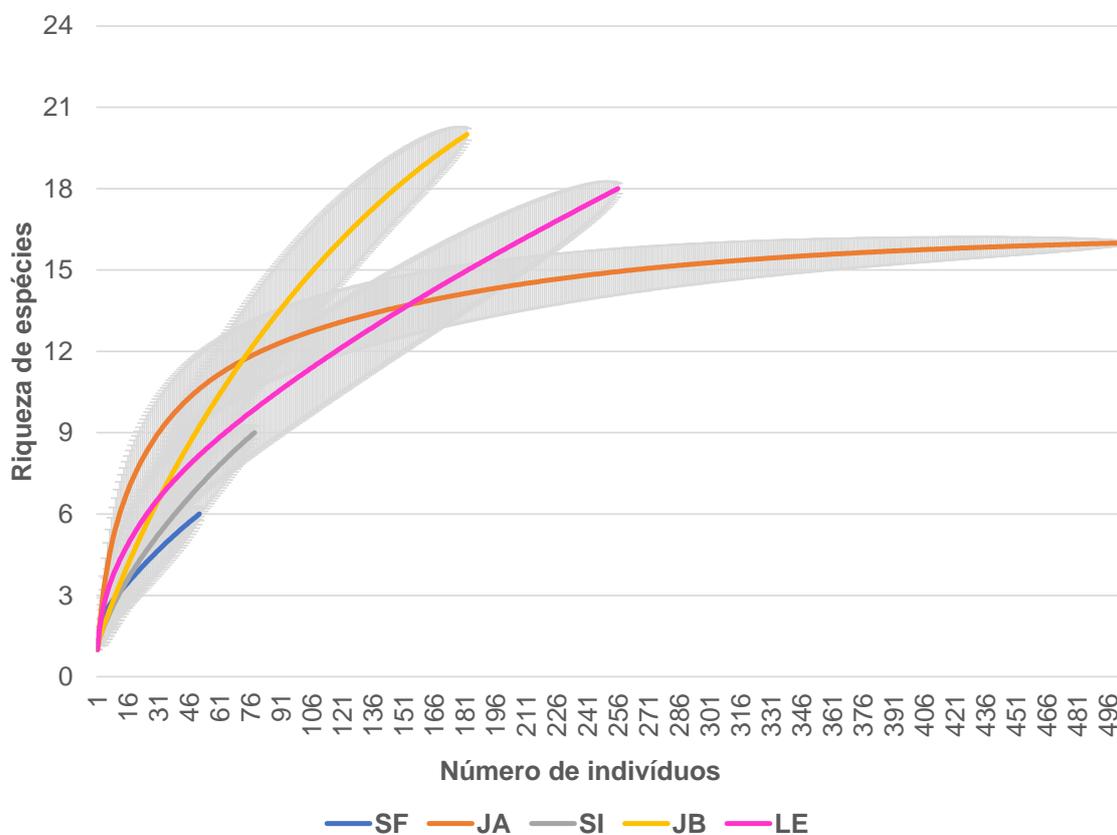


Figura 1.5 – Curvas de rarefação para a riqueza de espécies de abelhas que foram coletadas em áreas de plantios de *Coffea canephora* localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

O dendrograma de similaridade qualitativa mostrou que os plantios de *C. arabica* (linhas azuis) apresentaram maior similaridade entre si (entre 30% e 65% aproximadamente) na composição de espécies de abelhas visitantes (Figura 1.6), quando comparados com os plantios de *C. canephora* (linhas vermelhas), com exceção de JA (Figura 1.6).

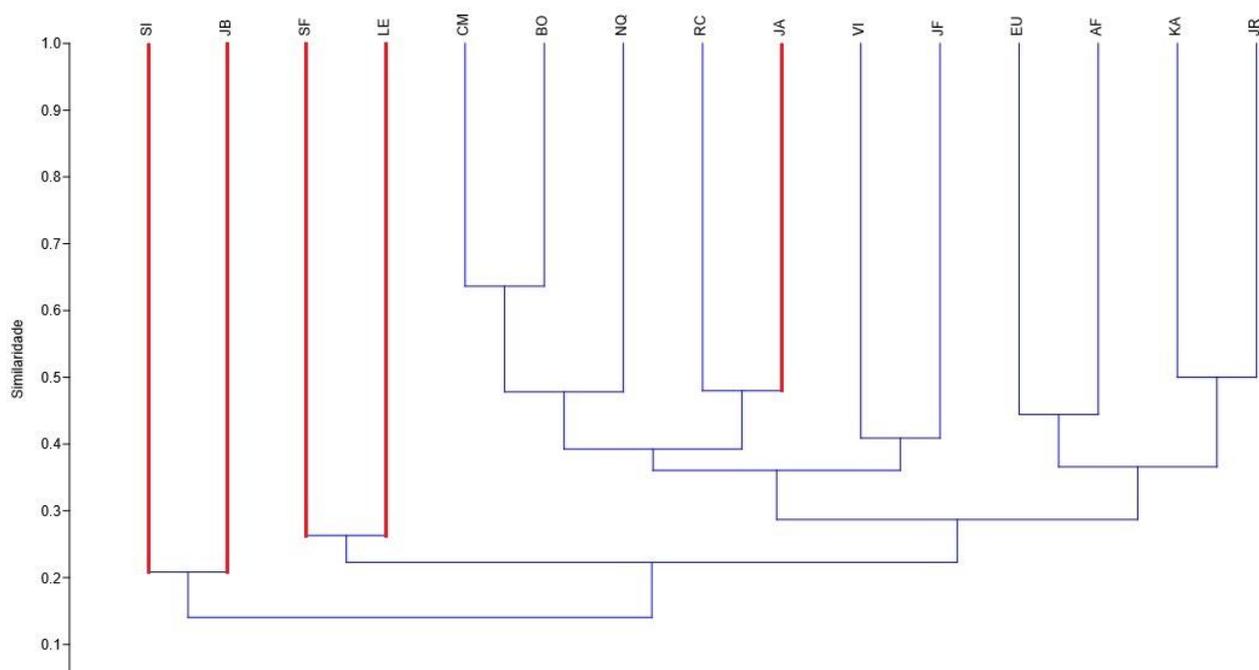


Figura 1.6 – Dendrograma de similaridade (Jaccard) na composição das espécies de abelhas coletadas em áreas de plantio de *C. arabica* (linhas azuis) e *C. canephora* (linhas vermelhas) localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

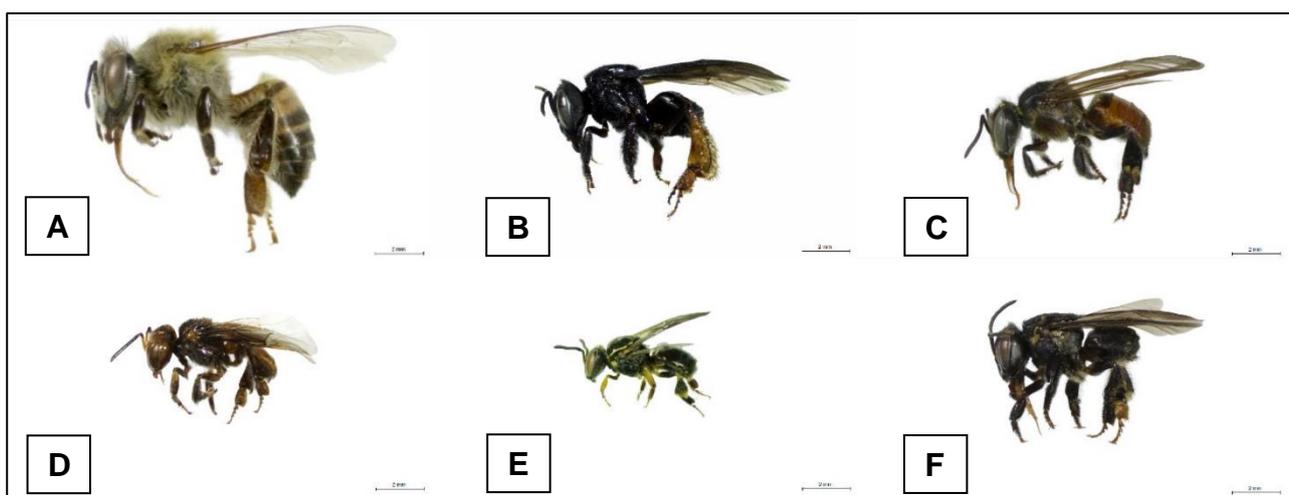


Figura 1.7 – Espécies de abelhas mais abundantes nas áreas de plantio de café: *Apis mellifera* (A), *Trigona spinipes* (B), *Schwarziana quadripunctata* (C), *Oxytrigona tataira* (D), *Plebeia droryana* (E) e *Scaptotrigona bipunctata* (F). Escala: 2 mm.

A abundância relativa das abelhas em cada área, agrupadas em tribos, pode ser observada na figura 1.8. A tribo Meliponini apresentou maior abundância relativa nas amostras de 12 plantios, sendo a maioria acima de 78% dos indivíduos coletados e chegando até 96% (CM) (Figura 1.8). O número de espécies de Meliponini variou entre duas e 15 espécies por área, sendo que em 12 plantios, uma única espécie teve abundância relativa majoritariamente maior que as demais (Figura 1.9 e 1.10). No plantio CM, 83,1% dos indivíduos da tribo Meliponini foram da espécie *O. taira*. Nos plantios AF, KA, BO e JF, a maior abundância foi de *S. quadripunctata* (71,7%; 49,5%, 63,9% e 44,57%, respectivamente). Nos plantios JR, VI e LE, *T. spinipes* foi a espécie com maior abundância dentro da tribo (50%, 41% e 69,6%, respectivamente) (Figura 1.9 e 1.10).

A tribo Apini, representada pela espécie *A. mellifera*, foi a mais abundante em três plantios, alcançando de 55,7% a 78% (EU, SI e JB) (Figura 1.8).

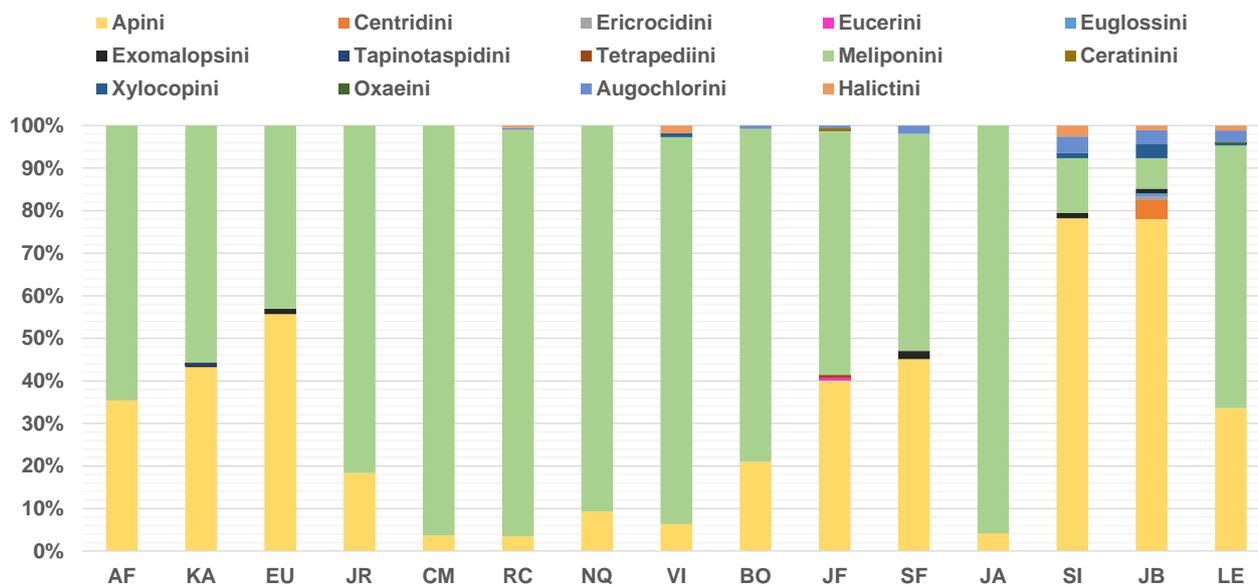


Figura 1.8 – Abundância relativa (%) das abelhas (apresentadas por tribo) nas áreas de plantio de *Coffea arabica* (AF até JF) e *Coffea canephora* (SF até LE) estudadas. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

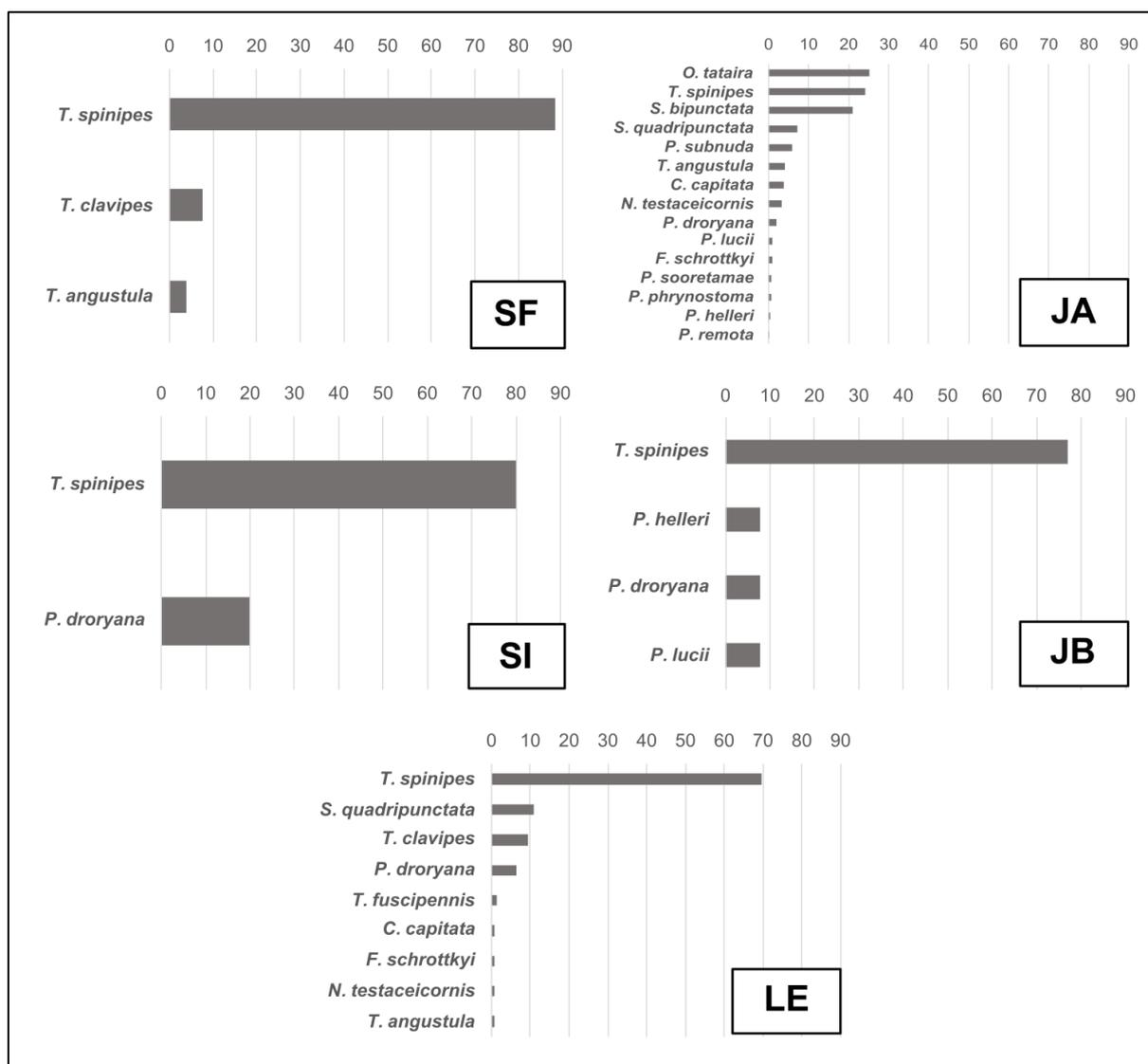


Figura 1.10 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de *C. canephora* localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

1.5 – DISCUSSÃO

A riqueza total de abelhas visitantes das flores do cafeeiro foi 63, na qual, 39 espécies foram amostradas nos plantios de *Coffea arabica* e 43 nos plantios de *Coffea canephora*. Essa riqueza pode estar subestimada, visto que, as curvas de rarefação indicaram uma riqueza crescente de abelhas na maioria dos plantios de cafeeiro, podendo ser maior do que a amostrada, demonstrando um potencial da região estudada para a existência de uma maior riqueza de abelhas polinizadoras.

A riqueza encontrada em plantios de *C. arabica* neste estudo é considerada alta quando comparada com outros estudos realizados em diferentes regiões no Brasil, que citaram entre 3 e 22 espécies de abelhas, com esforços amostrais variados em relação ao presente estudo (menor esforço: Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Malerbo-Souza *et al.*, 2003;

Saturni *et al.*, 2016; Hipólito *et al.*, 2018; González-Chaves *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022; maior esforço: Carvalho-Neto, 2010; Malerbo-Souza & Halak, 2012; Silva *et al.*, 2020). Além disso, a riqueza de abelhas deste estudo também foi maior que a mencionada na maioria dos trabalhos realizados em áreas de *C. arabica* em outros países, variando entre 4 e 46 espécies (menor esforço: Klein *et al.*, 2003a, b; Veddeler *et al.*, 2006, 2008; Vergara & Badano, 2009; maior esforço: Florez *et al.*, 2002). No entanto, essa riqueza de abelhas deste estudo foi menor comparada aos trabalhos de Ricketts (2004 – 40 espécies, com menor amostral) e Jha e Vandermeer (2010 – 46, através do uso de *pantrap* e com maior esforço).

Destaca-se que a riqueza observada em plantio de *C. canephora* deste estudo é possivelmente um dado inédito no Brasil, visto que não foram encontrados registros de pesquisas realizadas em plantios dessa espécie no país. Avaliações em plantios de *C. canephora* realizadas em outros países indicaram menores valores de riqueza quando comparados ao presente estudo (Indonésia= 33 espécies, Klein *et al.*, 2003b; Índia=15 espécies, Krishnan *et al.*, 2012 e Uganda=36 espécies, Munyuli, 2014).

A alta riqueza de abelhas observada nas áreas de estudo avaliadas neste trabalho, compreendidas na região sudeste do Brasil, sugere a importância dessas regiões como estoques populacionais de abelhas nativas. Vale ressaltar também que, o presente estudo amostrou 11 espécies de abelhas sem ferrão que não foram encontradas em outros estudos realizados em plantios de café em áreas de Mata Atlântica avaliadas em outros estados do Brasil (Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Malerbo-Souza & Halak, 2012; Saturni *et al.*, 2016; González-Chaves *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). Apesar do intenso desmatamento já ocorrido no estado do Rio de Janeiro, esta unidade da federação destaca-se com uma das maiores porcentagens de remanescentes florestais (19,6%) de Mata Atlântica do Brasil. Diferentemente, o estado do Espírito Santo apresenta uma das menores porcentagens de cobertura florestal (10,9%), porém, apresenta importantes unidades de conservação (SOS Mata Atlântica, 2021), o que deve estar contribuindo para manter a qualidade destas áreas em termos de recursos para as abelhas. Dentro do estado do ES, e próximo das áreas de plantio de cafeeiro avaliadas nesse estudo, pode-se destacar o Parque Nacional-PARNA do Caparaó (com aproximadamente 31800 ha) como uma unidade de conservação de extrema importância para a conservação da Mata Atlântica, já que está inserida em uma das áreas mais preservadas e significativas deste bioma no país (ICMBIO, 2015). Além disso, o PARNA do Caparaó é um importante corredor ecológico, pois conecta outras áreas de conservação na região da Serra do Caparaó, contribuindo para a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético (ICMBIO, 2015) e, portanto,

impactando na conectividade das populações de abelhas e na sua manutenção em longo prazo.

Alguns autores relatam uma maior abundância, riqueza e diversidade de abelhas polinizadoras em áreas de cultivo de cafeeiro mais próximas de fragmentos florestais e com maior cobertura florestal (Ricketts, 2004; Krishnan *et al.*, 2012; Boreux *et al.*, 2013; Bravo-Monroy *et al.*, 2015; Saturni *et al.*, 2016; Hipólito *et al.*, 2018). Desta forma, é fundamental que haja conservação de áreas florestais próximas aos cultivos agrícolas, a fim de prover maior oferta de recursos florais e assim manter os polinizadores na região agrícola e garantir o serviço ecossistêmico da polinização.

As abelhas eussociais foram as mais abundantes nas flores das duas espécies de cafeeiro deste estudo, como já observado em outros trabalhos. A importância da abelha exótica *Apis mellifera* (Apini) para a polinização do café tem sido enfatizada em vários estudos (Roubik, 2002; Ngo *et al.*, 2011; Giannini *et al.*, 2015), sendo inclusive estimulada sua criação para polinização dirigida de cafeeiros (Klein *et al.*, 2020). Essa maior abundância de *A. mellifera* em áreas de plantio de café também foi observada em outros estudos realizados no Brasil (Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Malerbo-Souza *et al.*, 2003; Malerbo-Souza & Halak, 2012; Saturni *et al.*, 2016; Hipólito *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020, Silva *et al.*, 2022) e em outros países (Costa Rica: Florez *et al.*, 2002, Ricketts, 2004; Colômbia: Bravo-Monroy *et al.*, 2015; Equador: Veddeler *et al.*, 2006, Veddeler *et al.*, 2008; Jamaica: Raw & Free, 1977; México: Vergara & Badano, 2009).

Entretanto, as abelhas nativas sem ferrão mostraram-se como a tribo mais rica da comunidade e com abundância até maior do que *A. mellifera* em algumas áreas de estudo neste trabalho. Enquanto este estudo apresentou de duas a 25 espécies de Meliponini nas flores do café, os demais estudos no cafeeiro no Brasil apresentaram de duas a 16 espécies de Meliponini (Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Malerbo-Souza *et al.*, 2003; Carvalho-Neto, 2010; Malerbo-Souza & Halak, 2012; Saturni *et al.*, 2016; Hipólito *et al.*, 2018; González-Chaves *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). A riqueza de Meliponini também foi maior do que a encontrada em outros países que se destacam na produção de café no mundo (Costa Rica: Ricketts, 2004; Equador: Veddeler *et al.*, 2006; Índia: Krishnan *et al.*, 2012; Indonésia: Klein *et al.*, 2003b e México: Vergara & Badano, 2009, Jha & Vandermeer, 2010). Esta tribo é composta de espécies eussociais, que vivem em ninhos com centenas a milhares de indivíduos, e generalistas, exibindo comportamento de constância floral, com preferência pelo forrageamento em espécies com floração em massa (Nogueira-Neto, 1997; Michener, 2000; Roubik, 2006). O comportamento de constância floral (Grant, 1950; Free, 1970) pode explicar os maiores valores de riqueza e abundância de espécies sociais

visitando as flores do café, o que no contexto da polinização é favorável uma vez que beneficia a polinização cruzada entre as plantas (Chittka *et al.*, 1999; Gegear & Thomson, 2004).

Nas áreas de plantios de café de uma maneira geral, duas espécies de abelhas sem ferrão tiveram destaque em frequência e abundância nos plantios avaliados: *Schwarziana quadripunctata* e *Paratrigona subnuda*. Ambas as espécies de abelhas nidificam em cavidades no solo e apresentam pequeno porte corpóreo (6,5 e 4,5 mm, respectivamente), o que sugere, que tenham seus ninhos próximos às áreas ou até mesmo dentro do próprio plantio. Durante os trabalhos de campo, um ninho de *S. quadripunctata* foi encontrado próximo de dois plantios (AF e KA) a cerca de 300 e 400 m, respectivamente. Outras tribos de abelhas nativas pequenas, como Augochlorini, tiveram riqueza expressiva nas flores das duas espécies de cafeeiros e, também nidificam predominantemente no solo (Antoine & Forrest, 2020).

Os ninhos dessas espécies, construídos no solo e na proximidade de áreas de cultivo, possivelmente tornam-se susceptíveis ao manejo e aos produtos químicos usados nas lavouras. Um dos grandes problemas para a biodiversidade no manejo agrícola é o uso indiscriminado de agrotóxicos que afetam diretamente às abelhas, em especial aquelas que têm grande parte da sua área de uso próxima aos plantios (Krupke *et al.*, 2012). O efeito de compostos como o glifosato, sobre larvas e adultos de abelhas expostos, pode desencadear alterações na expressão gênica, no funcionamento enzimático, no metabolismo oxidativo, na estrutura de células e tecidos, na diversidade da microbiota intestinal, no aprendizado, no consumo alimentar, na capacidade de voo e deslocamento vertical, no ciclo circadiano e no desenvolvimento corporal desses insetos (Battisti *et al.*, 2022). O uso de práticas amigáveis, como o manejo orgânico, é necessário e urgente para promover o estabelecimento e a conservação de populações de abelhas sem ferrão nas áreas de cultivo e nas suas imediações, assim como para aumentar a diversidade e abundância de plantas com flores nas áreas, promovendo uma maior riqueza de polinizadores de maneira geral (Tuck *et al.*, 2014; Rundlöf *et al.*, 2016).

Outras espécies de Meliponini também bastante abundantes nas áreas estudadas (*Trigona spinipes*, *Oxytrigona tataira*, *Plebeia droryana*, *Scaptotrigona bipunctata* e *Tetragonisca angustula*, por exemplo) nidificam em sua maioria em cavidades. O raio de voo destas espécies varia entre 0,5 e 1,7 km (Nunes-Silva *et al.*, 2020), o que indica que podem estar construindo ninhos em substratos arbóreos nas proximidades dos cultivos. Estas abelhas também dependem dos recursos de nidificação, além dos recursos florais,

sendo imprescindível o manejo da paisagem ao redor das áreas de plantio, como a conservação de áreas florestais para que suas populações se mantenham na paisagem.

Outras tribos de abelhas contribuíram pontualmente para a riqueza e diversidade de espécies nas flores dos cafeeiros. Abelhas Centridini, por exemplo, foram representadas por cinco espécies, que ocorreram apenas em uma área de café conilon (JB). A especificidade destas abelhas na coleta de óleos florais pode ser um fator limitante para a sua ocorrência nas áreas (Gaglianone, 2000), embora as flores do cafeeiro representem fontes abundantes de néctar e pólen em um período mais curto de atividade destas espécies.

1.6 – CONCLUSÕES

- A riqueza de abelhas foi maior nos plantios de *Coffea arabica* e inédita nos de *Coffea canephora* quando comparados com outros trabalhos no Brasil. Isso sugere a importância das regiões de estudo como estoques populacionais de abelhas nativas, uma vez que essas regiões estão inseridas em áreas de cobertura de Mata Atlântica.
- As abelhas sem ferrão foram as espécies mais abundantes e ricas nas áreas dos cafeeiros. Dentre essas abelhas, *Schwarziana quadripunctata* e *Paratrigona subnuda* apresentaram maior frequência e abundância nos plantios avaliados, podendo ser sugeridas como potenciais polinizadoras do cafeeiro. Estudos futuros podem incluir a avaliação do manejo orientado e eficiência dessas abelhas como polinizadoras do cafeeiro, através de observações de visitas controladas às flores.

1.7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abati, R.; Sampaio, A.R.; Maciel, R.M.A.; Colombo, F.C.; Libardoni, G.; Battisti, L.; Lozano, E.R.; Ghisi, N.C.; Costa-Maia, F.M. & Potrich, M. 2021. Bees and pesticides: the research impact and scientometrics relations. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 32282–32298.
- Aguilar, R. & Galetto, L. 2004. Effects of forest fragmentation on male and female reproductive success in *Cestrum parqui* (Solanaceae). *Oecologia*, 138: 513-520.
- Antoine, C.M. & Forrest, J.R.K. 2021. Nesting habitat of ground-nesting bees: a review. *Ecological Entomology*, 46: 143–159.
- Ayers, A.C. & Rehan, S.M. 2021. Supporting bees in cities: How bees are influenced by local and landscape features. *Insects*, 12(2): 128.

- Battisti, L.; Potrich, M.; Lozano, E.R.; Martinez, C.B.R. & Sofia, S.H. 2022. Review on the sublethal effects of pure and formulated glyphosate on bees: Emphasis on social bees. *Journal of Applied Entomology*, 147: 1–18.
- Bawa, K.S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21: 399–422.
- Benton, T.G.; Vickery, J.A. & Wilson, J.D. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 182–188.
- Boreux, V.; Krishnan, S.; Cheppudira, K.G. & Ghazoul, J. 2013. Impact of forest fragments on bee visits and fruit set in rain-fed and irrigated coffee agro-forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 172: 42–48.
- BPBES/REBIPP. 2019. *Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil*. 1ª edição, São Carlos, SP: Editora Cubo. 184p.
- Bravo-Monroy, L.; Tzanopoulos, J. & Potts, S.G. 2015. Ecological and social drivers of coffee pollination in Santander, Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211: 145–154.
- Carrié, R.; Lopes, M.; Ouin, A. & Andrieu, E. 2018. Bee diversity in crop fields is influenced by remotely-sensed nesting resources in surrounding permanent grasslands. *Ecological Indicators*, 90: 606–614.
- Carvalho, G.C.A.; Ribeiro, M.H.M.; Araújo, A.C.A.M.; Barbosa, M.M.; Oliveira, F.S. & Albuquerque, P.M.C. 2016. Flora de importância polínica utilizada por *Melipona (Melikerria) fasciculata* Smith, 1854 (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) em uma área de floresta amazônica na região da baixada maranhense, Brasil. *Oecologia Australis*, 20(1): 58–68.
- Carvalho-Neto, F.H. 2010. *Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadoras do café (Coffea arabica L.) ecológico e sombreado no Maciço de Baturité – Ceará*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 67p.
- Chacoff, N.P. & Aizen, M.A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43: 18–17.
- Chittka, L.; Thomson, J.D. & Waser, N.M. 1999. Flower constancy, insect psychology and plant evolution. *Naturwissenschaften*, 86: 361–377.
- Donaldson, J.; Nänni, I.; Zachariades, C. & Kemper, J. 2002. Effects of habitat fragmentation on pollinator diversity and plant reproductive success in renosterveld shrublands of South Africa. *Conservation Biology*, 16(5): 1267–1276.

- El-Seedi, H.R.; Ahmed, H.R.; El-Wahed, A.A.A.; Saeed, A.; Algethami, A.F.; Attia, N.F.; Guo, Z.; Musharraf, S.G.; Khatib, A.; Alsharif, S.M.; Naggar, Y.A.; Khalifa, S.A.M. & Wang, K. 2022. Bee stressors from an immunological perspective and strategies to improve bee health. *Veterinary Sciences*, 9(5): 199.
- FAO. 2004. Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response. pp. 19-25. *In*: Freitas, B.M. & Pereira, J.O.P. (Eds.). *Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination*. Fortaleza, CE: Imprensa Universitária Universidade Federal do Ceará, Food and Agriculture Organization. 282p.
- Florez, J.A.; Muschler, R.; Harvey, C.; Finegan, B. & Roubik, D.W. 2002. Biodiversidad funcional em cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas*, 9(35-36): 29–36.
- Free, J.B. 1970. The flower constancy of bumblebees. *Journal of Animal Ecology*, 39(2): 395–402.
- Gaglianone, M.C. 2000. Behavior on the flowers, structures involved in pollen transport and nesting biology of *Perditomorpha brunerii* and *Cephalurgus anomalus* (Hymenoptera: Colletidae, Andrenidae). *Revista de Biología Tropical*, 48(1): 89–99.
- Gegear, R.J. & Thomson, J.D. 2004. Does the flower constancy of bumble bees reflect foraging economics? *Ethology*, 110: 793–805.
- Giannini, T.C.; Boff, S.; Cordeiro, G.D.; Cartolano-Jr., E.A.; Veiga, A.K.; Imperatriz-Fonseca, V.L. & Saraiva, A.M. 2015. Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. *Apidologie*, 1–15.
- González-Chaves, A.; Jaffé, R.; Metzger, J.P. & Kleinert, A.M.P. 2020. Forest proximity rather than local forest cover affects bee diversity and coffee pollination services. *Landscape Ecology*, 35: 1841–1855.
- Grant, V. 1950. The flower constancy of bees. *Botanical Review*, 16(7): 379–398.
- Haddad, N.M.; Brudvig, L.A.; Clobert, J.; Davies, K.F.; Gonzalez, A.; Holt, R.D.; Lovejoy, T.E.; Sexton, J.O.; Austin, M.P.; Collins, C.D.; Cook, W.M.; Damschen, E.I.; Ewers, R.M.; Foster, B.L.; Jenkins, C.N.; King, A.J.; Laurance, W.F.; Levey, D.J.; Margules, C.R.; Melbourne, B.A.; Nicholls, A.O.; Orrock, J.L.; Song, D.X. & Townshend, J.R. 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2): e1500052.
- Hammer, Q.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 9p.

- Hipólito, J.; Boscolo, D. & Viana, B.F. 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256: 218–225.
- Holzschuh, A.; Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. 2010. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *Journal of Animal Ecology*, 79: 491–450.
- ICMBIO. 2015. *Plano de manejo Parque Nacional do Caparaó*. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnacaparao/plano-de-manejo>> Acesso em: 17 de abril de 2023.
- Jha, S. & Vandermeer, J.H. 2010. Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, 143: 1423–1431.
- Kevan, P.G. & Baker, H.G. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, 28: 407–53.
- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. 2003a. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270: 955–961.
- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tschardtke, T. 2003b. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90: 153–157.
- Klein, A.M.; Vaissiere, B.E.; Cane, J.H.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S.A.; Kremen, C. & Tschardtke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274: 30–313.
- Klein, A.M.; Freitas, B.M.; Bomfim, I.G.A.; Boreux, V.; Fornoff, F. & Oliveira, M.O. 2020. *A polinização agrícola por insetos no Brasil*. Alemanha: Albert-Ludwigs University Freiburg. 149p.
- Kremen, C.; Williams, N.M.; Aizen, M.A.; Gemmil-Herren, B.; LeBuhn, G.; Minckley, R.; Packer, L.; Potts, S.G.; Roulston, T.; Steffan-Dewenter, I.; Vázquez, P.; Winfree, R.; Adams, L.; Crone, E.E.; Greenleaf, S.S.; Keit, T.H.; Klein, A.M.; Regetz, J. & Ricketts, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of landuse change. *Ecology Letters*, 10: 299–314.
- Krishnan, S.; Kushalappa, C.G.; Shaanker, R.U. & Ghazoul, J. 2012. Status of pollinators and their efficiency in coffee fruit set in a fragmented landscape mosaic in South India. *Basic and Applied Ecology*, 13: 277–285.

- Krupke, C.H.; Hunt, G.J.; Eitzer, B.D.; Andino, G. & Given, K. 2012. Multiple routes of pesticide exposure for honey bees living near agricultural fields. *PLoS one*, 7(1): e29268.
- Liow, L.H.; Sodhi, N.S. & Elmqvist, T. 2001. Bee diversity along a disturbance gradient in tropical lowland forests of south-east Asia. *Journal of Applied Ecology*, 38(1): 180–192.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Malerbo-Souza, D.T & Halak, A.L. 2012. Agentes polinizadores e produção de grãos em cultura de café arábica cv. “Catuaí Vermelho”. *Científica*, 40(1): 1–11.
- Malerbo-Souza, D.T.; Nogueira-Couto, R.H.; Couto, L.A. & Souza, J.C. 2003. Atrativos para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 40: 272–278.
- Michener, C.D. 2000. *The Bees of the World*. Baltimore and London: The John Hopkins University Press. 913p.
- Mull, A.; Gunnell, J.; Hansen, S.M.; Ramirez, R.; Walker Bravo, A.; Zesiger, C. & Spears, L.R. 2022. Factors Contributing to Bee Decline. *Utah Pests*, Utah State University Extension, 1–5.
- Munyuli, T. 2014. Influence of functional traits on foraging behaviour and pollination efficiency of wild social and solitary bees visiting coffee (*Coffea canephora*) flowers in Uganda. *Grana*, 53(1): 69–89.
- Ngo, H.T.; Mojica, A.C. & Packer, L. 2011. Coffee plant – pollinator interactions: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89: 647–660.
- Nogueira-Neto, P. 1997. *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.
- Nogueira-Neto, P.; Carvalho, A. & Antunes, H. 1959. Efeito da exclusão dos insetos polinizadores na produção do café Bourbon. *Bragantia*, 18(29): 441–468.
- Nunes-Silva, P.; Costa, L.; Campbell, A.J.; Arruda, H.; Contrera, F.A.L.; Teixeira, J.S.G.; Gomes, R.L.C.; Pessin, G.; Pereira, D.S.; Souza, P. & Imperatriz-Fonseca, V.L. 2020. Radiofrequency identification (RFID) reveals long-distance flight and homing abilities of the stingless bee *Melipona fasciculata*. *Apidologie*, 51: 240–253.
- Pielou, E.C. 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal Theory Biology*, 10: 370–383.
- Potts, S.G.; Biesmeijer, J.C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O. & Kunin, W.E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 345–353.

- Raw, A. & Free, J.B. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honeybees. *Tropical Agriculture*, 54: 365–369.
- Rech, A.R.; Agostini, K.; Oliveira, P.E. & Machado, I.C. 2014. *Biologia da polinização*. Projeto Cultural. 527p.
- Ricketts, T.H.; Regetz, J.; Steffan-Dewenter, I.; Cunningham, S.A.; Kremen, C.; Bogdanski, A.; Gemmill-Herren, B.; Greenleaf, S.S.; Klein, A.M.; Mayfield, M.M.; Morandin, L.A.; Ochieng, A.; Potts, S.G. & Viana, B.F. 2008. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters*, 11(5): 499–515.
- Ricketts, T.H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18(5): 1262–1271.
- Rodríguez-Cabal, M.A.; Aizen, M.A. & Novaro, A.J. 2007. Habitat fragmentation disrupts a plant-disperser mutualism in the temperate forest of South America. *Biological Conservation*, 139: 195–202.
- Roubik, D.W. 1989. *Ecology and natural history of the tropical bees*. London: Cambridge University. 514p.
- Roubik, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417: 708.
- Roubik, D.W. 2006. Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37:124–143.
- Rundlöf, M.; Smith, H.G. & Birkhofer, K. 2016. Effects of organic farming on biodiversity. *eLS* John Wiley & Sons, 1–7.
- Rybicki, J.; Abrego, N. & Ovaskainen, O. 2020. Habitat fragmentation and species diversity in competitive communities. *Ecology Letters*, 23: 506–517.
- Samejima, H.; Marzuki, M.; Nagamitsu, T. & Nakasizuka, T. 2004. The effects of human disturbance on a stingless bee community in a tropical rainforest. *Biological Conservation*, 120: 577–587.
- Saturni, F.T.; Jaffé, R. & Metzger, J.P. 2016. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235: 1–12.
- Silva, J.F.; Gusmão, A.L.J.; Pérez-Maluf, R. & Sousa, R.S. 2022. Abelhas associadas ao cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo no semiárido da Bahia, Brasil. *Journal of Education, Science and Health*, 2(1): 1–9.
- Silva, M.F.; Nascimento, L.O.L.S. & Pérez-Maluf, R. 2020. Abelhas polinizadoras e produção de frutos e sementes em café convencional. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4): 4227–4237.
- SOS Mata Atlântica. 2021. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE. 73p.

- Steffan-Dewenter, I. & Westphal, C. 2008. The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 45(3): 737–741.
- Tuck, S.L.; Winqvist, C.; Mota, F.; Ahnström, J.; Turnbull, L.A. & Bengtsson, J. 2014. Landuse intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical metaanalysis. *Journal of Applied Ecology*, 51(3): 746–755.
- Varassin, I.G.; Agostini, K.; Wolowski, M. & Freitas, L. 2021. Pollination systems in the Atlantic Forest: characterisation, threats, and opportunities. *In: Marques, M.C.M.; Grelle, C.E.V. (Eds). The Atlantic Forest. Cham: Springer.*
- Veddeler, D.; Klein, A.M. & Tscharntke, T. 2006. Contrasting responses of bee communities to coffee flowering at different spatial scales. *Oikos*, 112: 594–601.
- Veddeler, D.; Olschewski, R.; Tscharntke, T. & Klein, A.M. 2008. The contribution of non-managed social bees to coffee production: new economic insights based on farm-scale yield data. *Agroforestry Systems*, 73: 109–114.
- Vergara, C.H. & Badano, E.I. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: the importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129: 117–123.
- Williams, N.M. & Winfree, R. 2013. Local habitat characteristics but not landscape urbanization drive pollination visitation and native plant pollination in forest remnants. *Biological Conservation*, 160: 10–18.
- Winfree, R.; Aguilar, R.; Vázquez, D.P.; Lebuhn, G. & Aizen, M.A. 2009. A metaanalysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8): 2068–2076.

CAPÍTULO 2 – Interações entre polinizadores do cafeeiro e plantas no entorno de áreas de cultivo

RESUMO

A disponibilidade e sazonalidade na oferta de plantas observadas no entorno de ambientes agrícolas podem influenciar na diversidade da comunidade de abelhas e, em cultivos com períodos curtos de floração, como o café, essas plantas tornam-se essenciais na manutenção das abelhas durante todo o ano na região. Esse estudo objetivou descrever a estrutura da comunidade de abelhas e analisar suas interações com as plantas na paisagem local dos plantios de *Coffea arabica* (10 plantios) e *Coffea canephora* (5 plantios), em períodos de ausência de floração dos cafeeiros. As abelhas foram coletadas nas plantas em florescimento no entorno dos plantios com auxílio de rede entomológica, das 7 às 14h. Foram amostradas 134 espécies de plantas visitadas por 1567 abelhas (73 espécies), sendo 1268 indivíduos (58 espécies) no entorno de plantios de *C. arabica* e 297 indivíduos (41 espécies) de *C. canephora*. No geral, a família de plantas com maior riqueza foi Asteraceae. Já as abelhas mais abundantes foram *Apis mellifera* (297 indivíduos), *Paratrigona subnuda* (225), *Trigona spinipes* (208) e *Tetragonisca angustula* (78) nos plantios de *C. arabica* e *A. mellifera* (57), *T. angustula* (45) e *Augochlora aurinasis* (18) em *C. canephora*. A riqueza de plantas encontradas no entorno dos plantios apresentou uma tendência positiva com a diversidade de abelhas no café. Dentre as abelhas, 25 espécies coletadas em flores de *C. arabica* e 20 em *C. canephora* também foram coletadas nas plantas do entorno. Isso indica que essas abelhas se mantêm nas áreas de plantio e visitam outras fontes de recursos na ausência da floração do café. Todas as abelhas da tribo Meliponini amostradas no entorno também foram coletadas nas flores do café, principalmente as espécies mais abundantes nas áreas. Além disso, as abelhas dessa tribo também apresentaram o maior número de ligações nas redes de interações. Os resultados desse estudo reforçam a importância de se conservar as plantas no entorno dos plantios para a manutenção da comunidade de abelhas.

2.1 – INTRODUÇÃO

A manutenção ou crescimento das populações de abelhas em um habitat é dependente da existência de recursos florais suficientes, tanto para a alimentação de adultos e larvas, quanto para o estabelecimento de ninhos (Kremen *et al.*, 2007; Wray & Elle, 2015). Nos ambientes agrícolas, a conversão de grandes extensões de terra em

monoculturas, uma prática comum nas diversas regiões do mundo, ocasiona a diminuição da diversidade e da abundância de recursos para as abelhas (Steffan-Dewenter & Westphal, 2008; Fahrig *et al.*, 2011). Quando as monoculturas passam a ser dominantes na paisagem, espécies de abelhas que são especialistas na coleta de recursos, restringindo o forrageamento de pólen e néctar a poucos grupos de plantas, podem apresentar dificuldade para se estabelecer na área (Kline & Joshi, 2020). Em contrapartida, espécies com hábito generalista necessitam de uma ampla variedade de flores na sua dieta e, desta forma, podem ser prejudicadas em regiões dominadas pelas monoculturas (Williams, 2003; Eckhardt *et al.*, 2014). Outro problema em ambientes agrícolas com predominância de monoculturas é a forte sazonalidade na oferta de recursos florais em situações em que a floração dessas plantas é restrita a períodos mais curtos do que os de atividade das abelhas, diminuindo a sobrevivência e reprodução das populações que vivem naquelas áreas ou nas suas proximidades (Guezen & Forrest, 2021).

Particularmente para espécies de abelhas com ninhos perenes, como é o caso das abelhas eussociais, a riqueza e abundância de recursos florais ao longo do ano e próximos aos locais de nidificação podem ser fatores limitantes para a manutenção de suas populações na paisagem agrícola (Lorenzon *et al.*, 2003; Deprá & Gaglianone, 2018). Isso ocorre porque a coleta de recursos em plantas mais distantes dos ninhos exige maior tempo e energia para o forrageio, o que pode ser inviável para sustentar as populações em longo prazo. Tendo em vista que o raio de voo das abelhas é diretamente proporcional ao tamanho corporal, as abelhas menores podem não alcançar fontes de recursos mais distantes, sofrendo pelo recurso limitado em locais com baixa disponibilidade de recursos, mesmo que em períodos mais restritos ao longo do ano (Gathmann & Tschasrntke, 2002).

Além dos recursos florais, a disponibilidade de locais de nidificação pode ser determinante para a composição da comunidade de abelhas em uma determinada área (Kremen *et al.*, 2007; Winfree *et al.*, 2009). Como os hábitos de nidificação e construção de ninhos são muito diversos entre os grupos de abelhas (Roubik, 1989), a disponibilidade dos recursos de nidificação na paisagem varia para grupos de espécies com hábitos distintos, tais como a escavação no solo, a construção de galerias em plantas vivas ou mortas, a utilização de cavidades preexistentes ou a construção de ninhos livres e expostos.

Neste contexto, estudos relacionados com a avaliação e a quantificação dos recursos alimentares e de nidificação disponíveis para as abelhas em áreas agrícolas assumem fundamental importância para estratégias de conservação e manejo de populações de polinizadores (Rech *et al.*, 2014). A composição e cobertura floral no entorno das áreas cultivadas pode também ser fator determinante na diversidade e abundância dos

polinizadores nos cultivos em questão. Portanto, determinar quais são as fontes de recursos que as abelhas utilizam nas áreas de plantio, além da espécie alvo, e compreender se estes polinizadores continuam na paisagem em períodos de ausência da floração da espécie alvo, são pontos fundamentais para traçar estratégias de manejo e conservação dos polinizadores nas áreas agrícolas. Poucos estudos com esta abordagem foram realizados em áreas de cultivo de cafeeiro (Florez *et al.*, 2002; Karanja *et al.*, 2010; Fitch *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022) e isso reforça a importância do presente estudo.

2.2 – OBJETIVO

Descrever a estrutura das comunidades de abelhas e analisar suas interações com as plantas na paisagem local dos plantios de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, em períodos de ausência de floração dos cafeeiros.

2.3 – HIPÓTESES

A primeira hipótese é que riqueza, abundância e diversidade de abelhas são maiores em áreas de plantios de café com maior riqueza de recursos florais no entorno, visto que outras fontes de recursos alimentares contribuem para a manutenção das populações dessas espécies localmente. A segunda hipótese é que as espécies de abelhas coletadas nas flores do café se manteriam presentes nas áreas nos períodos de ausência de flores do café, visitando as plantas no entorno.

2.4 – METODOLOGIA

2.4.1 – Áreas de estudo

A comunidade de abelhas e plantas no entorno dos cafeeiros foi estudada em 15 áreas de cultivo de café, das quais dez são de cultivo de *Coffea arabica* e cinco áreas de cultivo de *Coffea canephora*. Os plantios de *C. arabica* foram localizados nos municípios de Varre-Sai/RJ, Dores do Rio Preto/ES (distrito Pedra Menina) e de Espera Feliz/MG. Os plantios de *C. canephora* foram localizados nos municípios de Alegre e Castelo, no sul do estado do Espírito Santo, conforme descrito no capítulo 1, item 1.3.1.

2.4.2 – Identificação de outras fontes de recursos para os polinizadores dos cafeeiros

As plantas em florescimento no entorno dos plantios foram registradas, e fotografadas em campo e foram coletadas amostras para confecção de exsicatas. As plantas foram identificadas pela Dra. Vanessa Ribeiro Matos, através de chaves e guias taxonômicos (Stevens, 2017) e consulta a especialistas. A descrição dos hábitos das espécies de plantas foi realizada a partir da consulta no banco de dados do Re flora (2023). Cada planta recebeu um código, que posteriormente foi adicionado nas etiquetas de identificação das abelhas. Vouchers estão depositados no Herbário UENF (HUENF).

2.4.3 – Interação dos polinizadores dos cafeeiros com plantas do entorno

Foram realizadas coletas das abelhas nas plantas em florescimento no entorno dos plantios nos períodos de ausência de floração dos cafeeiros (fevereiro a maio) nos anos de 2020, 2021 e 2022. Em cada plantio foi realizado um dia de amostragem, que corresponde a 7 h de esforço amostral. As coletas foram realizadas por dois coletores, com auxílio de rede entomológica (21 cm de diâmetro), percorrendo o entorno dos plantios (que inclui as zonas entre fileiras de café) em um raio de 300m nas diversas direções e coletando os visitantes florais nas plantas que estavam em floração. A amostragem das abelhas foi realizada entre 7 e 14h, sendo três sessões de coleta de 15 minutos a cada hora.

Os visitantes florais foram capturados assim que pousavam nas flores, foram mortos em acetato de etila e armazenados individualmente em frascos tipo *ependorf* para que não houvesse contaminação do pólen entre os indivíduos. Os procedimentos realizados em laboratório com relação à montagem, etiquetagem e identificação taxonômica do material, ocorreram conforme descrito no item 1.3.2 do capítulo 1.

2.4 - Análise de dados

A estrutura das comunidades de abelhas que visitam o entorno do cafeeiro foi descrita através dos seguintes parâmetros ecológicos: composição de espécies, abundância (n), riqueza (S), diversidade (H'), equitabilidade (J) e similaridade quantitativa (Bray-Curtis) e qualitativa (Jaccard).

A diversidade de abelhas do entorno em cada área foi calculada a partir do índice de Shannon-Wiener ($H' = -\sum p_i \log p_i$, onde p_i = proporção de indivíduos amostrados pela

espécie i e $\ln =$ logaritmo neperiano) (Magurran, 2004). Para o cálculo da diversidade foi utilizado o programa PAST versão 2.14 (Hammer *et al.*, 2001).

A equitabilidade ($J = H'/\log S$, onde H' = índice de Shannon e S = riqueza de abelhas coletadas), derivada do índice de Shannon, permite representar a uniformidade da distribuição das espécies de abelhas coletadas no entorno dos diferentes plantios (amplitude de 0 a 1) (Pielou, 1966).

O efeito da riqueza de plantas encontradas no entorno dos plantios na riqueza, abundância e diversidade de abelhas nas flores do café, foi avaliado através de modelos de regressão linear simples. Essas análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 2022). Em todos os casos aplicáveis, um erro *a priori* tipo I de 5% ($\alpha = 0,05$) foi assumido.

As similaridades de Bray-Curtis (quantitativa) e de Jaccard (qualitativa) entre a comunidade de abelhas visitantes em cada plantio de café e a comunidade de abelhas em flores de outras espécies no entorno dos respectivos plantios foram calculadas no programa Past versão 2.14 (Hammer *et al.*, 2001).

Para compreender as interações entre abelhas e plantas com flores nos períodos de ausência de flores do cafeeiro, nas áreas do entorno dos plantios, foram construídas redes de interação qualitativas a partir de uma matriz de adjacência entre espécies de abelhas visitantes e espécies de plantas onde foram capturadas. A matriz foi preenchida com dados de presença (1) e ausência (0) das espécies de abelhas visitando cada espécie de planta. A rede foi construída e as métricas foram calculadas no programa R, usando o pacote bipartite (R Core Team, 2022).

2.5 – RESULTADOS

2.5.1 – Avaliação dos recursos florais na paisagem de entorno dos plantios de cafeeiros *Coffea arabica* e *Coffea canephora*

Foram coletadas 134 espécies de plantas em florescimento no entorno dos plantios das duas espécies de cafeeiros *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, das quais 100 espécies pertencem a 31 famílias botânicas (Tabela 2.4) e 34 não foram identificadas. As famílias com maior riqueza de espécies foram Asteraceae ($S = 22$), Lamiaceae ($S = 8$) e Malvaceae ($S = 8$). A composição das plantas em florescimento no entorno foi em sua maioria de plantas herbáceas.

Tabela 2.1 –Plantas em florescimento no entorno dos plantios de *Coffea arabica* e *Coffea canephora* localizados no sudeste do Brasil (¹Árvore, ²Sub arbusto, ³Arbusto, ⁴Liana, ⁵Trepadeira, ⁶Erva). Para plantas não identificadas em nível de espécie, estão indicados os hábitos possíveis, de acordo com referências encontradas para o táxon mais próximo

Família/Espécie		
Amaranthaceae	37. <i>Ipomoea alba</i> ^{4,5}	74. <i>Clidemia hirta</i> ³
1. <i>Amaranthus</i> sp1 ^{1,6}	38. <i>Ipomoea</i> sp1 ^{2,3,4,5,6}	75. <i>Tibouchina</i> sp ^{1,2,3}
2. <i>Amaranthus</i> sp2 ^{1,6}	39. <i>Ipomoea</i> sp2 ^{2,3,4,5,6}	Myrtaceae
3. <i>Amaranthus</i> sp3 ^{1,6}	40. <i>Ipomoea</i> sp3 ^{2,3,4,5,6}	76. <i>Eugenia uniflora</i> ³
4. <i>Amaranthus</i> sp4 ^{1,6}	41. <i>Ipomoea</i> sp4 ^{2,3,4,5,6}	77. <i>Myrcia</i> sp ^{1,2,3}
5. <i>Alternanthera</i> sp ^{1,2,6}	42. <i>Ipomoea</i> sp5 ^{2,3,4,5,6}	Onagraceae
Apocynaceae	Cucurbitaceae	78. <i>Ludwigia longifolia</i> ^{1,2,3,6}
6. <i>Oxypetalum banksii</i> ^{4,5}	43. <i>Cucumis</i> sp ^{4,5}	79. <i>Ludwigia octovalvis</i> ^{1,2,3,6}
7. <i>Mandevilla</i> sp ^{2,3,4,5}	44. <i>Cucurbita</i> sp ^{4,5,6}	Orquidaceae
Asteraceae	45. <i>Sechium edule</i> ^{4,5}	80. <i>Dendrobium nobile</i> ^{1,2}
8. <i>Acmella oleraceae</i> ⁶	46. Cucurbitaceae sp ^{4,5,6}	Oxalidaceae
9. <i>Acmella</i> sp ⁶	Euphorbiaceae	81. <i>Oxalis</i> sp1 ^{1,2,3,6}
10. <i>Ageratum</i> sp1 ^{2,3,6}	47. <i>Croton</i> sp1 ^{1,2,3,4,5,6}	82. <i>Oxalis</i> sp2 ^{1,2,3,6}
11. <i>Ageratum</i> sp2 ^{2,3,6}	48. <i>Croton</i> sp2 ^{1,2,3,4,5,6}	Passifloraceae
12. <i>Bidens pilosa</i> ⁶	49. <i>Croton</i> sp3 ^{1,2,3,4,5,6}	83. <i>Passiflora edulis</i> ^{2,3,4,5}
13. <i>Bidens</i> sp1 ^{2,3,4,5,6}	50. <i>Euphorbia hirta</i> ^{1,2,3,6}	Phytolaccaceae
14. <i>Conyza</i> sp ^{2,6}	51. <i>Manihot esculenta</i> ^{1,2,3,4,6}	84. <i>Phytolacca</i> sp ^{1,2,3,6}
15. <i>Cosmos sulphureus</i> ⁶	52. Euphorbiaceae sp ^{1,2,3,4,6}	Poaceae
16. <i>Crepis japonica</i> ⁶	Fabaceae	85. <i>Brachiaria</i> sp ⁶
17. <i>Emilia</i> sp ⁶	53. <i>Mimosa</i> sp ^{1,2,3,4,6}	86. <i>Cynodon</i> sp ⁶
18. <i>Gazania rigens</i> ⁶	Heliconiaceae	87. <i>Paspalum</i> sp ⁶
19. <i>Matricaria</i> sp ⁶	54. <i>Heliconia</i> sp1 ⁶	88. <i>Sorghum</i> sp ⁶
20. <i>Parthenium</i> sp1 ^{3,6}	55. <i>Heliconia</i> sp2 ⁶	89. <i>Zea mays</i> ⁶
21. <i>Parthenium</i> sp2 ^{3,6}	Lamiaceae	Polygalaceae
22. <i>Senecio</i> sp ^{2,3,4,5,6}	56. <i>Hyptis</i> sp ^{1,2,3,6}	90. <i>Polygonum capitatum</i> ⁶
23. <i>Sonchus oleraceus</i> ⁶	57. <i>Leonotis nepetifolia</i> ⁶	Portulacaceae
24. <i>Sonchus</i> sp ⁶	58. <i>Leonurus japonicus</i> ^{2,6}	91. <i>Portulaca grandiflora</i> ⁶
25. <i>Synedrella nodiflora</i> ^{3,6}	59. <i>Mesosphaerum</i> sp ^{2,3,6}	Rubiaceae
26. <i>Tridax procumbens</i> ⁶	60. <i>Ocimum basilicum</i> ^{2,3,6}	92. <i>Borreria</i> sp ^{2,3,4,5,6}
27. <i>Vernonia polyanthes</i> ^{2,3}	61. <i>Ocimum</i> sp ^{2,3,6}	93. <i>Morinda citrifolia</i> ¹
28. <i>Vernonia</i> sp1 ^{2,3}	62. <i>Plectranthus barbatus</i> ³	94. <i>Richardia brasiliensis</i> ⁶
29. <i>Vernonia</i> sp2 ^{2,3}	63. <i>Solenostemon</i> sp ⁶	Rutaceae
Bignoniaceae	Malpighiaceae	95. <i>Citrus</i> sp ^{1,3}
30. <i>Mansoa</i> sp ^{4,5}	64. <i>Malpighia emarginata</i> ¹	Solanaceae
Brassicaceae	65. <i>Peixotoa</i> sp ^{2,3,4,5}	96. <i>Capsicum</i> sp ^{1,2,3}
31. <i>Lepidium</i> sp ⁶	Malvaceae	97. <i>Solanum paniculatum</i> ³
32. <i>Raphanus raphanistrum</i> ⁶	66. <i>Abelmoschus esculentus</i> ²	Talinaceae
Caricaceae	67. <i>Hibiscus</i> sp ^{1,2,3}	98. <i>Talinum</i> sp ⁶
33. <i>Carica papava</i> ^{1,3}	68. <i>Hibiscus tiliaceus</i> ^{1,2,3}	Verbenaceae
Cleomaceae	69. <i>Malachra fasciata</i> ^{2,3,6}	99. <i>Verbena</i> sp ^{2,3,6}
34. <i>Cleome aculeata</i> ^{1,3,6}	70. <i>Sida cordifolia</i> ^{2,3,6}	100. Verbenaceae sp ^{1,2,3,4,5,6}
Commelinaceae	71. <i>Sida rhombifolia</i> ^{2,3,6}	Não identificado
35. <i>Commelina erecta</i> ⁶	72. <i>Sida</i> sp ^{2,3,6}	101 a 134. Não identificado
36. <i>Commelina</i> sp ⁶	73. <i>Waltheria</i> sp ^{2,3,6}	
Convolvulaceae	Melastomataceae	

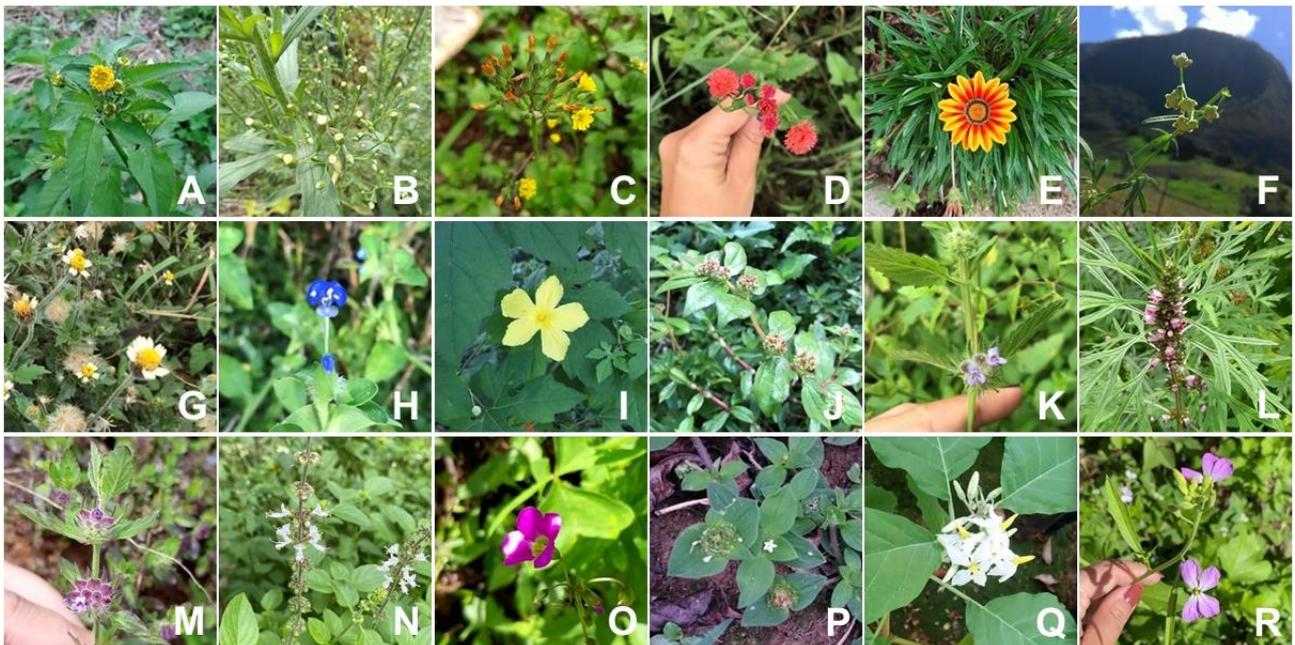


Figura 2.1 – Plantas em florescimento encontradas no entorno dos plantios. A- *Bidens pilosa* (sp12), B- *Conyza* sp. (sp14), C- *Crepis japonica* (sp16), D- *Emilia* sp. (sp17), E- *Gazania rigens* (sp18), F- *Parthenium* sp1 (sp20), G- *Tridax procumbens* (sp26), H- *Commelina* sp. (sp36), I- Cucurbitaceae sp. (sp46), J- *Euphorbia hirta* (sp50), K- *Hyptis* sp. (sp56), L- *Leonurus japonicus* (sp58), M- *Mesosphaerum* sp. (sp59), N- *Ocimum basilicum* (sp60), O- *Oxalis* sp1 (sp81), P- *Richardia brasiliensis* (sp94), Q- *Solanum paniculatum* (sp97) e R- Não identificada (sp115).

2.5.2 – Estrutura da comunidade de abelhas em flores na paisagem local dos plantios de cafeeiros

Foram coletadas 1567 abelhas nas plantas em florescimento no entorno dos plantios de *C. arabica* (1268 indivíduos) e de *C. canephora* (297), pertencentes a cinco famílias, 15 tribos e 73 espécies (Tabela 2.2 e 2.3). As tribos com maior riqueza de espécies foram Augochlorini (21 espécies) e Meliponini (18 espécies). Já as tribos com maior abundância foram Meliponini (836 indivíduos), Apini (354), Augochlorini (125) e Exomalopsini (70).

No entorno dos plantios de *C. arabica* ocorreram 58 espécies de abelhas, sendo Meliponini e Augochlorini as tribos com maior riqueza de espécies (18 e 16 espécies, respectivamente) (Tabela 2.2). As espécies de abelhas com maior abundância no entorno de plantios de *C. arabica* foram: *Apis mellifera* (297 indivíduos), *Paratrigona subnuda* (225), *Trigona spinipes* (208), *Tetragonisca angustula* (78) e *Trigona braueri* (47) (Figura 2.2A, B, C, D e E, respectivamente). Os plantios com maior abundância e riqueza de abelhas foram RC (n= 282 indivíduos, S= 23 espécies) e NQ (n= 182 indivíduos, S= 25 espécies). A maior diversidade de abelhas foi amostrada nas áreas de entorno dos plantios BO ($H' = 2,82$) e do NQ ($H' = 2,51$) (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas em espécies em florescimento no entorno de plantios de **Coffea arabica** (em negrito: espécies coletadas também nas flores do cafeeiro), em período de ausência de flores do cafeeiro. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

Tribo	Espécie	<i>Coffea arabica</i>									
		AF	KA	EU	JR	CM	RC	NQ	VI	BO	JF
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	22	33	39	41	23	71	3	12	11	42
Emphorini	<i>Melitoma segmentaria</i> (Fabricius, 1804)			3				1			
Eucerini	<i>Peponapis fervens</i> (Smith, 1879)								2		
	<i>Thygater (Thygater) analis</i> (Lepeletier, 1841)		1								
Euglossini	<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier, 1841								2		
Exomalopsini	<i>Exomalopsis analis</i> Spinola, 1853		1			1	12		2	2	
	<i>Exomalopsis auropilosa</i> Spinola, 1853				1	5	8		1	5	1
	<i>Exomalopsis fernandoi</i> Moure, 1990						3				
	<i>Exomalopsis vernoniae</i> Schrottky, 1909						1				
Tapinotaspidini	<i>Lophopedia minor</i> Aguiar, 2009							1			
	<i>Lophopedia nigrispinis</i> (Vachal, 1909)							1			
	<i>Paratetrapedia bicolor</i> (Smith, 1854)						1	9			
	<i>Paratetrapedia fervida</i> (Smith, 1879)							3			
Meliponini	<i>Friesella schrottkyi</i> (Friese, 1900)						6				
	<i>Melipona bicolor</i> Lepeletier, 1836									1	
	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836)	1			21	5	4	2		2	
	<i>Oxytrigona tataira</i> (Smith, 1863)							17			
	<i>Paratrigona subnuda</i> Moure, 1947	58	29	10	38		84			6	
	<i>Partamona criptica</i> Pedro & Camargo, 2003		1								
	<i>Partamona helleri</i> (Friese, 1900)						2				
	<i>Partamona sooretamae</i> Pedro & Camargo, 2003										1
	<i>Plebeia droryana</i> (Friese, 1900)		1		1		3	30		1	
	<i>Plebeia phrynostoma</i> Moure, 2004						2			1	5
	<i>Scaptotrigona xanthotricha</i> Moure, 1950									16	4
	<i>Scaptotrigona</i> sp									5	
	<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier, 1836)	4	4		1	2	4			8	9
	<i>Tetragona clavipes</i> (Fabricius, 1804)					1					
	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	2	2	21		1	17	14	15	6	
	<i>Trigona braueri</i> Friese, 1900						5	30		8	4
	<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900							14		1	4
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	7	15	14	7	17	46	37	43	10	12	
Ceratinini	<i>Ceratina (Crewella) sp1</i>				1	1		3	18		
	<i>Ceratinula</i> sp1			1	1	15		2		2	
	<i>Ceratinula</i> sp2				1	3					
Protandrenini	<i>Anthrenoides meridionalis</i> (Schrottky, 1906)	1									
Hylaeini	<i>Hylaeus</i> sp				1						
Augochlorini	<i>Augochlora aurinasis</i> (Vachal, 1911)				1			1	2		
	<i>Augochlora braziliensis</i> (Vachal, 1911)							1			
	<i>Augochlora esox</i> (Vachal, 1911)			1			1				
	<i>Augochlora morrae</i> Strand, 1910		1	5						1	
	<i>Augochlora thusnelda</i> (Schrottky, 1909)								1		
	<i>Augochlora</i> sp	1	1	1			1	1	3		2
	<i>Augochlorella acarinata</i> Coelho, 2004								1		
	<i>Augochlorella ephyra</i> (Schrottky, 1910)										1
	<i>Augochlorella urania</i> (Smith, 1853)		1	1	1						
	<i>Augochloropsis diversipennis</i> (Lepeletier, 1841)										1
	<i>Augochloropsis electra</i> (Smith, 1853)								1	1	
	<i>Augochloropsis patens</i> (Vachal, 1903)		1	4		1	1	2	1	1	
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) sp2</i>								1		
	<i>Neocorynura oiospermi</i> (Schrottky, 1909)			2					1		2
	<i>Pseudaugochlora flammula</i> Almeida, 2008			2			2				
<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)		1	4			2		1			
Halictini	<i>Agapostemon semimelleus</i> Cockerell, 1900										1
	<i>Dialictus</i> sp1	1		4		4	3	5	1	3	3
	<i>Dialictus</i> sp3					2		1			
	<i>Dialictus</i> sp4			1		1		1			
	<i>Dialictus</i> sp5			3			1			6	1
Megachilini	<i>Coelioxys</i> sp					1					
	Não identificado		1	2	3				1		
TOTAL		97	93	118	119	83	280	182	106	98	92
Riqueza (S)		9	14	17	13	16	23	25	15	22	15
Diversidade (H')		1,27	1,76	2,22	1,63	2,23	2,13	2,51	1,93	2,82	2,01
Equitabilidade (J)		0,58	0,66	0,78	0,63	0,80	0,68	0,78	0,71	0,91	0,74

No entorno das áreas de *C. canephora*, 41 espécies de abelhas foram identificadas sendo Augochlorini (14 espécies) e Meliponini (8 espécies) as tribos com maior riqueza (Tabela 2.3). As espécies com maior abundância nas plantas do entorno dos plantios de *C. canephora* foram: *A. mellifera* (57 indivíduos), *T. angustula* (45), *Augochlora aurinasis* (18), *Exomalopsis auropilosa* (16) e *Nannotrigona testaceicornis* (14) (Figura 2.2A, D, F, G e H, respectivamente). O plantio SF apresentou maior abundância de abelhas coletadas no seu entorno (82 indivíduos). Já, JB e LE, destacaram-se por maiores valores de abundância (n= 64 indivíduos, n= 62, respectivamente) e riqueza (S= 23 espécies, S= 18, respectivamente). A diversidade de espécies de abelhas foi maior no entorno do plantio JB ($H' = 2,90$) (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Composição e abundância de espécies de abelhas coletadas em espécies em florescimento no entorno de plantios de **Coffea canephora** (em negrito: espécies coletadas também nas flores do cafeeiro), em períodos de ausência de flores do cafeeiro. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

Tribo	Espécie	<i>Coffea canephora</i>				
		SF	JA	SI	JB	LE
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	13	21		4	19
Centridini	<i>Centris (Hemisiella) tarsata</i> Smith, 1874				1	
	<i>Centris (Hemisiella) sp</i>				1	
Emphorini	<i>Melitoma segmentaria</i> (Fabricius, 1804)				1	
Euglossini	<i>Euglossa pleosticta</i> Dressler, 1982				2	
	<i>Euglossa spp</i>				4	
Exomalopsini	<i>Exomalopsis analis</i> Spinola, 1853	4	1		5	1
	<i>Exomalopsis auropilosa</i> Spinola, 1853	8	1		1	6
Meliponini	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836)				14	
	<i>Oxytrigona tataira</i> (Smith, 1863)			1		
	<i>Paratrigona subnuda</i> Moure, 1947		4			
	<i>Plebeia droryana</i> (Friese, 1900)	4				
	<i>Tetragona clavipes</i> (Fabricius, 1804)					2
	<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	28	10		3	4
	<i>Trigona braueri</i> Friese, 1900	13				
	<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	6	2			3
Ceratinini	<i>Ceratina (Crewella) sp1</i>		2			1
	<i>Ceratina (Crewella) sp2</i>		1			
	<i>Ceratinula sp1</i>			6		
	<i>Ceratinula sp2</i>			9		
Oxaeini	<i>Oxaea flavescens</i> Klug, 1807				6	
Augochlorini	<i>Augochlora aurinasis</i> (Vachal, 1911)	1	2	7	2	6
	<i>Augochlora esox</i> (Vachal, 1911)		1		1	1
	<i>Augochlora morrae</i> Strand, 1910					2
	<i>Augochlora tenax</i> Lepeco & Gonçalves, 2020			8		1
	<i>Augochlora sp</i>				3	1
	<i>Augochlorella urania</i> (Smith, 1853)				1	1
	<i>Augochloropsis calypso</i> (Smith, 1879)				1	
	<i>Augochloropsis patens</i> (Vachal, 1903)	1	1			4
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) sp1</i>				1	
	<i>Augochloropsis (Paraugochloropsis) sp2</i>		1			1
	<i>Corynurella mourei</i> Eickwort, 1969				1	
	<i>Neocorynura oiospermi</i> (Schrottky, 1909)		3			
	<i>Pereirapis semiaurata</i> (Spinola, 1853)				2	
	<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)		2		7	
	Halictini	<i>Dialictus sp1</i>		1	2	1
<i>Dialictus sp5</i>			1			1
Megachilini	<i>Megachile (Chrysosarus) parsonsiae</i> Schrottky, 1913			1		
	<i>Megachile (Moureapis) benigna</i> Mitchell, 1930				1	
	<i>Megachile (Neochelynia) brethesi</i> Schrottky, 1909				1	
	<i>Megachile (Pseudocentron) terrestris</i> Schrottky, 1902					1
	Não identificado	4	1			
	TOTAL	82	55	34	64	62
	Riqueza (S)	9	16	7	23	18
	Diversidade (H')	1,86	2,25	1,78	2,90	2,51
	Equitabilidade (J)	0,84	0,81	0,91	0,92	0,87

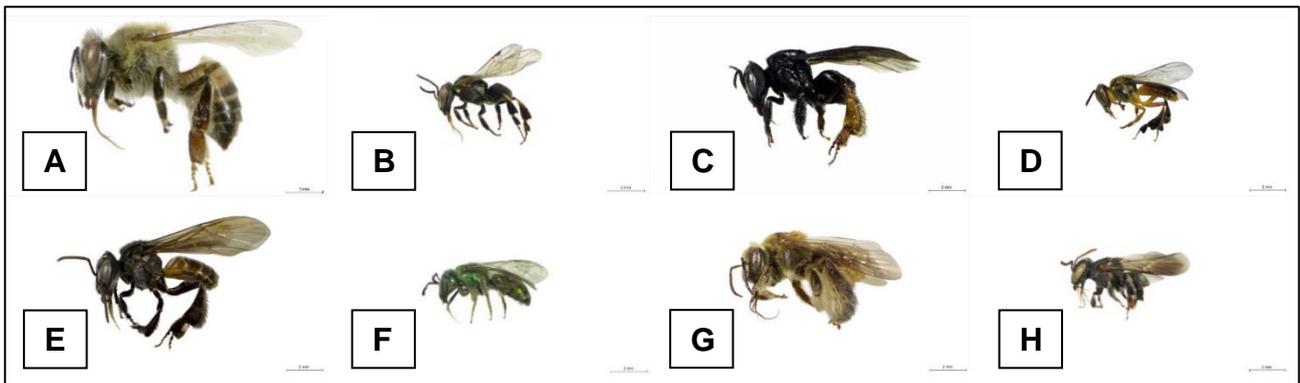


Figura 2.2 – Espécies de abelhas mais abundantes nas áreas do entorno dos plantios de café: *Apis mellifera* (A), *Paratrigona subnuda* (B), *Trigona spinipes* (C), *Tetragonisca angustula* (D), *Trigona braueri* (E), *Augochlora aurinasis* (F), *Exomalopsis auropilosa* (G) e *Nannotrigona testaceicornis* (H). Escala: 2 mm.

2.5.3 – Comunidade de abelhas nos cafeeiros e no entorno dos plantios

Ao avaliar a relação entre a riqueza de plantas encontradas no entorno dos plantios com a abundância, riqueza e diversidade de abelhas no café, nota-se que o plantio NQ, que apresentou a maior riqueza de plantas no entorno (18 espécies), apresentou a maior diversidade de abelhas nas flores do café. Por outro lado, o plantio SI, com a menor riqueza de plantas no entorno (4 espécies), apresentou menor abundância, riqueza e diversidade de abelhas nas flores do café. No geral, a riqueza de plantas no entorno apresentou uma tendência positiva e marginalmente significativa com a diversidade de abelhas no café ($R^2= 0,24$; $p= 0,06$) (Figura 2.3), e não apresentou relação com a abundância e riqueza de abelhas no café ($R^2= 0,55\%$ e $p= 0,79$; $R^2= 0,19$ e $p= 0,87$, respectivamente).

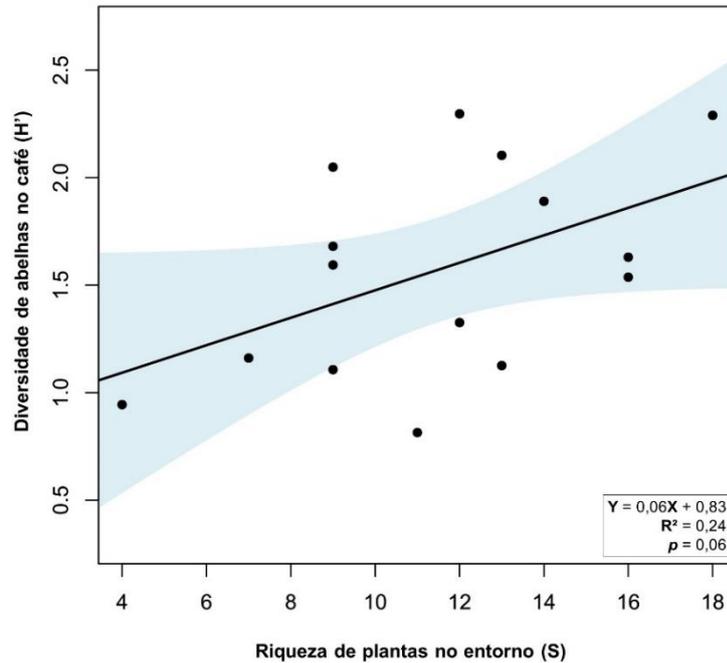


Figura 2.3 – Relação entre o índice de diversidade de Shannon para a comunidade de abelhas amostradas nas flores do cafeeiro e a riqueza de plantas encontradas no entorno dos plantios. O sombreado azul claro indica intervalo de confiança de 95% da regressão.

Comparando-se a comunidade de abelhas visitantes dos plantios de café com a comunidade de abelhas em flores de outras espécies de plantas no entorno do respectivo plantio, observa-se valores de similaridade quantitativa que variam de 20 a 58% em plantios de *C. arabica* e 7 a 32% em plantios de *C. canephora*, e similaridade qualitativa de 11% a 51% em *C. arabica* e 14 a 36% em *C. canephora* (Tabela 2.4; Tabela 1.2; Tabela 1.3). Dentre as abelhas coletadas no entorno dos plantios, 25 espécies também foram coletadas nas flores de *C. arabica* e 20 espécies nas flores de *C. canephora* (Tabela 2.2 e 2.3).

A maioria das espécies de Meliponini, tribo mais representativa neste estudo, que visitaram as flores do café também ocorreram nas flores do entorno; já o entorno apresentou todas as abelhas dessa tribo coletadas nas flores do cafeeiro. Abelhas das tribos Emphorini, Protandrenini, Hylaeini e Megachilini só ocorreram no entorno, não tendo sido coletadas nas flores dos cafeeiros (Tabela 2.2 e 2.3).

Tabela 2.4 – Índice de similaridade de Bray-Curtis (similaridade quantitativa) e de Jaccard (similaridade qualitativa) entre a comunidade de abelhas coletadas em flores do cafeeiro e a comunidade de abelhas coletadas nas plantas em florescimento no entorno dos respectivos plantios. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

	Plantio	Bray-Curtis (quantitativo)	Jaccard (qualitativo)
<i>Coffea arabica</i>	AF	0,3371	0,4166
	KA	0,4295	0,3157
	EU	0,5025	0,1578
	JR	0,3157	0,2777
	CM	0,2008	0,2077
	RC	0,4324	0,5172
	NQ	0,3586	0,2000
	VI	0,5860	0,1153
	BO	0,3063	0,2692
	JF	0,4894	0,2307
<i>Coffea canephora</i>	SF	0,3255	0,3636
	JA	0,1326	0,1428
	SI	0,0714	0,2307
	JB	0,0975	0,1944
	LE	0,1949	0,2000

A tribo Meliponini apresentou maior abundância relativa (>50%) nas amostras do entorno de oito plantios, variando de 54,7% (VI) a 79,1% (NQ) (Figura 2.4). Diferentemente, no entorno do plantio SI, as tribos com maior abundância relativa foram Augochlorini e Ceratinini, ambas representando 44,11% dos indivíduos coletados em cada. Destaca-se o entorno dos plantios JB e LE, onde a abundância relativa de abelhas da tribo Augochlorini também foi maior que a da tribo Meliponini (29,7% e 27,4%, respectivamente).

Ao comparar a abundância relativa das tribos de abelhas coletadas nas plantas do entorno (Figura 2.4) com as abelhas coletadas nas flores do cafeeiro (Figura 1.7, capítulo 1), pode-se notar que nas áreas de *C. arabica* o perfil entre composição de abelhas no café e no entorno é semelhante em termos de proporções das tribos de abelhas mais abundantes. Por outro lado, as proporções das tribos de abelhas mais abundantes nas áreas de *C. canephora* são menos semelhantes. Nesse caso, a composição entre café e entorno apresenta proporções diferentes entre Apini e Meliponini, além de um aumento na proporção de Augochlorini no entorno de *C. canephora*.

A riqueza de Meliponini variou entre duas e 12 espécies por plantio, sendo que no entorno da maioria dos plantios, uma única espécie de abelha teve abundância relativa maior do que 40% (Figura 2.5 e 2.6). *P. subnuda* foi a espécie mais abundante em quatro plantios de *C. arabica* (AF, KA, JR e RC), atingindo até 80,5% da abundância relativa entre as abelhas sem ferrão (Figura 2.5). *T. spinipes* foi a espécie mais representativa no entorno dos plantios CM e VI, com 65,3% e 74,1% (Figura 2.5). No entorno dos plantios SF e JA, *T. angustula* e, em JB, *N. testaceicornis*, foram as espécies de Meliponini mais abundantes

(Figura 2.6). Somente na área VI as espécies de Meliponini mais abundantes durante a floração do café, *T. spinipes* e *T. angustula*, permaneceram mais abundantes nas plantas do entorno (Figura 2.5).

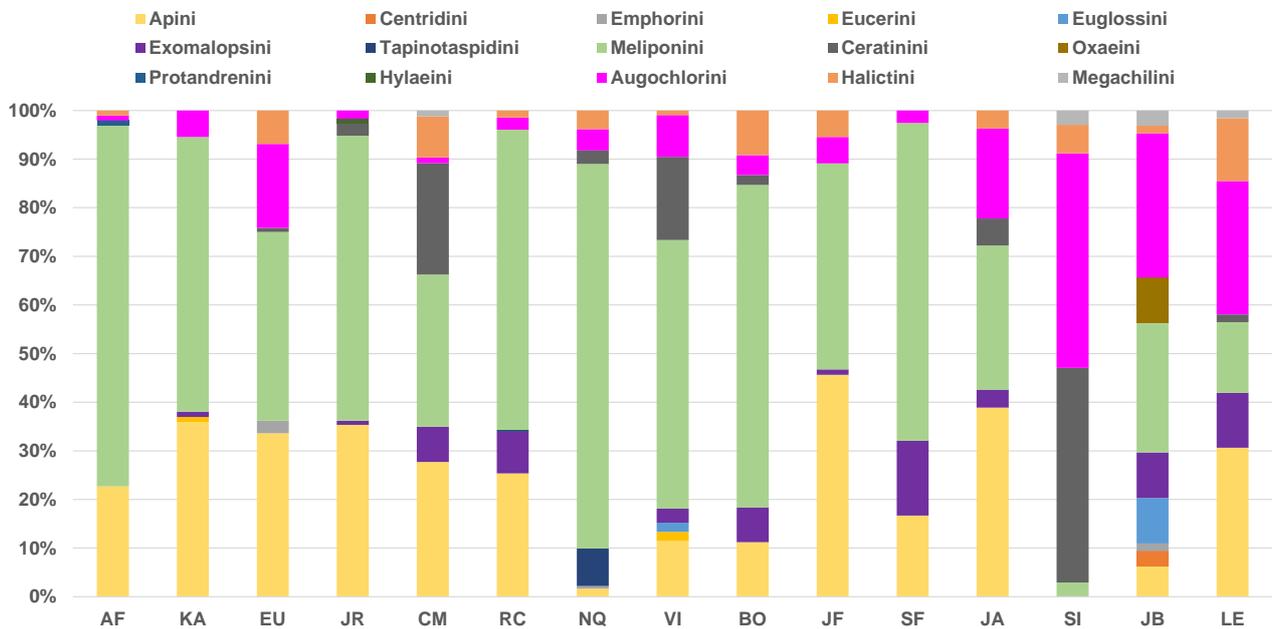


Figura 2.4 – Abundância relativa (%) das tribos de abelhas coletadas nas plantas em florescimento do entorno das áreas de plantio de *Coffea arabica* (AF até JF) e *Coffea canephora* (SF até LE) estudadas. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

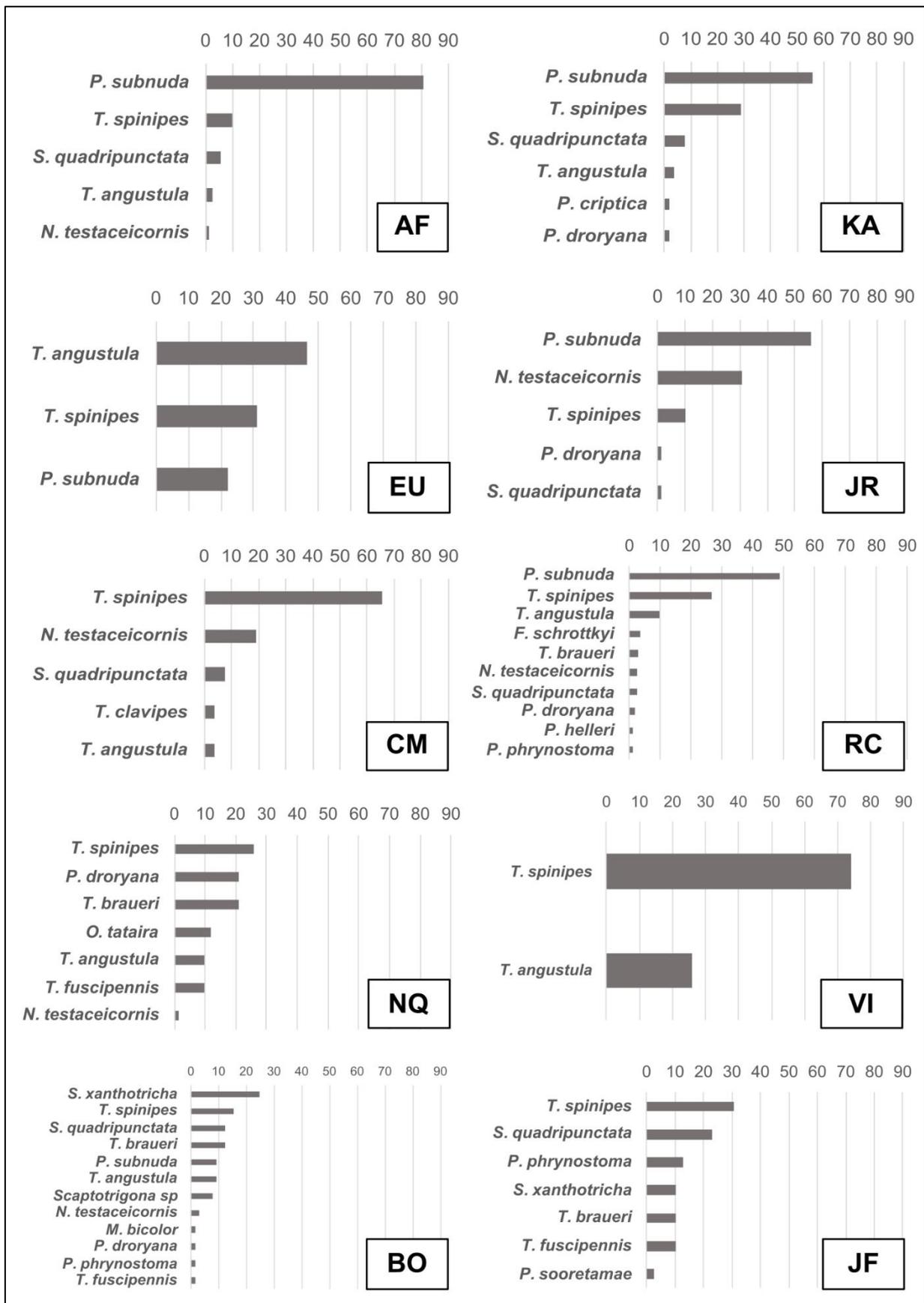


Figura 2.5 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas dentro da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de *C. arabica* localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

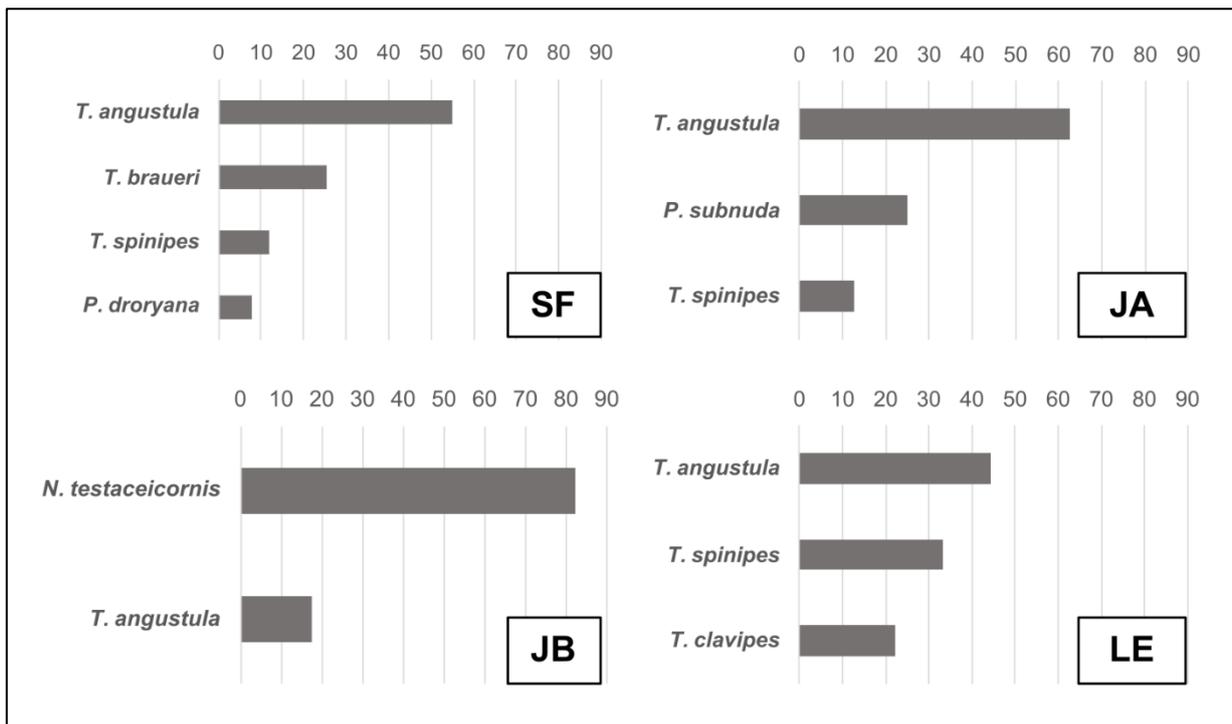


Figura 2.6 – Abundância relativa (%) de espécies de abelhas dentro da tribo Meliponini amostradas em áreas de plantio de *C. canephora* localizadas no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

2.5.4 - Interações entre abelhas e plantas fontes de recursos no entorno dos plantios de cafeeiros

A rede qualitativa de interações entre as abelhas e plantas com flores nas áreas do entorno de plantios de *C. arabica* (Figura 2.7) mostra 58 espécies de abelhas interagindo com 79 espécies de plantas, resultando em um valor de conectância de 0,07. As espécies *T. spinipes*, *A. mellifera*, *P. subnuda* e *T. angustula* apresentaram o maior número de interações (40, 35, 26 e 17 interações, respectivamente). As plantas com maior número de interações foram uma espécie não identificada (sp104, 20 interações), *Bidens pilosa* (sp12, 17 interações) e *Emilia* sp (sp17, 12 interações).

Na rede qualitativa de interações entre as abelhas e plantas com flores nas áreas do entorno de plantios de *C. canephora* (Figura 2.8), 41 espécies de abelhas interagiram com 38 plantas, com conectância de 0,07. As espécies *A. mellifera*, *T. angustula*, *E. auropilosa* e *T. spinipes* apresentaram os maiores números de ligações (11, 9, 8 e 7, respectivamente). As plantas com maior número de interações foram: *Leonurus japonicus* (sp58, Lamiaceae) com 19 interações, *Acmella oleraceae* (sp8, Asteraceae) com 9 e Cucurbitaceae sp (sp46) com 7 interações.

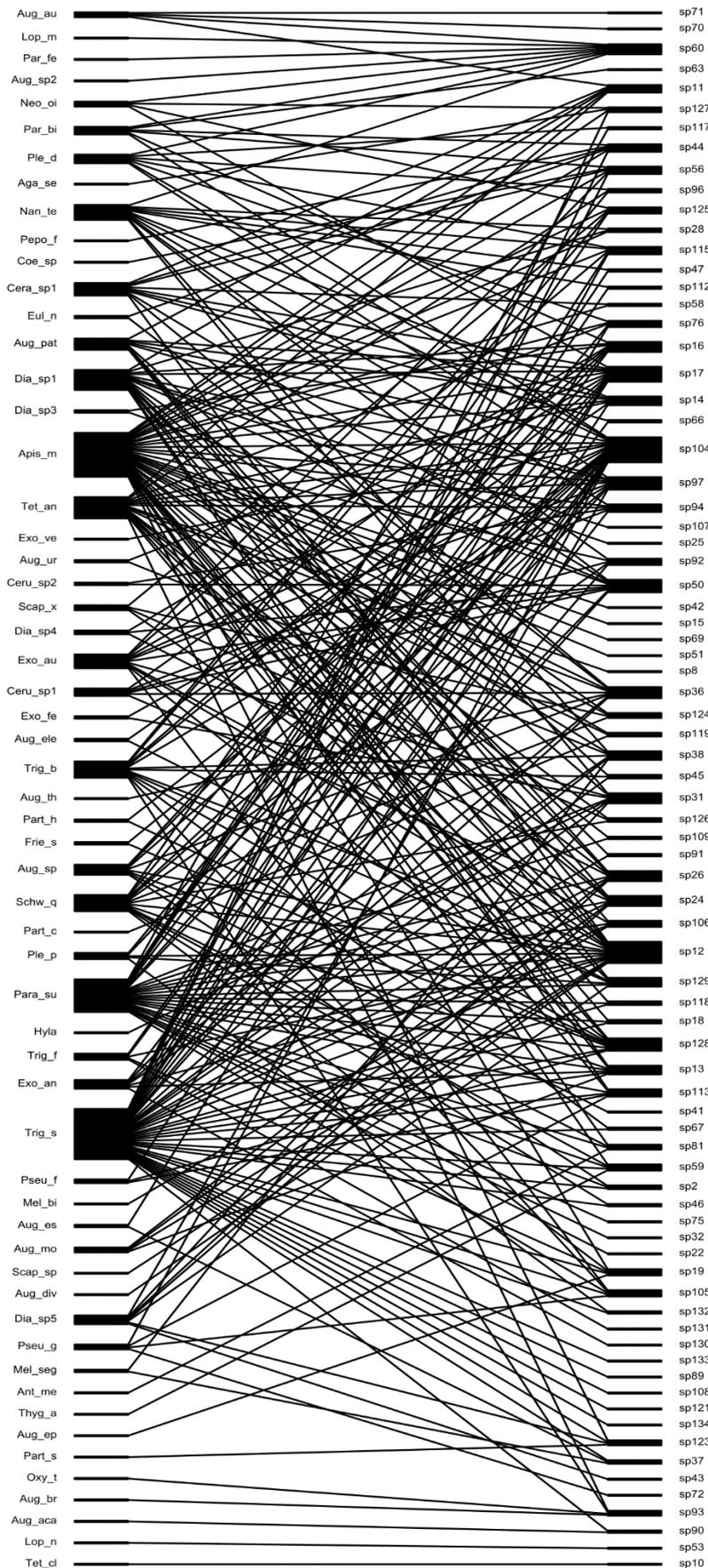


Figura 2.7 – Rede de interações qualitativas entre abelhas visitantes e plantas em florescimento no entorno de plantios de *C. arabica* localizados no sul do ES e norte do RJ. Plantas identificadas conforme tabela 2.1.

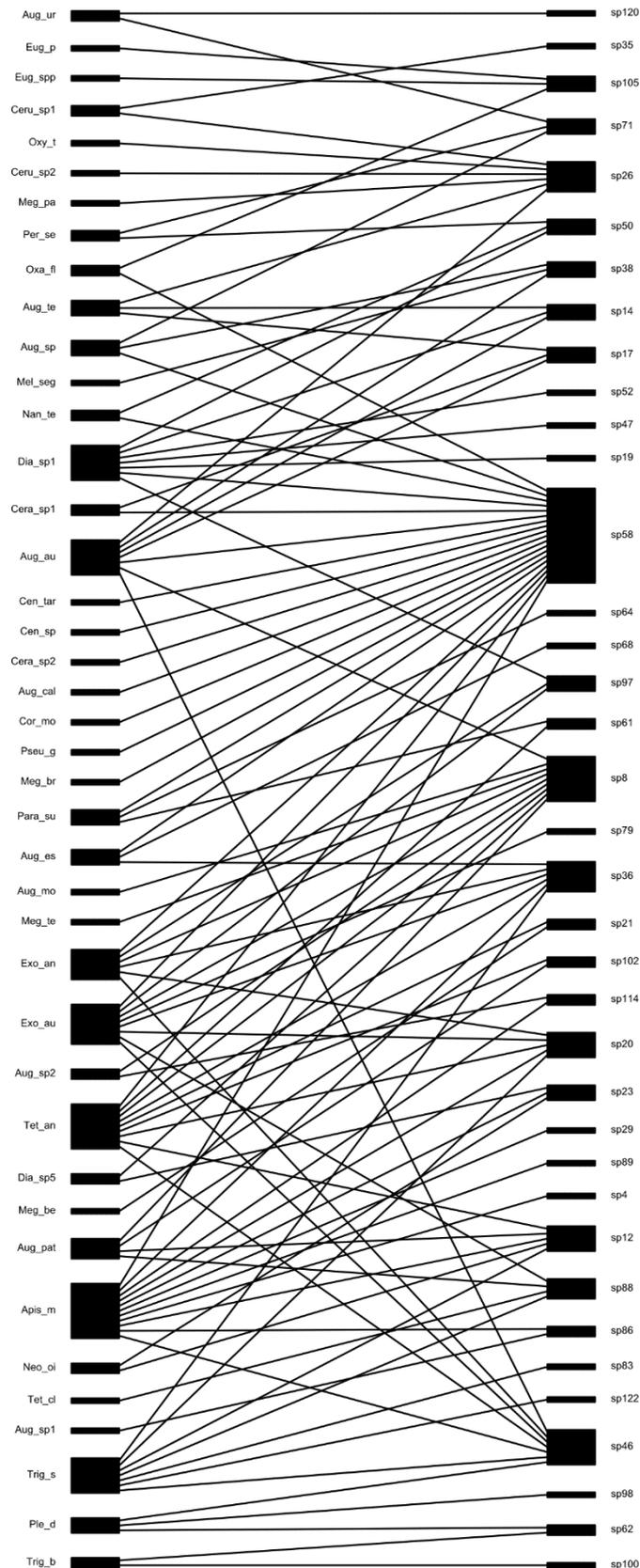
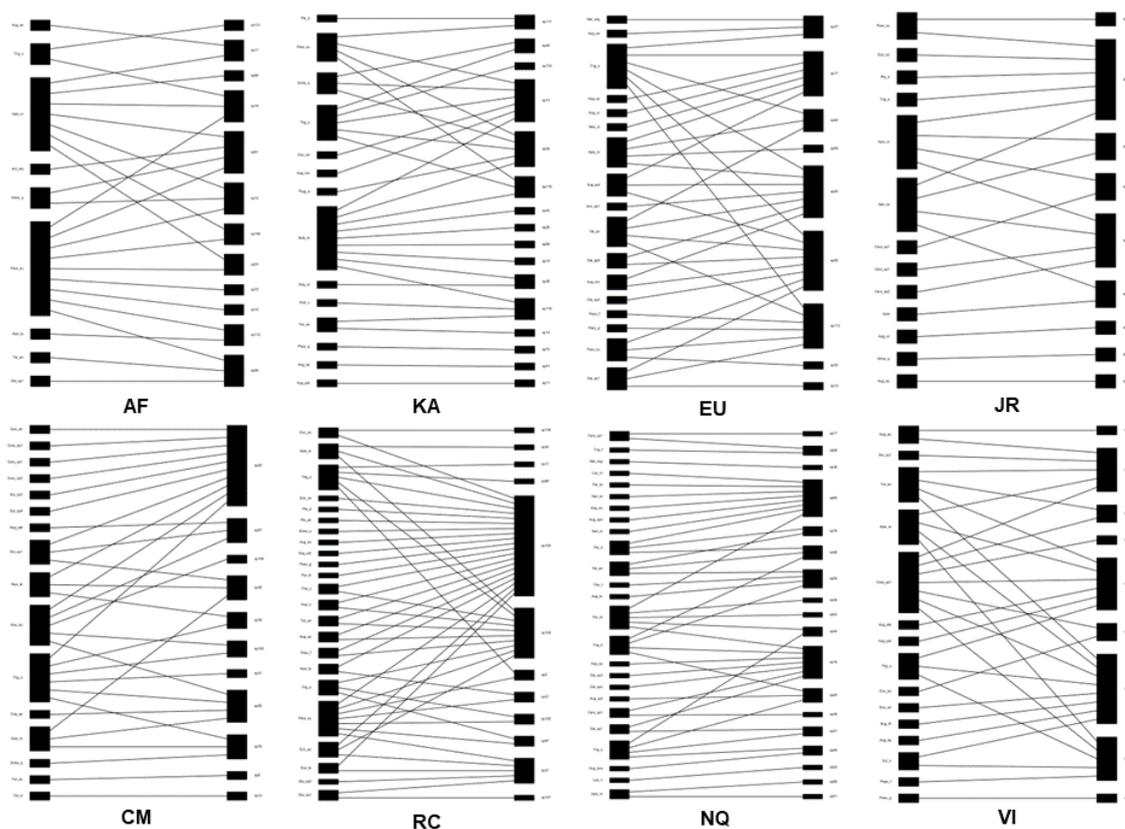


Figura 2.8 – Rede de interações qualitativas entre abelhas visitantes e plantas em florescimento no entorno de plantios de *C. canephora* localizados no sul do ES. Plantas identificadas conforme tabela 2.1.

Ao analisar as redes das abelhas visitando as plantas no entorno de cada plantio, pode-se notar a espécie de abelha com maior interação com plantas do entorno através do número de ligações: *A. mellifera* foi a espécie com maior número de ligações nos plantios KA, JF, SF e JA; *T. spinipes* nos plantios EU, CM, BO e LE; *P. subnuda* nos plantios AF e RC; *N. testaceicornis* no JR; *Paratetrapedia bicolor* no NQ; *Ceratina* sp1 no VI e *Augochlora* sp no JB. No plantio SI, quatro espécies apresentaram duas ligações cada: *Ceratinula* sp1, *A. aurinasis*, *Augochlora tenax* e *Dialictus* sp1 (Figura 2.9).

Apenas nos plantios NQ, VI e JB, as abelhas com maior número de ligações nas redes não foram coletadas nas flores do café durante a floração. Nos demais plantios, as abelhas que foram coletadas nas flores do café e no entorno foram espécies com maior número de interações (Figura 2.9, Tabela 2.5).

As plantas do entorno mais visitadas em cada plantio foram: da família Asteraceae, *Bidens* sp1 (KA), *Tridax procumbens* (EU e SI), *B. pilosa* (BO e JF) e *Acmella* sp (LE); da família Lamiaceae, *Ocimum basilicum* (NQ) e *L. japonicus* (JA e JB); da família Euphorbiaceae, *Euphorbia hirta* (CM); da família Oxalidaceae, *Oxalis* sp1 (AF); da família Commelinaceae, *Commelina* sp (VI); da família Cucurbitaceae, Cucurbitaceae sp (SF); e duas espécies não identificadas, sp104 (RC) e sp115 (JR) (Figura 2.9).



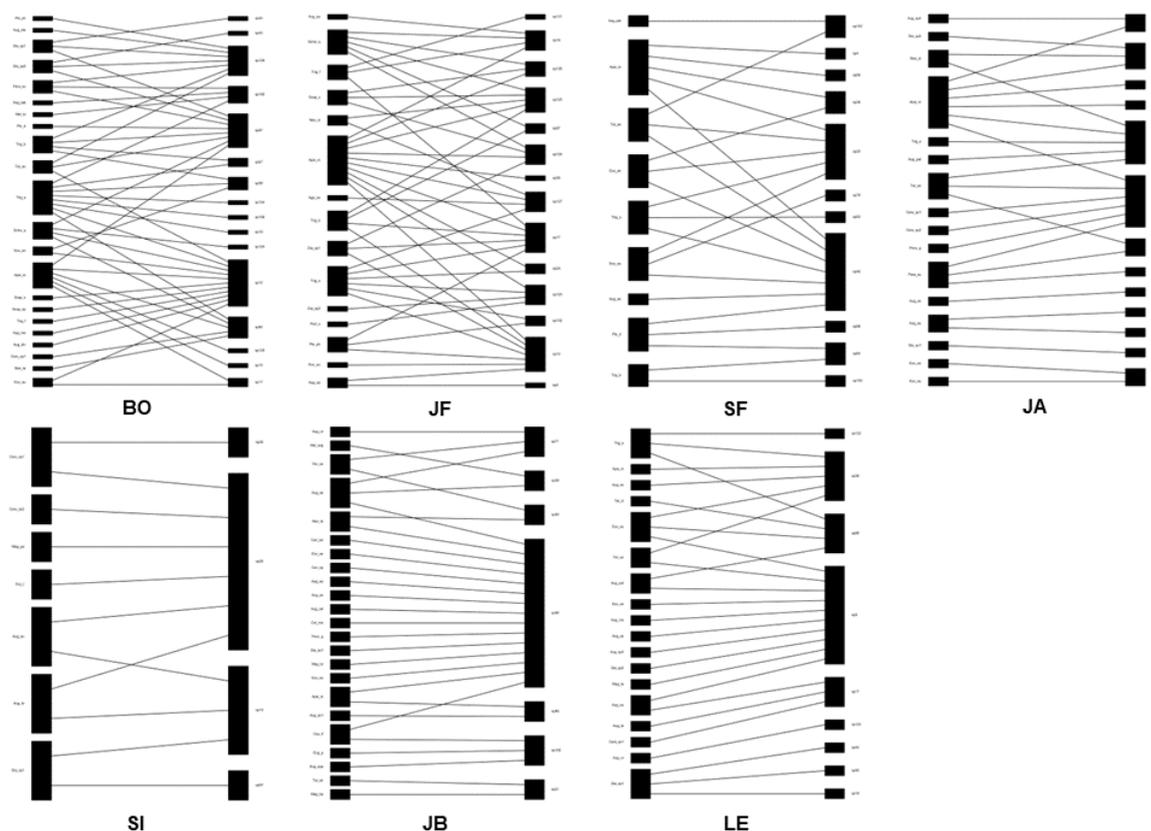


Figura 2.9 – Redes de interações qualitativas entre abelhas e plantas em florescimento no entorno de plantios de *C. arabica* (AF até JF) e *C. canephora* (SF até LE) localizados no sudeste do Brasil. Plantas identificadas conforme tabela 2.1. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1).

Tabela 2.5 – Métricas das redes de interações qualitativas (Figura 2.9) entre abelhas e plantas em florescimento no entorno de cada plantio de *C. arabica* e *C. canephora* localizados no sudeste do Brasil. Siglas indicam as áreas de plantios (Tabela 1.1)

Plantio	Densidade de ligações	Links por espécie	Conectância
AF	4,12	1,190476	0,2314815
KA	3,8125	1,066667	0,1428571
EU	4,416667	1,384615	0,2352941
JR	2,85	0,909090	0,1709402
CM	4,096774	1,148148	0,1761364
RC	7,208333	1,371429	0,173913
NQ	3,27907	1,00	0,0955555
VI	4,322581	1,291667	0,2296296
BO	4,88	1,315789	0,1420455
JF	4,608696	1,586207	0,2190476
SF	3,50	1,20	0,2424242
JA	3,00	0,931034	0,1298077
SI	3,00	1,00	0,3928571
JB	5,206897	0,966666	0,1801242
LE	3,814815	1,00	0,1666667

2.6 – DISCUSSÃO

O inventário das plantas em florescimento no entorno das áreas de plantio de café, como apresentado neste capítulo, revelou a presença de um grande número de espécies herbáceas como fontes potenciais de recursos florais para abelhas. Outro estudo desta natureza, desenvolvido no Quênia (Karanja *et al.*, 2010), analisou as plantas visitadas por abelhas no entorno de plantios convencionais e orgânicos de café arábica e, encontrou 42 espécies de plantas, ou seja, 31,3% da riqueza encontrada no presente estudo. Além disso, nas mesmas áreas de plantio do presente estudo, Silva (2022) amostrou 78 tipos polínicos diferentes nas amostras de pólen aderido às corbículas de fêmeas da espécie *Schwarziana quadripunctata* coletadas sobre as flores do cafeeiro. Isso demonstra que mesmo durante a floração em massa do cafeeiro, *S. quadripunctata* coletou pólen de diversas plantas como espécies de Fabaceae, Solanaceae e Rubiaceae. Ressalta-se ainda que, o autor observou 12 famílias botânicas que não foram relatadas neste presente estudo.

A composição das plantas em florescimento no entorno constituída principalmente por herbáceas, demonstra uma maior interação de abelhas com plantas desse hábito. Em um estudo realizado no entorno de plantios de *Coffea arabica* na Costa Rica, Florez e colaboradores (2002) apontaram que a abundância de abelhas aumentou com a cobertura de herbáceas no entorno dos plantios de cafeeiro.

Dentre as 73 espécies de abelhas amostradas nas plantas em florescimento no entorno dos plantios de cafeeiro, a riqueza de 58 espécies, coletadas apenas no entorno de *C. arabica*, foi maior do que a literatura. Florez e colaboradores (2002) amostraram 39 espécies de abelhas em plantio de *C. arabica* na Costa Rica. Além disso, o presente estudo observou que abelhas da tribo Meliponini e Apini (*Apis mellifera*) foram as espécies mais abundantes, seguidas da tribo Augochlorini, para as duas espécies de café avaliadas. Em um estudo em áreas de *C. arabica*, os grupos mais abundantes foram Meliponini, Halictidae e Apidae (excluindo *A. mellifera*) (Florez *et al.*, 2002). Meliponini e Apini são abelhas com atividade de forrageamento ao longo de todo o ano, com colônias populosas e perenes, além de recrutamento de operárias (Nogueira-Neto, 1997; Alves-dos-Santos *et al.*, 2016). Essa maior abundância local também da tribo Augochlorini é sugerida pelo seu comportamento polilético na coleta de recursos e construção de ninhos com arquiteturas diversas no solo (Eickwort & Sakagami, 1979; Michener, 2000; Jha & Vandermeer, 2010).

A riqueza de plantas em florescimento no entorno dos plantios exibiu uma relação positiva com a diversidade de abelhas coletadas nas flores do cafeeiro, corroborando a primeira hipótese deste estudo. No entanto, a riqueza de plantas não mostrou relação com

a abundância e a riqueza de abelhas das flores do cafeeiro e com a abundância, riqueza e diversidade de abelhas do entorno. Pavan (2021) coletou abelhas nas plantas em florescimento no entorno dos plantios de cafeeiro ao longo do ano durante a presença e ausência de floração do café e, observou uma relação positiva da riqueza de plantas em floração com a abundância de abelhas quando o cafeeiro não estava em floração e com a diversidade de abelhas nativas ao longo do ano, ambas principalmente maiores em cultivos orgânicos. Outros estudos também observaram relação da diversidade de plantas em florescimento no entorno dos plantios de café com a abundância e diversidade de abelhas e, da cobertura de ervas daninhas com a riqueza e diversidade de abelhas (Florez *et al.*, 2002; Karanja *et al.*, 2012). Esses resultados reforçam a importância da manutenção da diversidade de plantas em ambientes agrícolas, durante a presença e ausência de floração dos cultivos, para que haja maior oferta de recursos florais utilizados na alimentação e na construção dos ninhos das abelhas ao longo do ano (Kline & Joshi, 2020) e, desta forma, auxiliando na conservação da diversidade de abelhas polinizadoras e propiciando no aumento na produção de frutos (Kremen *et al.*, 2007).

A baixa similaridade de espécies da comunidade de abelhas amostradas nas plantas em florescimento no entorno com a comunidade de abelhas observadas em *C. arabica* (25 espécies comuns) e em *Coffea canephora* (20) não corrobora com a segunda hipótese do presente estudo. Essa menor similaridade de espécies pode ser devido à variação de sazonalidade de atividades de nidificação das abelhas e oferta de outros recursos de alimentação e nidificação (óleos e resinas). Quanto às abelhas comuns no cafeeiro e no entorno, sua permanência nas áreas é importante através de práticas amigáveis em paisagem agrícola e natural.

Apesar da baixa similaridade da comunidade de abelhas, ao considerar a tribo mais abundante desse estudo, a maioria das espécies da tribo Meliponini que foram coletadas nas flores do café também foram observadas no entorno, corroborando com a segunda hipótese. As abelhas dessa tribo apresentam atividade de forrageamento ao longo de todo o ano (Nogueira-Neto, 1997). Dessa forma, quando o cafeeiro não está no período de floração em massa nas áreas de estudo, essas abelhas estão buscando seus recursos nas plantas em floração no entorno dos plantios. Isso indica que essas espécies possivelmente constroem seus ninhos nas proximidades do plantio, tendo recursos disponíveis durante todo o ano (Machado *et al.*, 2020). Além disso, dentre essas espécies de Meliponini comuns entre o cafeeiro e o entorno, estão as espécies coletadas mais abundantes nas áreas, isso indica que na ausência de outras flores como fontes de recursos quando o café não está

em floração pode levar a uma perda dessas espécies de abelhas e afetar a produção do cafeeiro nas florações futuras.

As abelhas da tribo Meliponini foram as que apresentaram maior número de ligações nas redes de interação e as famílias de plantas visitadas por essas abelhas já são conhecidas na literatura como suas fontes de recursos, como: Asteraceae, Lamiaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Rubiaceae e Euphorbiaceae (Bueno *et al.*, 2023). Asteraceae foi a família com maior riqueza de espécies de plantas coletadas e em seis plantios, a espécie mais visitada pelas abelhas. Asteraceae é uma das famílias de angiospermas com mais espécies no mundo e muitas dependem da polinização por insetos (Christenhusz & Byng, 2016). As abelhas sem ferrão visitaram também espécies consideradas ervas invasoras, como *Sonchus oleraceus* (Asteraceae) e *Leonurus japonicus* (Lamiaceae) por exemplo. A capacidade dessas abelhas em utilizar diversos recursos, inclusive plantas invasoras, torna-as polinizadores eficazes de alguns cultivos, visitando plantas invasoras que são economicamente importantes (Bueno *et al.*, 2023). Sabe-se que a morfologia das flores é responsável pelo controle do acesso aos recursos disponíveis para os visitantes, sendo que todas as famílias de plantas frequentemente visitadas por abelhas sem ferrão apresentam traços florais que se desenvolveram para encorajar a visitação principalmente das abelhas (Bueno *et al.*, 2023). Mesmo em flores que apresentam morfologia que não favorecem a visita dessas abelhas, elas ainda podem acessar os recursos através de buracos feitos nas corolas (Barrows, 1976), contudo flores com formato mais acessíveis são preferidas quando disponíveis.

Um fator que pode afetar as preferências florais das abelhas sem ferrão é o tamanho corporal. A distância de forrageamento das espécies de abelhas está ligada ao tamanho do corpo (Araújo *et al.*, 2004; Greenleaf *et al.*, 2007), o que determina a escala espacial em que podem visitar plantas com flores e o efeito da escala espacial e temporal da disponibilidade de recursos (Borges *et al.*, 2020). Em algumas áreas, foi possível observar a presença de ninhos naturais de espécies de abelhas sem ferrão próximo às áreas de plantio, como *Tetragonisca angustula* (JA), *Nannotrigona testaceicornis* (JR), *Friesella schrottkyi* (RC), *S. quadripunctata* (AF e KA) e *Melipona quadrifasciata* (KA) (observação pessoal), e isso mostra que a vegetação próxima aos plantios ou até mesmo ao longo das fileiras é uma importante fonte de recursos para as abelhas sem ferrão residentes nas áreas.

Dessa forma, para que haja um melhor gerenciamento com práticas amigáveis em áreas agrícolas e partir daí aumentar e melhorar os serviços de polinização realizado pelas abelhas (Kremen *et al.*, 2007), é importante entender em que escala espacial as abelhas

utilizam recursos na paisagem para que seja possível planejar estratégias de manejo de habitat no entorno dos plantios em floração.

2.7 – CONCLUSÕES

- A diversidade de abelhas coletadas em flores de café foi maior nos plantios com maior riqueza de recursos florais no entorno, corroborando com a primeira hipótese deste capítulo. No entanto, riqueza e abundância de abelhas não apresentaram relação com riqueza de plantas no entorno.
- Dentre as abelhas, 25 espécies coletadas nas flores de *Coffea arabica* e 20 nas flores de *Coffea canephora* também foram coletadas nas plantas do entorno. Isso indica que essas abelhas se mantêm nas áreas de plantio e visitam outras fontes recursos na ausência da floração do café, corroborando com a segunda hipótese deste capítulo.
- Todas as abelhas da tribo Meliponini coletadas nas plantas do entorno estiveram presentes nas flores do café, principalmente as espécies mais abundantes nas áreas. Ressalta-se que essas abelhas foram as espécies que apresentaram maior número de ligações nas redes de interação.
- Os resultados desse estudo reforçam a importância de se conservar as plantas no entorno dos plantios para a manutenção da comunidade de abelhas, principalmente as plantas herbáceas.

2.8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves-dos-Santos, I.; Silva, C.I.; Pinheiro, M. & Kleinert, A.M.P. 2016. Quando um visitante floral é um polinizador? *Rodriguésia*, 67(2): 295–307.
- Araújo, E.D.; Costa, M.; Chaud-Netto, J. & Fowler, H.G. 2004. Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference off light range and possible ecological implications. *Brazilian Journal of Biology*, 64(3b): 563–568.
- Barrows, E.M. 1976. Nectar robbing and pollination of *Lantana camara* (Verbenaceae). *Biotropica*, 8(2): 132–135.
- Borges, R.C.; Padovani, K.; Imperatriz-Fonseca, V.I. & Giannini, T.C. 2020. A dataset of multi-functional ecological traits of Brazilian bees. *Scientific Data*, 7(120): 1–9.

- Bueno, F.G.B.; Kendall, L.; Alves, D.A.; Tamara, M.L.; Heard, T.; Latty, T. & Gloag, R. 2023. Stingless bee floral visitation in the global tropics and subtropics. *Global Ecology and Conservation*, 43: e02454.
- Christenhusz, M.J. & Byng, J.W. 2016. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3): 201–217.
- Deprá, M.S. & Gaglianone, M.C. 2018. Interações entre plantas e polinizadores sob uma perspectiva temporal. *Oecologia Australis*, 22(1): 1–16.
- Eckhardt, M.; Haider, M.; Dorn, S.; Müller, A. 2014. Pollen mixing in pollen generalist solitary bees: A possible strategy to complement or mitigate unfavourable pollen properties? *Journal of Applied Ecology*, 83(3): 588–597.
- Eickwort, G.C. & Sakagami, S.F. 1979. Classification of nest architecture of bees in the trip Augochlorini (Hymenoptera, Halictidae, Halictinae), with description of a Brazilian nest of *Rhinocorynura-inflaticeps*. *Biotropica*, 11: 28–37.
- Fahrig, L.; Baudry, J.; Brotons, L.; Burel, F.G.; Crist, T.O.; Fuller, R.J.; Sirami, C.; Siriwardena, G.M. & Martin, J.L. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14(2): 101–112.
- Fitch, G.; Gonzalez, J.; Oana, A.M.; Oliver, M. & Vandermeer, J. 2021. Integrating effects of neighbor interactions for pollination and abiotic resources on coffee yield in a multi-strata agroforest. *Biotropica*, 54: 1226–1237.
- Florez, J.A.; Muschler, R.; Harvey, C.; Finegan, B. & Roubik, D.W. 2002. Biodiversidad funcional en cafetales: el rol de la diversidad vegetal en la conservación de abejas. *Agroforestería en las Américas*, 9(35): 29–36.
- Gathmann, A. & Tschardt, T. 2002. Foraging ranges of solitary bees. *Journal of Animal Ecology*, 71: 757–764.
- Greenleaf, S.S.; Williams, N.M.; Winfree, R. & Kremen, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153: 589–596.
- Guezen, J.M. & Forrest, J.R.K. 2021. Seasonality of floral resources in relation to bee activity in agroecosystems. *Ecology and Evolution*, 11: 3130–3147.
- Hammer, Q.; Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 9p.
- Jha, S. & Vandermeer, J.H. 2010. Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, 143: 1423–1431.
- Karanja, R.H.N.; Njoroge, G.N.; Gikungu, M.W. & Newton, L.E. 2010. Bee interactions with wild flora around organic and conventional coffee farms in Kiambu District, Central Kenya. *Journal of Pollination Ecology*, 2(2): 7–12.

- Kline, O. & Joshi, N.K. 2020. Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems. *Agriculture*, 10(115): 1–14.
- Kremen, C.; Williams, N.M.; Aizen, M.A.; Gemmil-Herren, B.; LeBuhn, G.; Minckley, R.; Packer, L.; Potts, S.G.; Roulston, T.; Steffan-Dewenter, I.; Vázquez, P.; Winfree, R.; Adams, L.; Crone, E.E.; Greenleaf, S.S.; Keit, T.H.; Klein, A.M.; Regetz, J. & Ricketts, T.H. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of landuse change. *Ecology Letters*, 10: 299–314.
- Lorezon, M.C.A.; Matrangolo, C.A.R. & Schoereder, J.H. 2003. Flora visitada pelas abelhas eussociais (Hymenoptera, Apidae) na Serra da Capivara, em Caatinga do Sul do Piauí. *Neotropical Entomology*, 32(1): 27–36.
- Machado, T.; Viana, B.F.; da Silva, C.I. & Boscolo, D. 2020. How landscape composition affects pollen collection by stingless bees? *Landscape Ecology*, 35: 747–759.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Michener, C.D. 2000. *Bees of the World*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Nogueira-Neto, P. 1997. *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.
- Pavan, B.S. 2021. *Influência da composição da paisagem e de métodos de cultivo do café na comunidade de abelhas*. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Alfenas, Alfenas – MG. 52p.
- Pielou, E.C. 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal Theory Biology*, 10: 370–383.
- R Core Team. 2022. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.Rproject.org/>.
- Rech, A.R.; Agostini, K.; Oliveira, P.E. & Machado, I.C. 2014. *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projeto Cultural. 527p.
- REFLORA. 2023. *Plantas do Brasil: Regaste Histórico e Herbário Virtual para o conhecimento e conservação da flora brasileira*. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/>> Acesso em: 17 de abril de 2023.
- Roubik, D.W. 1989. *Ecology and natural history of the tropical bees*. London: Cambridge University. 514p.
- Silva, J.F.; Gusmão, A.L.J.; Pérez-Maluf, R. & Sousa, R.S. 2022. Abelhas associadas ao cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo no semiárido da Bahia, Brasil. *Journal of Education, Science and Health*, 2(1): 1–9.
- Silva, C.B. 2022. *Nicho trófico e recursos alimentares de Schwarziana quadripunctata em áreas de cultivo de cafeeiro no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos

Naturais), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ. 56p.

Steffan-Dewenter, I. & Westphal, C. 2008. The interplay of pollinator diversity, pollination services and landscape change. *Journal of Applied Ecology*, 45: 737–741.

Stevens, P.F. 2017. *Angiosperm Phylogeny Website Version 14*. Disponível em: <<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>> Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

Williams, N.M. 2003. Use of novel pollen species by specialist and generalist solitary bees (Hymenoptera: Megachilidae). *Oecologia*, 134: 228–237.

Winfree, R.; Aguilar, R.; Vázquez, D.P.; Lebuhn, G. & Aizen, M.A. 2009. A metaanalysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8): 2068–2076.

Wray, J.C. & Elle, E. 2015. Flowering phenology and nesting resources influence pollinator community composition in a fragmented ecosystem. *Landscape Ecology*, 30: 261–272.

CAPÍTULO 3 – Efeito da diversidade de abelhas na produção e qualidade de frutos de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*

RESUMO

O *Coffea arabica* e o *Coffea canephora* cultivados no Brasil possuem inflorescências predominantemente brancas, com curto período de floração. Diferente de *C. arabica* que é uma espécie autógama, o *C. canephora* é autoincompatível e necessita de polinização cruzada para produção de frutos. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a importância dos polinizadores para a frutificação e qualidade dos frutos de duas espécies de cafeeiro (9 plantios de *C. arabica* e 5 de *C. canephora*). Em cada plantio, seis ramos de quatro plantas foram marcados e testados, sendo três ramos ensacados (experimento de autopolinização) e três ramos permaneceram abertos e expostos aos polinizadores (polinização aberta). Em cada ramo foi feita a contagem dos botões em pré-antese e, após 90 dias da floração, dos frutos formados. Além disso, medidas de qualidade do fruto foram tomadas, como peso dos frutos frescos e secos e peso dos grãos secos. A taxa de frutificação em *C. arabica* e *C. canephora* foi estatisticamente maior na polinização aberta considerando o conjunto das áreas. A taxa de incremento na frutificação de *C. arabica* (média de 24,4% no total) foi positivamente relacionada com a abundância relativa de abelhas da tribo Meliponini e com a diversidade de abelhas em geral. Os parâmetros de qualidade dos frutos de *C. arabica* comparados entre os experimentos não apresentaram diferenças significativas. Porém, ao analisar os plantios separadamente, houve uma tendência de maior qualidade dos frutos provenientes da polinização aberta na maioria dos plantios. Esses resultados confirmam a importância dos polinizadores para o aumento da produtividade do cafeeiro, bem como na qualidade dos frutos.

3.1 – INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea*) é uma planta arbustiva, de crescimento contínuo e que atinge 2 a 4 m de altura a depender da espécie. As flores são brancas e dispostas em inflorescências do tipo glomérulos e, geralmente, abrem-se nas primeiras horas da manhã e continuam abertas durante todo o dia (Melo & Sousa, 2011). As flores são hermafroditas e oferecem pólen e néctar como recursos aos seus visitantes.

As plantas florescem a partir do segundo ano após o plantio nas lavouras, sendo que o florescimento é desencadeado pela precipitação, as chamadas “chuvas de florada”, que ocorrem após longos períodos secos. Além disso, as plantas apresentam um padrão de

floração gregária, o que significa que todas as plantas em uma determinada área florescem ao mesmo tempo, em resposta às mudanças climáticas locais (Melo & Sousa, 2011). A floração do cafeeiro é breve, ocorrendo de uma a quatro vezes ao ano, geralmente com floração sincronizada entre as plantas, sendo que em *Coffea canephora* as flores crescem nos ramos emitidos no presente ano enquanto em *Coffea arabica* a floração ocorre nos ramos do ano anterior (Klein *et al.*, 2003a; Vieira, 2008; Ngo *et al.*, 2011). Em geral, as flores duram de 2 a 3 dias (Melo & Sousa, 2011).

Coffea arabica é uma espécie autógama e autocompatível, e a reprodução acontece principalmente através da autofecundação, podendo ter até 90% das suas flores fecundadas a fertilização do óvulo pelo pólen de flores da mesma planta (Sakiyama *et al.*, 1999). Diferentemente, *C. canephora* apresenta autoincompatibilidade gametofítica, o que torna a reprodução alógama com fecundação cruzada o único meio de reprodução (Melo & Sousa, 2011).

Embora *C. arabica* apresente autocompatibilidade e seja capaz de autofecundar, diversos estudos mostraram que a polinização cruzada realizada por insetos resultou em uma maior frutificação e produção de frutos de melhor qualidade. No Brasil, esses estudos estão concentrados nos biomas de Mata Atlântica (São Paulo: Nogueira-Neto *et al.*, 1959, Malerbo-Souza & Halak, 2012; Minas Gerais: De Marco & Coelho, 2005, Saturni *et al.*, 2016, González-Chaves *et al.*, 2020; Bahia: Silva *et al.*, 2020), Cerrado (São Paulo: Malerbo-Souza *et al.*, 2003; Bahia: Hipólito *et al.*, 2018; Minas Gerais: Meireles, 2019) e Caatinga (Ceará: Carvalho-Neto, 2010). Em outros países, resultados semelhantes foram encontrados na Jamaica (Raw & Free, 1977), Panamá (Roubik, 2002), Indonésia (Klein *et al.*, 2003ab), Costa Rica (Ricketts *et al.*, 2004), México (Vergara & Badano, 2009) e Colômbia (Bravo-Monroy *et al.*, 2015). Embora esses dados comprovem a importância das abelhas na manutenção do serviço de polinização do café arábica, a diversidade local da fauna de polinizadores pode estar diretamente relacionada à intensidade de melhoria da produção e da qualidade do café. Esta diversidade, entre outros aspectos, é dependente da paisagem em que se inserem os cultivos. Por isso, justifica-se esta avaliação em áreas de cultivo na região norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo, onde a cobertura florestal tem especificidades importantes em termos de área, fitofisionomia e biodiversidade (Carneiro *et al.*, 2022) e onde ainda não existem trabalhos realizados desta natureza.

Para *C. canephora*, na qual a autoincompatibilidade exige a polinização cruzada para a produção de frutos, alguns autores sugeriram que a polinização pode ocorrer pelo vento (Free, 1993), enquanto outros enfatizaram a importância dos insetos polinizadores na transferência de pólen e na taxa de frutificação (Willmer & Stone, 1989; Klein *et al.*, 2003b).

Estudos sobre a relação entre a diversidade de polinizadores e a produção e qualidade dos frutos para esta espécie são ainda incipientes no Brasil. Tendo em vista a sua ocorrência também no estado do Espírito Santo, a avaliação desta espécie nesta região é essencial para a elaboração de estratégias locais de manejo dos polinizadores.

3.2 – OBJETIVO

Avaliar a importância dos polinizadores para a frutificação e qualidade dos frutos de duas espécies de cafeeiro em áreas de cultivo inseridas no bioma Mata Atlântica, no sudeste do Brasil.

3.3 – HIPÓTESES

A primeira hipótese é que flores expostas à visita das abelhas resultam em maior taxa de frutificação do que flores isoladas. A segunda hipótese, que a diversidade de abelhas influencia positivamente nas taxas de frutificação. E a terceira hipótese, que a qualidade dos frutos de *Coffea arabica* é maior em flores que foram expostas à visita por abelhas.

3.4 – METODOLOGIA

3.4.1 – Áreas de estudo

O estudo foi realizado em 14 áreas de cultivo de café, das quais nove áreas de cultivo de *Coffea arabica* e cinco áreas de cultivo de *Coffea canephora*. Os plantios de *C. arabica* foram localizados nos municípios de Varre-Sai/RJ, de Dores do Rio Preto/ES (distrito Pedra Menina) e de Espera Feliz/MG. Os plantios de *C. canephora* foram localizados nos municípios de Alegre e de Castelo, no sul do estado do Espírito Santo. Esses plantios de *C. arabica* e *C. canephora* estão descritos detalhadamente no capítulo 1, item 1.3.1.

3.4.2 – Avaliação da frutificação

Para avaliar o efeito da exposição das flores aos polinizadores na taxa de frutificação em flores de *C. arabica* e *C. canephora* foram realizados experimentos de polinização em campo, através dos testes de ramos ensacados (experimento de autopolinização) e abertos, portanto, expostos aos polinizadores (experimento de polinização aberta), nas áreas de estudo. No total, foram marcados e testados seis ramos (1, 2, 3, 4, 5 e 6) de quatro

plantas (A, B, C e D) em cada plantio avaliado. Os experimentos de polinização foram realizados em nove plantios de *C. arabica* (excluindo o plantio EU) e cinco de *C. canephora* (Figura 3.1).

Para a realização desses experimentos de polinização, em cada ramo, foi feita a contagem de botões em pré-antese e, com auxílio de uma fita identificada com o número do ramo, foi delimitado o início e o final da área de contagem dos botões (Figura 3.1A). Após a contagem de todos os botões em pré-antese nesta área delimitada, três ramos (1, 2 e 3) foram ensacados com um tecido do tipo voal e amarrados com barbante na base (Figura 3.1B). Os ramos ensacados foram utilizados para o experimento de autopolinização, na qual a planta só teve acesso ao pólen proveniente de sua própria flor ou de flores do mesmo ramo. Para o experimento de polinização aberta, os demais ramos (4, 5 e 6) permaneceram abertos para acesso aos visitantes florais (Figura 3.1C). Desta forma, após o período da frutificação, aproximadamente 90 dias após a floração, a contagem dos frutos foi realizada nas inflorescências, dentro da área delimitada pelas fitas nos ramos dos dois experimentos realizados.

A taxa de frutificação de cada experimento, em cada ramo testado, foi calculada considerando o número de frutos formados dividido pelo número de botões contados na mesma área do ramo no período de pré-antese.



Figura 3.1 – Delimitação da área de contagem dos botões com auxílio de fitas (A), em ramos ensacados (B) e ramos abertos (C) nos indivíduos de *Coffea canephora*.

Para *C. arabica*, também foi calculado o incremento na taxa de polinização proveniente da polinização aberta, a partir da diferença entre as taxas de frutificação dos experimentos de polinização aberta e de autopolinização. Como *C. arabica* é uma espécie autocompatível e capaz de realizar a autopolinização, essa taxa representa o incremento

da polinização realizada pelas abelhas. Essa taxa de incremento na polinização foi relacionada à abundância e à diversidade de Meliponini e Apini, as duas tribos com maior importância na polinização do café arábica, conforme resultados do capítulo 1.

3.4.3 – Avaliação da qualidade dos frutos de *C. arabica*

Para avaliar a influência da polinização sobre a qualidade dos frutos de *C. arabica*, formados a partir dos experimentos de autopolinização e polinização aberta, foi realizada a pesagem dos frutos e grãos. Esse teste de qualidade dos frutos foi realizado nas amostras de oito plantios de *C. arabica* (apenas esta espécie de café foi avaliada, por ser autocompatível e capaz de produzir frutos nos dois experimentos de polinização). Os plantios EU e NQ foram excluídos dessa análise, pois não foi possível realizar os experimentos nessas áreas. Neste sentido, os seguintes parâmetros foram avaliados: o peso dos frutos frescos e secos, peso dos grãos secos e razão entre peso dos grãos e dos frutos secos.

Os frutos frescos, após coleta no campo, foram levados ao laboratório onde foram mantidos em geladeira enquanto realizava-se a pesagem em relação ao peso úmido de cada fruto. A próxima etapa consistiu em submeter os frutos à secagem em condições naturais (no sol), e após a secagem, os frutos foram novamente pesados e assim foi obtido o peso seco dos frutos. Em seguida, a casca de cada fruto foi removida, restando apenas os grãos que foram também pesados em balança de precisão. A pesagem foi realizada em balança de precisão de 0,01g, modelo BEL Engineering.

A razão peso dos grãos/peso dos frutos foi calculada a partir da média do peso dos grãos secos em cada ramo dividida pela média do peso dos frutos secos em cada ramo nos dois tratamentos (autopolinização e polinização aberta) em cada plantio.

3.4.4 - Análise de dados

Modelos lineares de efeitos mistos (função lmer, pacote lme4, Bates *et al.*, 2015) foram utilizados para avaliar a diferença estatística da taxa de frutificação, do peso do fruto (úmido e seco), do peso do grão (seco) e da razão peso seco do grão/peso seco do fruto entre os tratamentos de polinização (autopolinização e polinização aberta) para cada plantio. Os tratamentos de polinização foram considerados como o efeito fixo, enquanto as pseudorréplicas derivadas de uma única planta (frutos ou grãos) ao nível de ramo foram tratadas como efeitos aleatórios. Uma ANOVA tipo III foi utilizada para avaliar a existência

de suporte estatístico para o efeito fixo do modelo para cada plantio (função anova, pacote lmerTest, Kuznetsova *et al.*, 2017).

O efeito da abundância relativa das tribos Meliponini e Apini e do índice de diversidade de Shannon da comunidade de abelhas amostradas nos plantios de *C. arabica* na taxa de incremento na frutificação na polinização aberta, em relação à autopolinização, foi avaliado através de modelos de regressão linear simples.

Quando necessário, os dados foram transformados através de uma função de verossimilhança máxima (função optim. boxcox, pacote boxcoxmix, Almohaimeed & Einbeck, 2020) para atender às premissas dos modelos lineares simples e de efeitos mistos (normalidade, linearidade e homoscedasticidade dos resíduos). Os modelos foram validados através de gráficos diagnósticos (Altman & Krzywinski, 2016).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Core Team, 2022). Em todos os casos aplicáveis, um erro *a priori* tipo I de 5% ($\alpha = 0,05$) foi assumido.

3.5 – RESULTADOS

3.5.1 – Taxas de frutificação

Ao analisar a taxa de frutificação considerando todos os plantios avaliados de *Coffea arabica*, observa-se que a frutificação resultante do experimento de polinização aberta foi estatisticamente maior do que a resultante de autopolinização (Figura 3.2, geral). Analisando-se cada plantio separadamente, resultado semelhante foi observado em quatro plantios (Figura 3.2: KA, NQ, RC e VI). Nos demais plantios (com exceção do plantio JF), as taxas de frutificação na polinização aberta foram maiores em relação à autopolinização, porém essa diferença não foi estatisticamente significativa.

Para *Coffea canephora*, as taxas de frutificação nos experimentos de polinização aberta foram maiores estatisticamente, tanto para o conjunto de áreas (geral), quanto para a comparação individual das áreas (Figura 3.3). Nota-se que a taxa de frutificação no experimento de autopolinização foi zero na maioria dos plantios e próximo de zero no caso do plantio JB. A taxa de frutificação na polinização aberta variou de 14 a 40% nos plantios, com média de 28% de frutificação. Em adição, essa taxa de frutificação variou de 6 a 55%, em uma única planta no interior dos plantios avaliados.

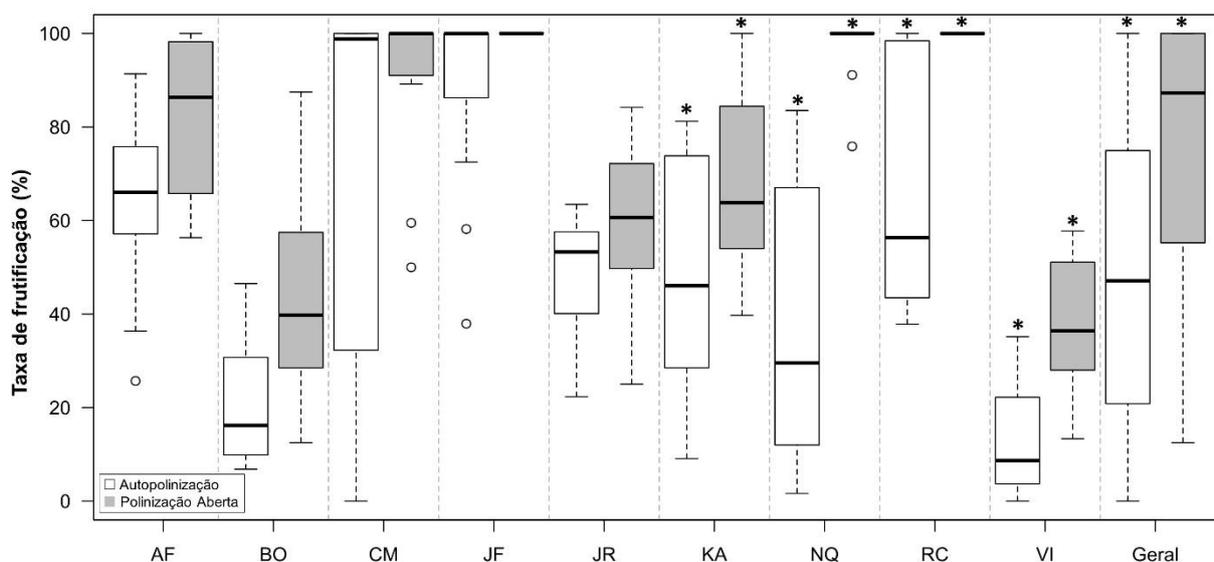


Figura 3.2 – Taxa de frutificação (%) nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de *Coffea arabica* (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios). *indica diferença significativa entre experimentos dentro do mesmo plantio ($p < 0,05$).

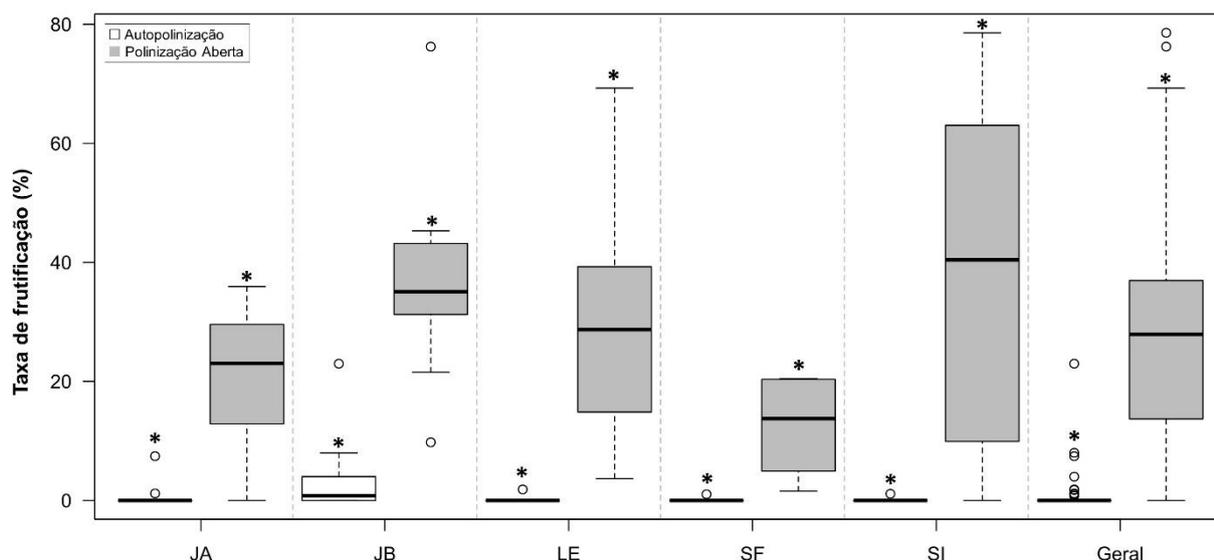


Figura 3.3 – Taxa de frutificação (%) nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de *Coffea canephora* (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os Plantios). *indica diferença significativa entre experimentos dentro do mesmo plantio ($p < 0,05$).

A taxa de incremento na frutificação de *C. arabica*, resultante da polinização aberta, foi positivamente relacionada com a abundância relativa de abelhas da tribo Meliponini ($R^2 = 0,31$ e $p = 0,11$; Figura 3.4) e negativamente relacionada com a abundância relativa de abelhas da tribo Apini (representada pela espécie exótica *Apis mellifera*) ($R^2 = 0,31$ e $p = 0,12$; Figura 3.5). A taxa de incremento na frutificação também foi positivamente relacionada com a diversidade de abelhas amostradas nas áreas de plantio de *C. arabica* ($R^2 = 0,46$ e $p = 0,06$; Figura 3.6).

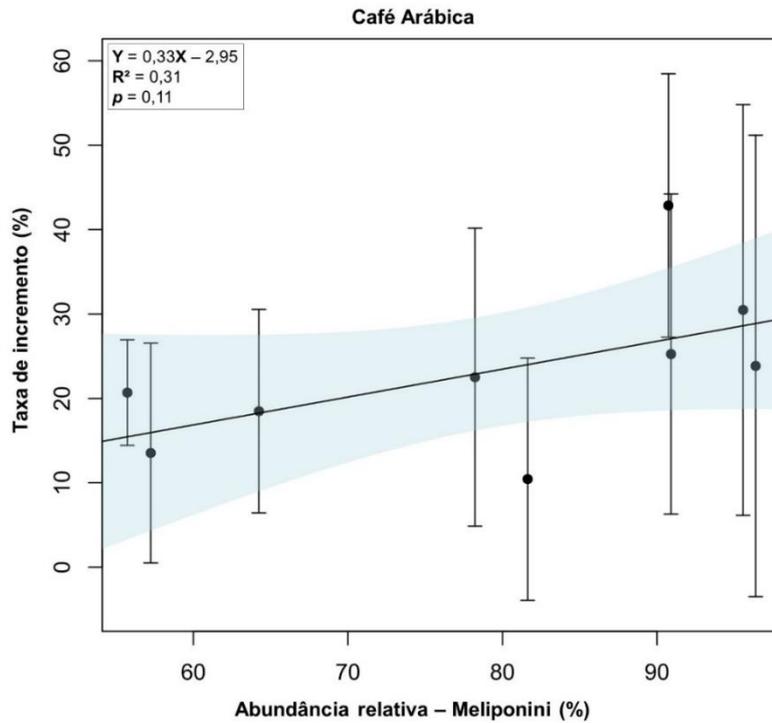


Figura 3.4 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e a abundância relativa de abelhas da tribo Meliponini (%) coletadas sobre as flores de *Coffea arabica* em nove plantios avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão).

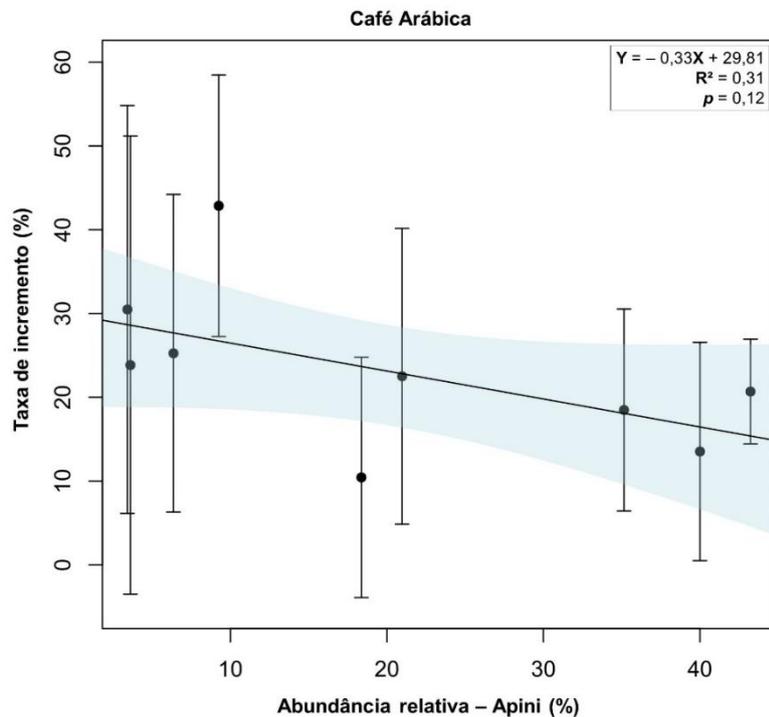


Figura 3.5 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e a abundância relativa de abelhas da tribo Apini (%) coletadas e, nove plantios de *Coffea arabica* avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão).

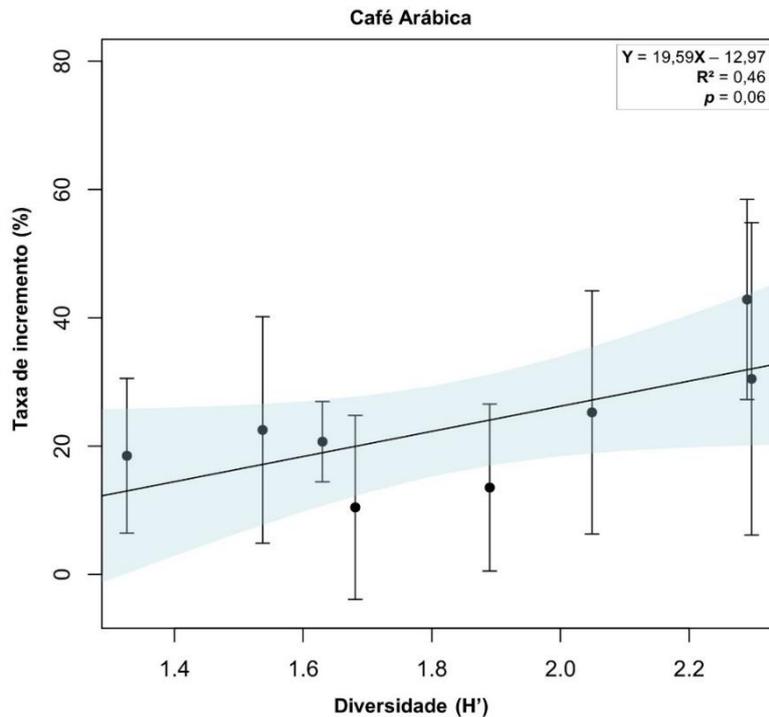


Figura 3.6 – Relação entre a taxa média de incremento na polinização (%) e o índice de diversidade de Shannon para a comunidade de abelhas amostradas nas flores de *Coffea arabica* em oito plantios avaliados no sudeste do Brasil (pontos: média; barras: desvio-padrão; sombreado azul claro: intervalo de confiança de 95% da regressão). A regressão foi realizada sem o plantio CM que foi considerado um outlier. Considerando o outlier, o modelo seria: $Y = 9,13X + 7,38$; $R^2 = 0,21$; $p = 0,22$.

5.5.2 – Qualidade dos frutos de *C. arabica*

O peso úmido dos frutos oriundos dos experimentos de polinização aberta e autopolinização em *C. arabica* não diferiu significativamente na tanto na comparação geral quanto entre cada plantio (Figura 3.7). No entanto, na maioria dos plantios avaliados, os frutos frescos resultantes de polinização aberta apresentaram peso úmido maior em relação aos frutos resultantes do experimento de autopolinização (Figura 3.7).

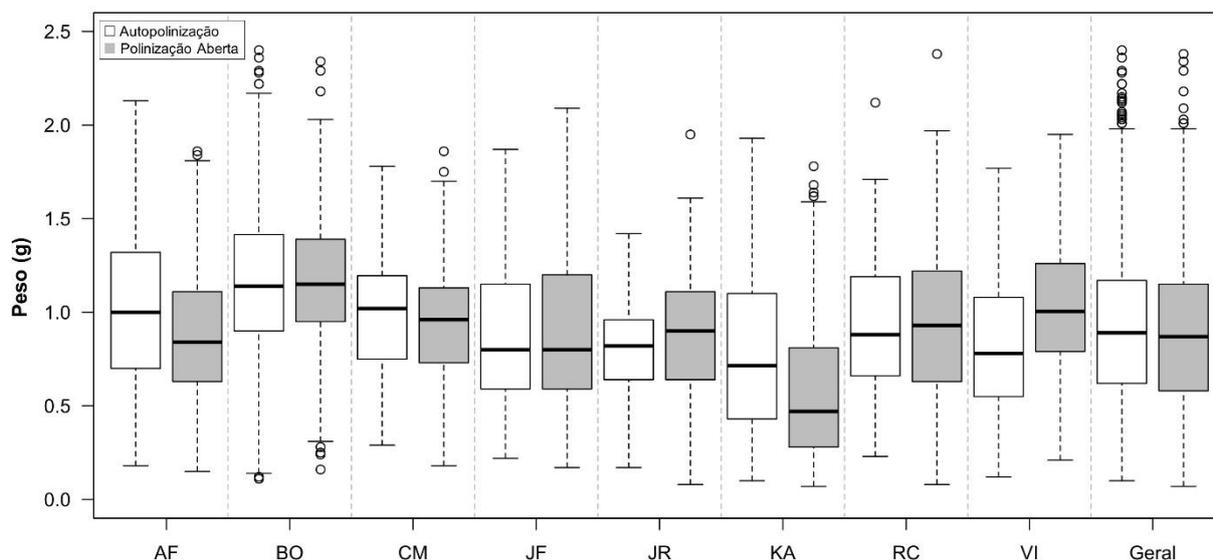


Figura 3.7 – Peso dos frutos (g) coletados nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nos plantios de *Coffea arabica* (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios).

O peso seco dos frutos e dos grãos provenientes dos experimentos de polinização aberta e autopolinização em *C. arabica* não diferiu estatisticamente na comparação considerando todas as áreas (geral) ou na comparação em cada plantio (Figura 3.8). Entretanto, pode-se observar maiores valores médios no peso seco dos frutos e dos grãos no geral e, no peso secos dos frutos na maioria dos plantios quando avaliados separadamente.

A razão entre peso seco dos grãos/frutos apresentou maiores valores médios no tratamento de polinização aberta na maioria dos plantios avaliados, porém não foi verificada diferença estatística com relação aos valores obtidos no tratamento de autopolinização (Figura 3.8).

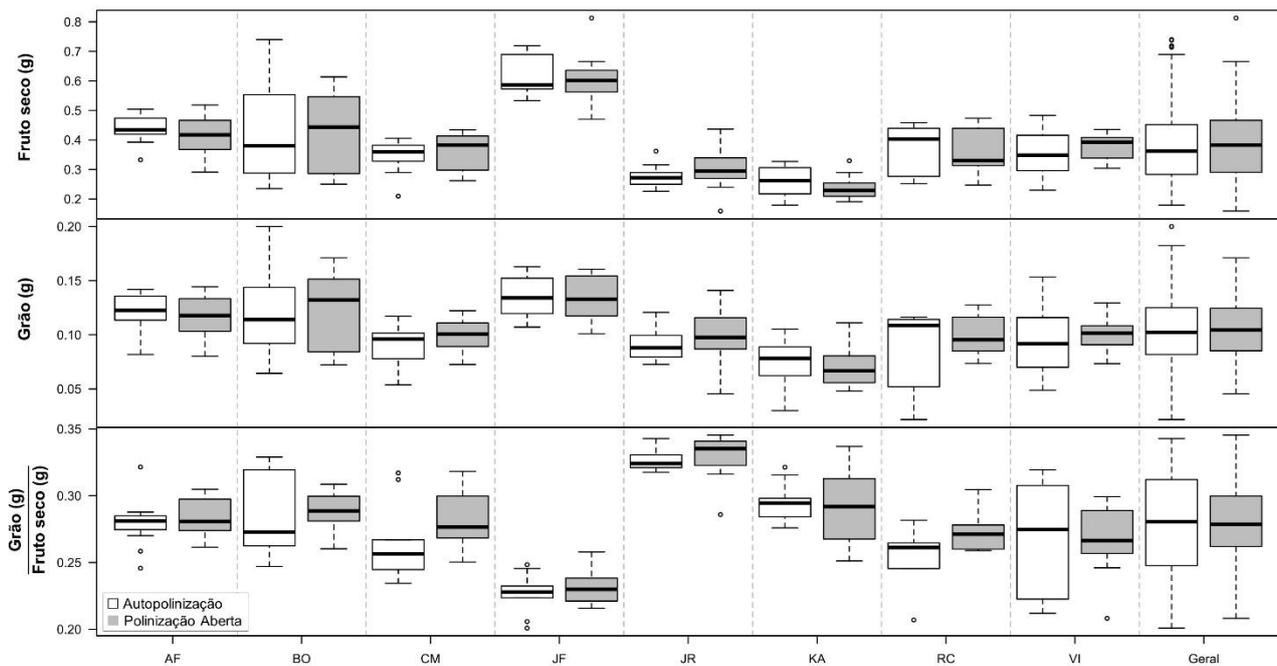


Figura 3.8 – Peso dos frutos secos (g), peso dos grãos secos e razão entre peso dos grãos/peso dos frutos coletados nos experimentos de autopolinização e polinização aberta nas áreas de plantio de *Coffea arabica* (siglas indicam as áreas de plantio conforme tabela 1.1, Geral-Todos os plantios).

3.6 – DISCUSSÃO

A maior taxa de frutificação observada na polinização aberta em campo quando comparada à taxa oriunda da autopolinização confirma a importância dos polinizadores para um aumento da produtividade do cafeeiro nas áreas de plantio avaliadas neste estudo. Diante disso, a necessidade de conservar os polinizadores nessas regiões está associada ao serviço ecológico realizado pelas abelhas nos cultivos de cafeeiro e, também para a reprodução de outras plantas nativas e cultivadas nas áreas próximas. As abelhas sociais, principais polinizadores dos cafeeiros nas regiões noroeste do RJ e sul do ES (capítulo 1 desta tese), são também importantes polinizadores de outros cultivos como feijão, goiaba e abacate (Couto & Mendes, 1996; Emater, 2000; Malerbo-Souza *et al.*, 2000; Alves & Freitas, 2006; Incaper, 2023).

Como esperado, para *Coffea canephora* as taxas de frutificação resultantes de autopolinização foram próximas de zero, fato decorrente da autoincompatibilidade, o que resulta na polinização cruzada como o seu principal meio de reprodução (Free, 1993). A formação de pequeno número de frutos nos ramos ensacados, possivelmente pode estar associada à ação do vento ou a outros fatores não avaliados. Wilmer e Stone (1989) realizaram experimentos de polinização com essa espécie de café e confirmaram a autoincompatibilidade de *C. canephora*, mesmo constatando que um pequeno número de

grãos de pólen carregados pelo vento. Os autores afirmaram que a transferência de pólen em *C. canephora* é predominantemente realizada por atividade de insetos polinizadores (principalmente abelhas), uma vez que os grãos de pólen carregados pelo vento responderam por cerca de no máximo 10% da fertilização cruzada nos plantios avaliados em Papua Nova Guiné.

Quando comparadas as taxas de frutificação resultantes de polinização aberta entre as duas espécies de café avaliadas, os resultados mostraram valores menores para *C. canephora*, atingindo máxima de 40% entre os plantios e máximo de 55% em uma única planta nos plantios avaliados neste estudo.

Estes valores foram também menores do que os encontrados em áreas de cultivo em outros estudos com *C. canephora*. Klein e colaboradores (2003b) e Munyuli (2014), por exemplo, obtiveram frutificação de 78,1% e 64%, respectivamente, em experimentos de polinização aberta na Indonésia e em Uganda. No entanto, Krishnan e colaboradores (2012), em estudo na Índia, observaram uma taxa de 33% na polinização aberta, menor que a encontrada neste presente trabalho. Estes resultados mostram que pode existir grande variação entre estudos realizados em diferentes locais, embora a importância dos insetos no sucesso da polinização em *C. canephora* fique evidente. Condições locais relativas, por exemplo, a diversidade da fauna de polinizadores, abundância das populações de abelhas e condições da paisagem onde essas abelhas encontram outros recursos e locais de ninhos, podem influenciar na frequência de visitas e comportamento nas flores, levando a taxas de frutificação distintas. Um estudo realizado em Uganda (Munyuli, 2014) concluiu que as abelhas sem ferrão, grupo mais eficiente na polinização de *C. canephora* foram afetadas significativamente pela intensidade do uso da terra, pelo tipo de manejo da lavoura de café e pelo tipo de habitat nas áreas circundantes aos plantios.

Os resultados obtidos para *Coffea arabica* confirmam a importância dos polinizadores para o aumento das taxas de frutificação nas regiões estudadas no noroeste do RJ e sul do ES, corroborando estudos realizados em outras regiões do Brasil, como em Minas Gerais (De Marco & Coelho, 2005; Saturni *et al.*, 2016; Meireles, 2019), na Bahia (Hipólito *et al.*, 2018; Silva *et al.* 2020), em São Paulo (Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Malerbo-Souza *et al.*, 2003; Malerbo-Souza & Halak, 2012) e no Ceará (Carvalho-Neto, 2010). Esse resultado de maior frutificação proveniente da polinização aberta desta espécie de café também foi encontrado em estudos realizados em outros países, como Colômbia (Bravo-Monroy *et al.*, 2015), Costa Rica (Ricketts *et al.*, 2004), Indonésia (Klein *et al.*, 2003ab), Jamaica (Raw & Free, 1977) e México (Vergara & Badano, 2009).

A contribuição das abelhas nativas para a polinização de *C. arabica* foi confirmada através das relações positivas diretas observadas entre a taxa de incremento da polinização aberta com a abundância de abelhas sem ferrão (Meliponini) e com a diversidade da comunidade de abelhas nas áreas de plantio. As abelhas sem ferrão possuem características favoráveis à polinização das flores dos cafeeiros, como forrageamento em grupo, busca de plantas com florescimento em massa, grandes populações, comportamento generalista com seleção de plantas mais atrativas mesmo que temporariamente (Vit *et al.*, 2013; Grüter, 2020). Os resultados encontrados, portanto, reforçam a importância do manejo agrícola que favoreça a conservação das abelhas sem ferrão na paisagem, como por exemplo, a manutenção de plantas que sirvam de alimento para essas abelhas em períodos em que os cafeeiros não estão em florescimento, como discutido no capítulo 2 desta tese.

Além da abundância das abelhas sem ferrão, a diversidade de abelhas nas áreas mostrou-se relevante para o aumento das taxas de frutificação em *C. arabica*. Áreas com maior diversidade e menor dominância de espécies (Capítulo 1) foram as que apresentaram maiores aumentos na taxa de frutificação, indicando que as abelhas não sociais são também relevantes para a polinização das flores de *C. arabica*. A relevância desse grupo também foi observada em outras regiões. Hipólito *et al.* (2018) verificaram que a riqueza de visitantes explicou a maior parte do rendimento dos frutos de *C. arabica* em plantios na Bahia, e pontuou ainda que, as características da paisagem como a proximidade de áreas naturais e a maior proporção de vegetação natural também desempenharam papéis importantes nesse processo. Esses autores sugerem combinar uma agricultura de baixo impacto com a proximidade de áreas naturais que oferecem outras fontes de recursos no entorno do plantio principalmente quando o cultivo principal não está em floração, a fim de fortalecer a relação entre rendimento de frutos, riqueza de visitantes e melhoria na produção proporcionada pelos polinizadores. Esse cenário, em que plantios distantes de áreas naturais possuem menor probabilidade de receber visitas de polinizadores silvestres e, por isso, têm menor formação de frutos, foi descrito para diversos cultivos mundialmente (Garibaldi *et al.*, 2011).

Em plantios de *C. arabica* na Indonésia, Klein *et al.* (2003a) também observaram que a frutificação foi relacionada com a riqueza de abelhas sociais e solitárias e com a diversidade da comunidade de abelhas. Outro resultado importante nos experimentos realizados por estes autores, é que as abelhas sociais, eram mais abundantes, semelhante aos resultados encontrados no nosso estudo. Neste sentido, reforça-se a importância de manter uma comunidade diversificada de abelhas para a polinização do café, uma vez que

ela pode fornecer qualidade e eficiência nos serviços de polinização, por meio de comportamentos de forrageamento complementares, tolerâncias climáticas mais amplas e dinâmicas populacionais assíncronas (Kremen *et al.*, 2002; Klein *et al.*, 2003a; Ricketts, 2004).

A relação negativa, observada neste estudo, entre abundância relativa de *Apis mellifera* e taxa de incremento na frutificação foi, a princípio, inesperada. Essas abelhas eussociais têm comportamento considerado adequado para a polinização e são muitas vezes indicadas em programas de polinização dirigida nos plantios de café arábica. Entretanto, alguns autores (Klein *et al.*, 2003a; Ricketts *et al.*, 2004) sugerem que espécies de abelhas nativas, movendo-se entre as plantas mais frequentemente, polinizam as flores de forma mais eficaz do que *A. mellifera*, que geralmente se concentram em ramos únicos quando as flores são densas. Esse comportamento talvez possa explicar a relação encontrada. Áreas com maiores valores de abundância relativa de *A. mellifera* teriam menor abundância e diversidade de abelhas nativas, levando ao menor incremento nas taxas de polinização.

Os parâmetros de qualidade dos frutos de *C. arabica* (maiores peso úmido e seco do fruto e peso seco do grão) maiores na polinização aberta na maioria dos plantios, embora essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa, pode ser devido à ação dos polinizadores nos cruzamentos entre as plantas, levando à qualidade dos frutos. Outros estudos também encontraram frutos de *C. arabica* mais pesados resultantes de polinização aberta (Roubik, 2002; Ricketts *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2020) e, também resultantes de polinização cruzada manual e geitonogamia (Carvalho-Neto, 2010). Malerbo e Halak (2012) observaram que o peso médio dos grãos oriundos de polinização aberta em *C. arabica* foi significativamente maior do que nos ramos ensacados. Ricketts *et al.* (2004) observaram o mesmo padrão, em que a polinização aberta aumentou a massa da semente úmida do café em plantios próximos às áreas de florestas. Esse resultado pode ser devido ao fato de que essas áreas apresentam uma comunidade mais diversa de polinizadores, que provavelmente proporcionaram maiores taxas de cruzamentos entre as plantas, levando aos frutos maiores e mais pesados (Free, 1993; Klein *et al.*, 2003b). Em contrapartida, Meireles (2019) não encontrou diferença no peso médio dos frutos entre os tratamentos de polinização aberta e exclusão de polinização biótica.

Os dados encontrados neste estudo reforçam a importância das abelhas no aumento da frutificação e na qualidade dos frutos do cafeeiro e, conseqüentemente, na produtividade dessa cultura na região sudeste do Brasil, particularmente no noroeste do RJ e sul do ES. Dessa forma, é importante destacar a necessidade de manter a heterogeneidade do

ambiente agrícola, uma vez que a diversidade de abelhas depende dessa heterogeneidade e as espécies de abelhas podem não manter populações em áreas com alta intensidade agrícola. Outro cuidado muito importante é relativo ao uso de agrotóxicos, que afetam as atividades de forrageamento, a fisiologia e reprodução dos polinizadores, destruindo ou diminuindo suas populações. Destaca-se também a importância da conservação de habitats naturais e seminaturais no entorno dos plantios que podem prover outros recursos florais e principalmente locais de nidificação para as abelhas nativas, que se mostraram as mais eficientes na polinização do cafeeiro.

3.7 – CONCLUSÕES

- A taxa de frutificação foi maior na polinização aberta do que na autopolinização para o *Coffea canephora* e *Coffea arabica*, ainda que esta espécie de café seja autocompatível, confirmando a importância dos polinizadores para o aumento da produtividade do cafeeiro. Esse resultado, corrobora a primeira hipótese deste estudo.
- A taxa de incremento da frutificação na polinização aberta em relação à autopolinização apresentou relação positiva, porém não significativa, com a abundância relativa de Meliponini e com a diversidade da comunidade de abelhas nos plantios de *C. arabica*, corroborando a segunda hipótese desse trabalho.
- Os parâmetros de qualidade dos frutos de *C. arabica* avaliados neste estudo (pesos dos frutos frescos e dos frutos e grãos secos) comparadas entre a polinização aberta e a autopolinização, não apresentaram diferenças significativas, rejeitando a terceira hipótese. No entanto, ao observar os plantios avaliados individualmente, houve uma tendência de maior qualidade dos frutos provenientes da polinização aberta na maioria dos plantios.

3.8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almohaimed, A. & Einbeck, J. 2020. boxcoxmix: Box-Cox-Type Transformations for linear and logistic models with random effects. R package version 0.28.
- Altman, N. & Krzywinski, M. 2016. Regression diagnostics. *Nature Methods*, 13: 385–386.
- Alves, J.E. & Freitas, B.M. 2006. Comportamento de pastejo e eficiência de polinização de cinco espécies de abelhas em flores de goiabeira (*Psidium guajava* L.). *Revista Ciência Agronômica*, 37(2): 216–220.

- Bates, D.; Maechler, M.; Bolker, B. & Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1–48.
- Bravo-Monroy, L.; Tzanopoulos, J. & Potts, S.G. 2015. Ecological and social drivers of coffee pollination in Santander, Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211: 145–154.
- Carneiro, L.S.; Frantine-Silva, W.; Aguiar, W.M.; Melo, G.A.; Ribeiro, M.C.; Sofia, S.H. & Gaglianone, M.C. 2022. Coffee cover surrounding forest patches negatively affect Euglossini bee communities. *Apidologie*, 53(4): 42.
- Carvalho-Neto, F.H. 2010. *Abelhas visitantes florais e potenciais polinizadoras do café (Coffea arabica L.) ecológico e sombreado no Maciço de Baturité – Ceará*. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE. 67p.
- Couto, L.A. & Mendes, J.N. 1996 *Influência da polinização entomófila na cultura do feijão guandu (Cajanus cajan L.)*. p. 329. In: Anais do 11 Congresso Brasileiro de Apicultura. Teresina: Confederação Brasileira de Apicultura.
- De Marco, P.J. & Coelho, F.M. 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1245–1255.
- Emater. 2020. *Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<https://www.emater.rj.gov.br/images/municcorr2020.htm>>. Acesso em: 21 de março de 2023.
- Free, J. B. 1993. Insect pollination of crops. London: Academic Press.
- Garibaldi, L.A.; Aizen, M.A.; Klein, A.M. & Harder, L.D. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(14): 5909–5914.
- González-Chaves, A.; Jaffé, R.; Metzger, J.P. & Kleinert, A.M.P. 2020. Forest proximity rather than local forest cover affects bee diversity and coffee pollination services. *Landscape Ecology*, 35: 1841–1855.
- Grüter, C. 2020. *Stingless Bees: Their Behaviour, Ecology and Evolution*. Cham: Springer International Publishing. 385p.
- Hipólito, J.; Boscolo, D. & Viana, B.F. 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256: 218–225.
- INCAPER. 2023. *Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural*. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/fruticultura>>. Acesso em: 08 de maio de 2023.

- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2003a. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London*, 270: 955–961.
- Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2003b. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90: 153–157.
- Kremen, C.; Williams, N.M. & Thorp, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26): 16812–16816.
- Krishnan, S.; Kushalappa, C.G.; Shaanker, R.U. & Ghazoul, J. 2012. Status of pollinators and their efficiency in coffee fruit set in a fragmented landscape mosaic in South India. *Basic and Applied Ecology*, 13: 277–285.
- Kuznetsova, A.; Brockhoff, P.B. & Christensen, R.H.B. 2017. lmerTest Package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13): 1–26.
- Malerbo-Souza, D.T. & Halak, A.L. 2012. Agentes polinizadores e produção de grãos em cultura de café arábica cv. “Catuaí Vermelho”. *Científica*, 40(1): 1–11.
- Malerbo-Souza, D.T.; Nogueira-Couto, R.H.; Couto, L.A. & Souza, J.C. 2003. Atrativos para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 40: 272–278.
- Malerbo-Souza, D.T.; Toledo, V.A.A.; Silva, S.R. & Souza, F.F. 2000. Polinização em flores de abacateiro (*Persea americana* Mill.). *Acta Scientiarum*, 22(4): 937–941.
- Meireles, D.A.L. 2019. *Serviços de polinização em diferentes escalas espaciais: efeitos quantitativos e qualitativos na produção do café (Coffea arabica L.)*. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 51p.
- Melo, B. & Sousa, L.B. 2011. Biologia da reprodução de *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. *Revista Verde*, 6(2): 01–07.
- Munyuli, T. 2014. Influence of functional traits on foraging behaviour and pollination efficiency of wild social and solitary bees visiting coffee (*Coffea canephora*) Flowers in Uganda. *Grana*, 53(1): 69–89.
- Ngo, H.T.; Mojica, A.C. & Packer, L. 2011. Coffee plant – pollinator interactions: a review. *Canadian Journal of Zoology*, 89: 647–660.
- Nogueira-Neto, P.; Carvalho, A. & Antunes, H. 1959. Efeito da exclusão dos insetos polinizadores na produção do café Bourbon. *Bragantia*, 18(29): 441–468.

- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raw, A. & Free, J.B. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honeybees. *Tropical Agriculture*, 54: 365–369.
- Ricketts, T.H.; Daily, G.C.; Ehrlich, P.R. & Michener, C.D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.*, 101(34): 12579–12582.
- Ricketts, T.H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18(5): 1262–1271.
- Roubik, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417: 708.
- Sakiyama, N.S.; Pereira, A.A. & Zambolim, L. 1999. Melhoramento de café arábica. pp. 189–204. In: Borém, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: UFV.
- Saturni, F.T.; Jaffé, R. & Metzger, J.P. 2016. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 235: 1–12.
- Silva, M.F.; Nascimento, L.O.L.S. & Pérez-Maluf, R. 2020. Abelhas polinizadoras e produção de frutos e sementes em café convencional. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4): 4227–4237.
- Vergara, C.H. & Badano, E.I. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: the importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129: 117–123.
- Vieira, H.D. 2008. Coffee: the plant and its cultivation. pp. 3-18. In: Souza, R.M. (Ed.). *Plant-parasitic nematodes of coffee*. Dordrecht, the Netherlands: Springer Science.
- Vit, P.; Pedro, S.R.M. & Roubik, D. 2013. *Pot-Honey: A legacy of stingless bees*. Ney York: Springer. 654p.
- Willmer, P. G. & Stone, G. N. 1989 Incidence of entomophilous pollination of lowland coffee (*Coffea canephora*); the role of leaf cutter bees in Papua New Guinea. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 50: 113–124.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos resultados deste estudo é necessário ressaltar a importância das abelhas nas áreas de plantios de cafeeiro, uma vez que a produção de frutos aumentou com a presença das abelhas. As abelhas sem ferrão se mostraram abundantes nas áreas de ambos os cafeeiros e importantes para o incremento da polinização de *Coffea arabica*, e isso reforça o seu potencial como polinizador e a necessidade de conservação dessas espécies nas áreas de plantio. Desta forma, a presença de outras fontes de recursos no entorno dos plantios, é fundamental para manter as populações de abelhas nas áreas de plantio quando o cafeeiro não está em floração, uma vez que a riqueza de plantas no entorno favoreceu um aumento da diversidade de abelhas nas áreas. Além disso, as abelhas estudadas nas flores do cafeeiro também são importantes polinizadoras de outras plantas nativas e cultivadas, contribuindo para a reprodução das plantas nos fragmentos florestais próximos e outros cultivos. Todos os resultados encontrados foram importantes para as áreas estudadas, uma vez que não havia conhecimento da comunidade de abelhas presentes na região e sua relação com a produção de frutos.

A partir dos resultados obtidos, sugerem-se estratégias de manejo amigáveis para o aumento populacional das abelhas nas áreas, que consistem na conservação das áreas próximas aos plantios, que incluem o pasto apícola no entorno e os fragmentos de vegetação nativa. Além disso, outras práticas importantes a serem adotadas incluem o manejo adequado do solo para a preservação de áreas de nidificação, e o controle biológico de pragas, a fim de diminuir ou eliminar o uso de agrotóxicos nos plantios que podem causar sérios danos às populações de abelhas na região.