

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA**

**POLINIZADORES DE CANOLA: PERSPECTIVAS PARA O
MANEJO SUSTENTÁVEL DE INSETOS,
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Rosana Halinski de Oliveira

TESE DE DOUTORADO

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
Av. Ipiranga 6681 - Caixa Postal 1429
Fone: (051) 3320-3500
CEP 90619-900 Porto Alegre - RS
Brasil**

2017

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**POLINIZADORES DE CANOLA: PERSPECTIVAS PARA O MANEJO
SUSTENTÁVEL DE INSETOS, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

Rosana Halinski de Oliveira
Orientadora: Profa. Dra. Betina Blochtein

TESE DE DOUTORADO
PORTO ALEGRE - RS - BRASIL

2017

Sumário

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
APRESENTAÇÃO.....	xi
Área Diversidade	15
CAPÍTULO 1	16
Functional attributes of wasps in a canola agroecosystem	16
CAPÍTULO 2	45
Diversidade de coleópteros em agroecossistema de canola (Brassica napus).....	45
Área Produtividade	74
CAPÍTULO 3	75
Influência da diversidade de abelhas silvestres na produtividade de canola.....	75
CAPÍTULO 4	97
Paisagem afeta diversidade de abelhas e produtividade de canola (Brassica napus)	97
Área Mudanças Climáticas.....	120
CAPÍTULO 5	121
Impacto das mudanças climáticas em abelhas sem ferrão na canola	121

À minha mãe, Maria Helena, pelo excepcional esforço com a minha
formação educacional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e iluminação nas minhas escolhas que me levaram a este doutorado.

Agradeço a minha mãe Maria Helena pelo amor e dedicação a conquista do meu sonho (doutorado) seja com palavras, idas ao campo, apoio logístico, financeiro e principalmente pelo exemplo de força e fé que tu és em minha vida.

Agradeço ao meu noivo, Douglas Jeziorski, por ser meu porto seguro e companheiro, que me incentiva diariamente a conquistar meus sonhos e me inspira a ser cada dia uma pessoa melhor.

Agradeço a toda a minha família, em especial Adão Halinski, Laura Halinski, Matheus Halinski, Joel de Souza, Lauri Pinto e família, Domingos de Souza e família, Ivone Halinski e família, Jeverson Cafaes e família pelo apoio e incentivo nesta caminhada.

Agradeço a minha orientadora e amiga Dra. Betina Blochtein pelo carinho, paciência e companheirismo desde a iniciação científica.

Agradeço aos membros da Banca pelas suas valiosas contribuições: Dr. Antônio Saraiva, Dr. Marcos Botton e Dr. Pedro Maria Ferreira.

Agradeço ao professor Dr. Arno Lise pelo companheirismo diário desde a graduação, me orientando e me aconselhando a crescer pessoal e profissionalmente.

Agradeço a minha co-autora Dra. Tatiana Kaehler e sua família Luciano e Raul pelo incansável apoio em todas as etapas do doutorado, especialmente na redação dos manuscritos.

Agradeço a Dra. Patrícia Nunes-Silva pela amizade e apoio na minha carreira acadêmica.

Agradeço a Dra. Leticia Hoppe pela construção do conhecimento acerca da economia ambiental e desenvolvimento sustentável.

Agradeço a Dra. Yve Gadelha pela oportunidade de discutirmos ecologia e interações inseto-planta e pela oportunidade de trabalharmos juntas.

Agradeço ao meu co-autor Dr. André Acosta pelo incentivo a entrar na área de mudanças climáticas e treinamento na área.

Agradeço imensamente a Dra. Sidia Witter pelos ensinamentos de campo e por compartilhar sua vasta experiência sobre abelhas.

Agradeço aos professores da UCS Rosane Lanzer e Alois Schafer juntamente com os alunos Francieli Sbersi, Cassiano Marquet e Gisele Agra pelo apoio referente ao sensoriamento remoto e mapas de paisagem.

Agradeço aos professores Dr. Wilson Sampaio e Dr. Alexandre Specht e aos alunos Eduardo Valduga, Felipe Gonzatti e Sabrina Schuh, Sabrina Tolotti e Priscila Paris pelo apoio na triagem dos insetos e incansável apoio nas atividades de campo.

Ao professor Dr. Júlio César Bicca-Marques pelas críticas construtivas e apoio nas etapas do doutorado e aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Zoologia pelos ensinamentos durante as disciplinas.

Agradeço ao Dr. Alexandre Somavilla pela identificação das vespas e apoio na redação do manuscrito.

Agradeço a Me. Anike Wilkens pelo incentivo à pesquisa e dedicação ao manuscrito das vespas.

Aos professores Dr. Gabriel Melo e Dra. Danuncia Urban pela identificação de abelhas, ensinamentos de taxonomia e pela receptividade em minha visita à Curitiba.

Agradeço ao Dr. Alberto Marsaro Júnior, da Embrapa Trigo, pelo apoio, confiança e continuidade de estudos com a canola.

Agradeço ao Dr. Lucas Garibaldi pela incansável disponibilidade em discutir a polinização da canola e a produtividade.

Agradeço ao Dr. Jeff Ollerton, Dra. Dara Stanley e Dr. Pierre Ouvrard pelas discussões sobre a canola e polinizadores.

Agradeço aos Professores Dra. Melissa Pires e Dr. José Luis Ferraro pela oportunidade de fazer estágio docente e pelos ensinamentos na área da Educação.

Agradeço aos professores da estatística que me apoiaram na jornada dupla doutorado-graduação sempre dispostos a colaborar com a minha pesquisa e sanar dúvidas estatísticas: Dr. Lori Viali, Dra. Luciana Nunes, Dr. Eduardo Horta, Dra. Miriam Telichevesky e Dra. Vania Kramer.

Agradeço a Sidia Callegari-Jacques, Filipe Zabala e Sérgio Kato pelo apoio estatístico à pesquisa.

Agradeço aos doutores Peter Kevan, Leonardo Galeto e Jacobus Biesmeijer pelas discussões acerca do meu projeto.

Agradeço ao Dr. Gilberto Tomm pelo suporte com as pesquisas da canola mediando empresas fomentadoras, produtores de canola e universidade.

Agradeço ao José Cunha e família pelo apoio na minha caminhada como bióloga e meliponicultora.

Agradeço ao Prof. Aroni Sattler pelo apoio e incentivo às pesquisas com abelhas nativas no estado.

Agradeço aos meliponicultores Girlei Passos e família e Flavio que me acolheram e compartilharam seu conhecimento sobre abelhas sem ferrão.

Agradeço ao Dr. Charles Santos pelas discussões sobre as abelhas e estatística.

A Dra Favizia Freitas de Oliveira pelas expedições ao RS para identificar as abelhas.

Agradeço aos meus colegas e ex-colegas do Laboratório de Entomologia/REDE CANOLA pelo apoio em diversas atividades em laboratório e campo: Andressa Dorneles, Ana Carolina Ries Pâmela Manica, Andressa Piazza, Isadora Schmitz, Cristiano Kern, Kedar Devkota, Nicole Garcia, Luiza Petrolí, Daniel Guidi, Annelise Rosa, Mariana Zaniol, Jenifer Ramos, Nadilson Ferreira, Daniela Loose, Patrick Santos, Daniela Marques, Fernanda Carvalho, Caroline Vicari, Guilherme Muller, Arthur Silveira, Katia Matiotti, Flávia Tirelli, Juliana Galaschi, Leticia Lopes, Suzane Hilgert. Livia Schlemmer e Bruna Castro.

Agradeço imensamente aos professores do Edital dos Polinizadores CNPq e FUNBIO que contribuíram na construção do meu conhecimento acerca da polinização e com as discussões apresentadas nos artigos da tese: Vera Imperatriz-Fonseca, Blandina Viana, Breno Freitas, Maria Cristina Gaglianone, Cristiane Krug, Mardiore Pinheiro, Isabel Alves dos Santos, Fabiana da Silva, Márcia Ribeiro, Márcia Maués, Marcelo Casemiro, Isac Bonfim, Diego de Melo, Denise Alves, Daniel Paiva, Rodolfo Jaffe, Ayrton Vollet, Heber Pereira, Allan Veiga, Luisa Carvalheiro e Bruno Nunes.

Agradeço a Margareth, Oswaldo, Marcos e Daniela Fett pelo suporte na minha vida pessoal e profissional, bem como incansável incentivo a busca da minha felicidade.

A todos os meus amigos que me apoiaram a seguir meu sonho em especial Vanessa Gomes e família, Silvia e Taygoara Bos, Jeane, Mateus e Carolina Felix, Eduardo Neves, Paulo Hack, Marco Prates, Lucas Vitória, Pedro Brauner, Gabriel Bianchessi e família, Bruna May, Caroline Quinteiro, Marielli Costa, Sabrina Cestari, Gustavo Igansi, Lorenzo Petrolí, Débora Cruz, Guilherme Fialho, Gabriela Macario, Gisele Pratini e família, Tatiana Krzyk, Caroline de David, Cristiano Sulzbach, Felipe Centenaro, Rafaela Silveira, Lincon Camargo, Daniel Sganzerla, Vitor Borba, Victor Arduin, Waldir Hugo e família, Eduarda Silva, Pe. Eduardo Moesch, Eric Hermann, José Ricardo Barradas, Thiago Malhmann, Juliana Hipolito, Jeferson Coutinho, Viviane Herter, Julia Melnick, Roberto Vasconcellos, Eduardo Moreira, José Ricardo Barradas, Rafael Francisco, Joatan Machado, Cristiano Arioli, Moises Zotti, Vânia Sganzerla, Chico Lovison e família, Thiago Silveira, Carmen Carvalho, Olga, Orci Bretanha, Eduardo Wendling, Eugênio Moreira, Claudio Mondin e a todos que por ventura eu tenha esquecido, mas que fazem parte dessa conquista.

Agradeço aos amigos da PUCRS em especial: Maria da Graça Coiro, Gert Brun, Andreia Simioni, Ronaldo Silva e Maiara da Silva pelo suporte e incentivo a pesquisa.

Aos professores Dr. Nelson Fontoura e Dra. Carla Suertegaray pelas contribuições em minha comissão de acompanhamento e banca de qualificação do doutorado.

Agradeço aos produtores de canola, em especial Airton Scortegna, Ilso Kich, Nadir Mahlmann, que permitiram que os estudos fossem desenvolvidos em suas propriedades e nos deram apoio logístico.

Agradeço as fomentadoras de canola Gioveli, BSBios, Rota Agrícola, Pordini Alimentos, Rural Sul e Cooperagri pelo apoio com os produtores e dados acerca da produtividade de canola. Também agradeço ao Dr. Wilson Groff pelo suporte com as fomentadoras e produtores na região das Missões.

Agradeço a todos os funcionários do Museu de Ciências e Tecnologia pelo apoio logístico, em especial Jorge Franz, Charles Soares, Margarete e Carlos Lucena, Lucas Lima, Carla Rigotti, Eni Farezin, Magda Dornelles, Fabrício Saltzman, Juliano Romanzini e Amilton Iaruchewski.

A CAPES pela bolsa de doutorado e ao CNPq pelo edital de polinizadores REDE BRASILEIRA PARA POLINIZAÇÃO DE CANOLA, bem como GEF, UNEP, FAO e FUNBIO, que viabilizaram a realização dos experimentos.

POLINIZADORES DE CANOLA: PERSPECTIVAS PARA O MANEJO SUSTENTÁVEL DE INSETOS, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

RESUMO

A perda atual da biodiversidade tem consequências negativas para o meio ambiente e impacta diversos serviços ecossistêmicos de polinização, dos quais a sociedade humana se beneficia direta ou indiretamente. Entre os principais polinizadores destacam-se as abelhas, vespas, coleópteros, moscas e borboletas. Sabe-se que as abelhas polinizam mais de 90% de 107 culturas globais e que outros insetos podem contribuir com 25-50% na polinização. Estudos sobre canola (*Brassica napus* L. variedade oleífera) apontam que a visita de insetos promove o aumento da produtividade dos grãos de 12 a 47%. Diante disto, o presente trabalho objetivou conhecer a diversidade de abelhas, vespas e coleópteros em agroecossistema de canola e identificar potenciais polinizadores da cultura. Além disso, foi avaliado como a paisagem e os polinizadores influenciam na produtividade de canola, bem como as áreas de adequabilidade de habitat para espécies polinizadoras frente às mudanças climáticas em cenários futuros (2050). Os insetos foram coletados com o uso de *pan traps* em oito lavouras de *B. napus* (Hyola 420 e Hyola 61) nos municípios de Esmeralda, Estrela e Guarani das Missões, RS, Brasil. Para desenvolvimento dos mapas de adequabilidade de habitat utilizou-se registros de ocorrências das espécies em bases de dados e dos municípios com lavouras de canola fornecidos por fomentadoras da cultura. Dentre as vespas destacam-se as espécies sociais *Brachygastra lecheguana* e *Protonectarina sylveirae* e as espécies solitárias *Campsomeris* spp., *Eucyrtothynnus* spp. e *Tiphia* spp. como potenciais polinizadores. As famílias mais representativas de coleópteros foram Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae e Scarabaeidae, sendo que a espécie mais abundante, *Astylus variegatus*, que é polinífaga, com corpo pubescente e densas cerdas, aos quais os grãos de pólen se aderem e são transportados, portanto, provavelmente é polinizador da canola e de flores do entorno. A produtividade de canola foi positivamente influenciada pela diversidade de abelhas, sociais e solitárias, e a distância do remanescente florestal afetou a composição das guildas de abelhas presentes no interior da lavoura. Foi observado que as áreas seminaturais tiveram correlação positiva com a riqueza de abelhas sociais nativas. Já na categoria de paisagem denominada ‘Mata’, pode-se observar que há correlação negativa no raio de 1000 metros com a abundância de abelhas subsociais ou solitárias, possivelmente atribuído ao hábito de nidificação destas, que é predominantemente subterrâneo, isto é, não dependem exclusivamente de florestas para construir seus ninhos. Em consonância, na categoria de ‘Agricultura’, a paisagem agrícola no raio de 1000 metros foi correlacionada positivamente com a abundância da mesma guilda, fato atribuído a nidificação no interior das lavouras. Diante de diferentes graus de heterogeneidade da paisagem nas lavouras de canola pode-se observar que a composição de insetos no agroecossistema da canola responde aos fatores ecológicos e históricos de cada região, relacionando-se com a qualidade do habitat e recursos alimentares para as espécies. As áreas de adequabilidade de habitat para canola mostram um elevado potencial para expansão da cultura no futuro, contudo para que isto aconteça deve-se estabelecer estratégias como a utilização de cultivares que tenham maior tolerância às variáveis climáticas, visto que estas afetam a fenologia das plantas. Em acréscimo, sugere-se empregar esforços para introdução da cultura em lugares que são adequados no cenário futuro. Além disso, ao compararmos a adequabilidade de habitat somente para canola e depois em sobreposição com as espécies de abelhas sem ferrão, podemos observar que as áreas adequadas aumentam expressivamente, reforçando que para expansão da cultura necessita-se medidas de conservação de habitats naturais e seminaturais para fornecer recursos alimentares e de nidificação para os polinizadores.

CANOLA POLLINATORS: PERSPECTIVES FOR SUSTAINABLE USE OF INSECTS, YIELD AND CLIMATIC CHANGES

ABSTRACT

The current loss of biodiversity has negative consequences for the environment and impacts several pollination ecosystem services, from which human society benefits directly or indirectly. Among the main pollinators bees, wasps, coleopterans, flies and butterflies stand out. Bees pollinate more than 90% of 107 worldwide crops and other insects might contribute with 20-50% of pollination. Studies about canola (*Brassica napus* L. cultivar 'oleífera') point out that insect visitation promotes an increase of 12 to 47% in grain productivity. Faced with this, the present work aimed to know the bee, wasp and coleopteran diversity in the canola agroecosystem and identify potential pollinators of the crop. Furthermore, it was evaluated how the landscape and the pollinators influence in the productivity of canola, as well as the habitat suitability for the pollinator species in the face of climatic change in future scenarios (2050). Insects were collected with pan traps in eight fields of *B. napus* (Hyola 420 and Hyola 61) in the towns of Esmeralda, Estrela and Guarani das Missões, RS, Brazil. For the development of the habitat suitability maps it was used the occurrence records of species in databases and of the canola fields in the towns informed by the crop promoters. Among the wasps the social species *Brachygastra lecheguana* and *Protonectarina sylveirae* and the solitary species *Campsomeris* spp. stand out as potential pollinators. The most representative families of coleopterans were Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae and Scarabaeidae, and the most abundant species, which is is polliniferous, with a pubescent body and dense bristles, to which the pollen grains adhere and are transported, thus probably it is a pollinator of canola and surrounding flowers. The productivity of canola was positively influenced by the diversity of social and solitary bees, and the distance from the forest fragment affected the composition of bee guilds present inside the canola fields. It was observed that the semi-natural areas presented a positive correlation with the social native bee species richness. Regarding the category of landscape named 'Forest', it was observed that there is a negative correlation in the 1000 meters radius with the subsocial or solitary bee abundance, possibly explained by their nesting habit, which is mainly underground, which means that it is not exclusively dependent of forest to build their nests. Accordingly, in the 'Agriculture' category, the agricultural landscape in the 1000 meters radius was positively correlated to the abundance of the same guild, fact attributed to the nesting inside canola fields. In view of the different degrees of heterogeneity of the landscape in canola crops, it can be observed that the composition of insects in the canola agroecosystem responds to the ecological and historical factors of each region, being related to the quality of the habitat and food resources for the species. The areas of habitat suitability for canola show a high potential for future crop expansion, however, for this to happen, strategies such as the use of cultivars that have greater tolerance to climatic variables should be established, because they affect plant phenology. In addition, it is suggested to use efforts to introduce the crops in places that are suitable in the future scenario. Furthermore, when comparing the habitat suitability only for canola and then in overlapping with the stingless bee species, we can observe that the appropriate areas increase significantly, reinforcing that for the expansion of the crop, conservation measures of natural and semi-natural habitats for providing food and nesting resources for pollinators are needed.

APRESENTAÇÃO

Os maiores desafios à conservação da biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos são a fragmentação de habitats e as mudanças climáticas, que muitas vezes decorrem da própria intensificação da agricultura sobre as áreas naturais. Assim, conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação de espécies no meio ambiente não é uma tarefa trivial, pois estima-se que será necessário aumentar em pelo menos 70% a produção global de alimentos a fim de suprir a demanda da humanidade em até 2050 (FAO, 2016). Sabe-se que mais de 75% das espécies agrícolas demandam ou se beneficiam do serviço de agentes polinizadores e, ao mesmo tempo, mais de 40% das espécies polinizadoras estão atualmente ameaçadas (FAO, 2016).

Os polinizadores desempenham um papel importante nos agroecossistemas atuando na reprodução das plantas (Potts *et al.*, 2016). Sabe-se que as abelhas são consideradas os principais polinizadores de diversas culturas, no entanto os outros insetos, como as vespas, besouros, moscas e borboletas podem contribuir com 25-50% da polinização (Rader *et al.*, 2016). Estudos na cultura da canola (*Brassica napus* L. variedade oleífera) apontam que a visita de insetos promove o aumento de 12 a 47% da produtividade de grãos (Mussury & Fernandes, 2000; Bonmarco *et al.*, 2012; Blochtein *et al.*, 2014; Witter *et al.*, 2014). Portanto, a presença e diversidade desses insetos aumentam a polinização e, conseqüentemente, os rendimentos e o valor de mercado dessa cultura (Bonmarco *et al.*, 2012).

Um importante marco na história dos polinizadores foi a Convenção sobre a Diversidade Biológica em que foi estabelecida uma “Iniciativa Internacional para Conservação e Uso Sustentável de Polinizadores - IPI”. Dentre as iniciativas destacam-se a

Iniciativa Européia de Polinizadores (EPI), Campanha Norte Americana de Proteção aos Polinizadores (NAPPC), Iniciativa Africana de Polinizadores (API), Programa de Polinizadores do Sudeste da Ásia (ICIMOD) e Iniciativa Brasileira de Polinizadores (IBP). A IBP se originou no Encontro Sobre Abelhas em 2000 com o apoio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), Universidade de São Paulo (USP) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Levando em consideração este cenário, o CNPq abriu um edital de Polinizadores em 2009 que selecionou sete culturas no país: canola, maçã, melão, tomate, caju, castanha-do-Brasil e algodão. A professora Betina, minha orientadora, teve seu projeto aprovado e então foi composta a Rede Brasileira para Polinização de Canola.

Com o intuito de fortalecer a iniciativa brasileira e dos demais países em desenvolvimento envolvidos com os polinizadores a Food and Agriculture Organization (FAO) da Organização das Nações Unidas (ONU) fomentou um projeto internacional intitulado “Conservação e Manejo de Polinizadores para Agricultura Sustentável através de uma Abordagem Ecológica”. Os países envolvidos foram o Brasil, África do Sul, Gana, Quênia, Índia, Paquistão e Nepal. O Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) forneceu U\$12 milhões de dólares para este projeto em 2010 com U\$3,5 milhões para o Brasil. No Brasil, o Edital de Polinizadores foi apoiado financeiramente por meio do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) – atual 15ª Agência do GEF, sendo responsável pela execução através das redes apoiadas, inclusive a Rede Canola. A supervisão geral ficou a encargo do MMA, através de um comitê nacional composto com representantes dos ministérios envolvidos, órgãos públicos, organizações civis e especialistas em polinizadores instituído pela Portaria Interministerial MMA/MCT/MAPA/MDA nº 178 de 29/05/2009. Portanto, este doutorado por fazer parte da REDE CANOLA teve apoio financeiro do

CNPq por meio do Edital de Polinizadores, do GEF/UNEP/FAO/PNUMA/FUNBIO/MMA e da CAPES através da bolsa de doutorado.

Nesta perspectiva de incentivo e comparação dos dados obtidos para iniciativas globais, a metodologia utilizada pela REDE CANOLA e, conseqüentemente em minha tese, foi padronizada internacionalmente pelos protocolos da FAO com o uso de armadilhas pan traps nas cores amarelo, azul e branco, havendo sido enviados pelo GEF a mesma armadilha (potes brancos) e o mesmo spray (Colorgin Luminoso amarelo e azul) para todas as iniciativas dos países em desenvolvimento.

A presente tese objetivou contribuir para o conhecimento sobre os polinizadores de canola, fornecendo perspectivas para o manejo sustentável de insetos, produtividade de grãos e mudanças climáticas. A abordagem abrange as áreas de Diversidade (Capítulo 1 e 2), Produtividade (Capítulo 3 e 4) e Mudanças Climáticas (Capítulo 5). Tendo em vista a necessidade de maior conhecimento sobre potenciais polinizadores não-abelhas para cultura da canola no Brasil, o primeiro capítulo refere-se à diversidade de vespas no agroecossistema da canola e potenciais polinizadores da cultura, já submetido ao periódico *Environmental Entomology*. O segundo capítulo objetiva conhecer a diversidade de coleópteros na canola, que será submetido a mesma revista do primeiro capítulo. A área Produtividade, abordada no terceiro capítulo, trata das abelhas e da produtividade de canola em diferentes distâncias dos remanescentes florestais, cujo manuscrito será submetido a *Agricultural & Forest Entomology*. O quarto capítulo tem como enfoque as abelhas, a paisagem agrícola e a produtividade de grãos, e será encaminhado à *Ecological Indicators*. Já a área Mudanças Climáticas é composta pelo quinto capítulo, onde são apresentadas adequabilidade de habitat de duas relevantes espécies de abelhas sem ferrão (*Tetragonisca fiebrigi* e *Scaptotrigona bipunctata*), associadas a cultura da canola com perspectivas de

manejo das abelhas e da cultura, que será submetido a Agriculture, Ecosystems & Environment. Todos os manuscritos foram preparados de acordo com as normas das revistas, exceto as figuras que são apresentadas ao longo do texto de acordo com as normas da tese do PPG-Zoologia da PUCRS.

Referências

- Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Halinski, R., Lopes, L. A., and Witter, S. (2014). Comparative study of the floral biology and of the response of productivity to insect visitation in two rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. *Brazilian Journal of Biology*, 74(4), 787-794.
- Bommarco, R., Marini, L. & Vaissière, B. E. (2012). Insect pollination enhances seed yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia* 169, 1025–1032.
- FAO (2016) – Food and Agriculture Organization: Disponível em: <https://www.fao.org.br/>
- Mussury, R.M. & Fernandes, W. (2000). Studies of the Floral Biology and Reproductive System of *Brassica napus* L. (Cruciferae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 43, no. 1, p. 111-117.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J. & Vanbergen, A.J. (2016) Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220 – 229.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A, Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P, Entling, M. H., Foully, B., Freitas, B. M, Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S. R., Gross, C. L., Herbertsson, L., Herzog, F., Hipolito, J., Jaggar, S., Jauker, F., Klein, A. M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C. Q., Lindström, S. A. M., Mandelik, Y., Monteiro, V. M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattermore, D. E., Pereira, N. O, Pisanty, G., Potts, S. G., Reemer, M., Rundlöf, M., Sheffield, C. S., Scheper, J., Schüepp, C., Smith, H. G., Stanley, D. A., Stout, J. C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Vergara, C. H., Viana, B. F., and Woyciechowski, M. 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Pnas* 113(1): 146-151.
- Witter, S., Nunes-Silva, P., Lisboa, B.B., Tirelli, F.P., Sattler, A., Hilgert-Moreira, S.B. & Blochtein, B. (2015) Stingless bees as alternative pollinators of canola. *Journal of Economic Entomology*, 1–7.

Área Diversidade



Diabrotica speciosa, popularmente conhecida como vaquinha, na
flor de *Brassica napus* (canola)

Fonte: Rosana Halinski

CAPÍTULO 1

Functional attributes of wasps in a canola agroecosystem

Manuscrito redigido no formato *Research Article* do
periódico *Environmental Entomology*

Functional attributes of wasps in a canola agroecosystem

Rosana Halinski^{1*}, Yve E. A. Gadelha², Anike Wilkens³, Alexandre Sommavila⁴, Betina Blochtein¹

¹Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de Entomologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida Ipiranga, 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. *Corresponding author: *ro.halinski@gmail.com;

²Laboratório de Biologia de Formigas, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n, 88040-900, Florianópolis, SC, Brazil.

³Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de Fisiologia da Conservação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida Ipiranga, 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

⁴Coordenação de Biodiversidade, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, André Araújo, 2936, 69060-001 Manaus, Amazonas, Brazil.

Abstract: Although agroecosystems can ensure ecological services, they are vulnerable to the loss of species or functional groups, which can generate environmental disturbances. According to their ecological functions, wasps are classified as bioindicators, hunting wasps or flower visitors. The present study aimed to elucidate the diversity of functional attributes of wasp species in the canola (*Brassica napus*) agroecosystem and to identify the potential pollinators of this plant. The study was performed in four canola crop areas in southern Brazil using pan traps. Three types of habitats were selected for the study: canola, grassland vegetation and forest fragment. The 493 captured specimens were distributed into eight families, including 37 wasp taxa. The Microhymenoptera (a bioindicator) were the most abundant group in all habitats studied, followed by *Campsomeris quadrimaculata* (a hunting wasp) and *Tiphia* spp. (a flower visitor). Grassland vegetation presented the greatest abundance of species and functional groups (including flower visitors). The social wasps (Polistinae) *Brachygastra lecheguana* and *Protonectarina sylveirae* and the solitary species *Campsomeris* spp., *Eucyrtothynnus* spp. and *Tiphia* spp. (Tiphidae) presented pollinator potential. The results indicate that Polistinae and Tiphidae wasps can be efficient pollinators in agroecosystems because they are numerous and are tolerant to low temperatures, unlike bees. Resources such as nectar, pollen and prey are produced throughout the year in agroecosystems to promote the establishment of perennial nests of social wasp species, which are potential pollinators of canola.

Keywords: Bioindicator, flower visitor, functional group, hunting wasp

39 **Introduction**

40 Within ecosystems, groups of species that perform similar functions (e.g.,
41 bioindicators, flower visitors or predators) display similar responses to environmental
42 disturbances or are involved in the same ecological processes (de Bello et al., 2010). Thus,
43 functional groups can be defined as a set of species with equivalent functional features
44 (Luck et al., 2009) and can be termed “guilds” (de Bello et al., 2010; Podgaiski et al.,
45 2011). However, species are subject to anthropic actions on the local or global scale (Folke
46 et al., 2004; Hooper et al., 2005), which usually change the structure and composition of the
47 communities and consequently the ecosystem services that these species provide to humans
48 (Hooper et al., 2005; de Bello et al., 2010; Podgaiski et al., 2011).

49 Ecological systems, including agroecosystems, are vulnerable to biodiversity
50 reduction and the removal of functional groups or whole trophic levels (Folke et al., 2004).
51 Anthropogenic changes in these factors can compromise the resilience of these systems,
52 and consequently, these effects can cause environmental disturbances (Pardini et al., 2010)
53 that directly affect the ability to generate ecosystem services (Folke et al., 2004). Wasps
54 can function as bioindicators of these changes (Tscharntke et al., 1998) because they have a
55 wide distribution and short generation time and are sensible to climatic conditions
56 (Samways et al., 2010; Anderson et al., 2011).

57 The use of predatory wasps as natural biological control agents of agricultural pests
58 is an excellent alternative to avoid pesticide use in agroecosystems (Ghoneim, 2014).
59 Hunting wasps belonging to the families Crabonidae and Sphecidae mainly prey on insects
60 and spiders (Vanoye-Eligio et al., 2014). Conversely, the Pompilidae prey exclusively on
61 spiders, and their prey selection depends more on an individual's size than on the habitat

62 (O'Neill, 2001). Parasitic wasps also act in the population control of other insects by
63 affecting the agroecosystem trophic levels either directly or indirectly (Perioto et al., 2004).

64 Another ecosystem service that is essential for maintenance is pollination because
65 plants depend on this process to reproduce (Ollerton et al., 2011). Bees are regarded as the
66 most efficient pollinators. However, other insects, including wasps, butterflies, beetles and
67 flies, can also perform this function (Potts et al., 2016). Notably, wasps (Vespidae) can visit
68 flowers and pollinate plants (Shuttleworth and Johnson, 2009). Although they possess a
69 lower ability to carry pollen in comparison with bees (Kevan and Baker, 1983), wasps and
70 other non-bee insects may contribute to 25-50% of pollination (Rader et al., 2016). Flower
71 visitor wasps collect pollen and nectar to supply their nests and sugar diet and consequently
72 pollinate flowers (Gess, 1996). Therefore, wasps are believed to be effective pollinators
73 (Sühs et al., 2009).

74 Canola (*Brassica napus* L., Brassicaceae) is the third most cultivated oilseed
75 worldwide (USDA, 2016). Canola flowers are considered self-fertile; however, several
76 studies have indicated that pollination by insects increases the production and quality of the
77 beans, thereby increasing the price of the seeds on the market (Bommarco et al., 2012;
78 Blochtein et al., 2014).

79 The goal of this study was to unravel the diversity of functional attributes of wasps
80 in the canola (*B. napus*) agroecosystem and to investigate which species had the potential to
81 be pollinators of the plant. Therefore, this work sets out to answer the following questions:
82 (1) what are the potential pollinating wasp species of canola, (2) what is the difference
83 between the guilds of wasps found within the culture and its surroundings, (3) what colour
84 preference do the wasps show for the pan traps, (4) how are abiotic factors related to the

85 abundance of individuals and the species richness of wasps and (5) how does the
86 composition of the functional attributes change throughout the year?

87

88 **Materials and Methods**

89 **Study area**

90 The work was conducted in four *B. napus* (cv. Hyola 420) crops in the municipality
91 of Esmeralda in southern Brazil. The combined studied areas account for 280 ha (field 1: 20
92 ha - 51°17'43" W; 28°03'12,3" S; field 2: 80 ha - 51°15'48" W; 28°02'41" S; field 3: 100 ha
93 - 51°16'10" W; 28°02'08" S and field 4: 80 ha - 51°10'31" W; 28°04' 44" S). Canola
94 flowering extends from August to October; this period is similar to the period of wheat, and
95 the culture is part of the winter crop rotation. In the summer, soybean and corn crops are
96 planted in the region.

97 Three types of habitats were considered for comparisons of the functional attributes
98 studied in wasps: (1) blooming canola crops; (2) grassland vegetation, which consists of
99 areas with grasses and herbaceous plants where cattle are grazing and (3) forest fragments,
100 which predominantly include low-diameter trees at breast height and tree plants more than
101 1.5 metres in height.

102 The vegetation of the region consists of “Araucaria Forest” (Veloso et al., 1992) and
103 has a humid subtropical climate with a temperate summer (Alvares et al., 2013). The
104 average temperature varies between 14.4 and 16.8°C, the relative humidity varies between
105 76 and 83%, and the annual rainfall varies between 1,412 and 2,162 mm (Veloso et al.,
106 1992).

107

108 **Sampling and experimental design**

109 The diversity and abundance of wasp species were sampled during the canola
110 flowering season in 2010 (4 collections – Field 1 and Field 2) and 2011 (10 collections-
111 Field 3 and Field 4). Additionally, monthly samplings were performed in field 1 and 2 from
112 November to July for a total of 46 collections.

113 The samplings were performed using pan traps coloured ultraviolet blue, yellow and
114 white; the traps remained exposed for 24 hours during each sampling period (adapted from
115 Westphal et al., 2008). Pan traps are containers filled with water and detergent. The
116 detergent is used to break the surface tension of the water, thereby ensuring the insects fall
117 to the bottom of the trap (Westphal et al., 2008). Sixty pan traps divided into groups of 15
118 pots were used for each sampling; each group of pots consisted of five equilateral triangles
119 3 m on each side placed 15 m apart from one another (adapted from FAO, 2010). Pan
120 trapping is an effective passive collection method to capture pollinating insects in
121 agricultural and semi-natural habitats because no bias is introduced by the collector
122 (Westphal et al., 2008; Vrdoljak and Samways, 2012).

123 The wasp species were identified by experts and deposited in the laboratory of
124 Entomology of the Museum of Science and Technology of the Pontifical Catholic
125 University of Rio Grande do Sul (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul –
126 PUCRS), Porto Alegre, RS, Brazil. Due to the lack of taxonomic review, parasitic
127 Hymenoptera species with small sizes were included in the group Microhymenoptera.
128 During the sampling period, the following weather data were obtained from the National
129 Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2016): total
130 insolation, mean cloud cover, number of days with precipitation, total precipitation, mean
131 pressure, mean maximum temperature, mean temperature and mean minimum temperature.

132 For comparison purposes, the wasp species were categorized into guilds of
 133 organisms in accordance with their functional attributes, which resulted in three classes: (1)
 134 bioindicator, (2) hunting wasp and (3) flower visitor (Table 1).

135

136 **Table 1.** Ecosystem services and processes related to their respective relevant functional
 137 attributes in wasps from a canola (*Brassica napus* L., Brassicaceae) agroecosystem in
 138 southern Brazil.

Ecosystem services	Ecosystem process	Organisms	Relevant attributes
Bioindicator of environmental disturbance	Environmental quality regulation	Bioindicator	-Body size -Ecological niche -Foraging capacity
Biological control	Regulation of agricultural pests	Hunting wasp	-Body size -Ecological niche -Foraging capacity
Vegetal reproduction	Pollination	Flower visitor	-Body size -Foraging capacity -Food habit -Pubescence

139

140 **Statistical analysis**

141 The differences between the three wasp guilds (bioindicator, hunting wasp and
 142 flower visitor) in the three sampled habitats (canola, grassland vegetation and forest
 143 fragment) were evaluated using the Chi-square test in the "stats" package of the R program
 144 (R Core Team, 2016). A multinomial logistic regression model was used to check the
 145 proportion of guilds found in each habitat using the "nnet" package in the same program
 146 (Hosmer *et al.*, 2013). The interaction network was built using an array of weighted
 147 interactions where the rows corresponded to wasp species and the columns corresponded to
 148 the habitats. From this matrix, a bipartite graph of the Energy-Fruchterman-Reingold type
 149 was produced in Pajek version 4.10 (Batagelj and Mrvar, 1998), with the nodes

150 corresponding to wasp species or different habitats and the links corresponding to the
151 abundance of wasp individuals collected in the habitats.

152 In the "stats" package of the R program, the Spearman correlation test was applied
153 to correlate the abiotic data with the abundance of wasp individuals and the wasp species
154 richness. The Chi-square test was used to evaluate differences between the guilds and the
155 weather seasons. A multinomial logistic regression model between variables was applied to
156 analyse the guild compositions throughout the year. The Wilcoxon test was used to evaluate
157 the preference of the species for the pan trap colours (Hosmer et al., 2013). A species
158 rarefaction curve was calculated to evaluate the sample adequacy (Magurran, 2004).

159

160 **Results**

161 **Wasp diversity**

162 A total of 493 individuals collected from the agroecosystem were distributed into
163 eight families, including 37 wasp taxa (Table 2). The Microhymenoptera were the most
164 represented group, with 383 individuals sampled (78% of the total of wasps), followed by
165 *Campsomeris quadrimaculata*, with 29 individuals (6% of the total sampled); these groups
166 were present in both the canola and grassland vegetation during September and October.
167 The third most abundant species was *Tiphia* sp. 1, with 17 individuals collected. Among the
168 families, Pompilidae scored the highest number of species, with 10 morphospecies (Table
169 2).

Table 2. Wasp species sampled in three habitats of the canola agroecosystem (Grassland Vegetation-GV, Canola-C and Forest Fragment-FF) in Esmeralda, Rio Grande do Sul, Brazil, highlighting the abundance, guild (functional attribute) and sampling months in 2010 and 2011.

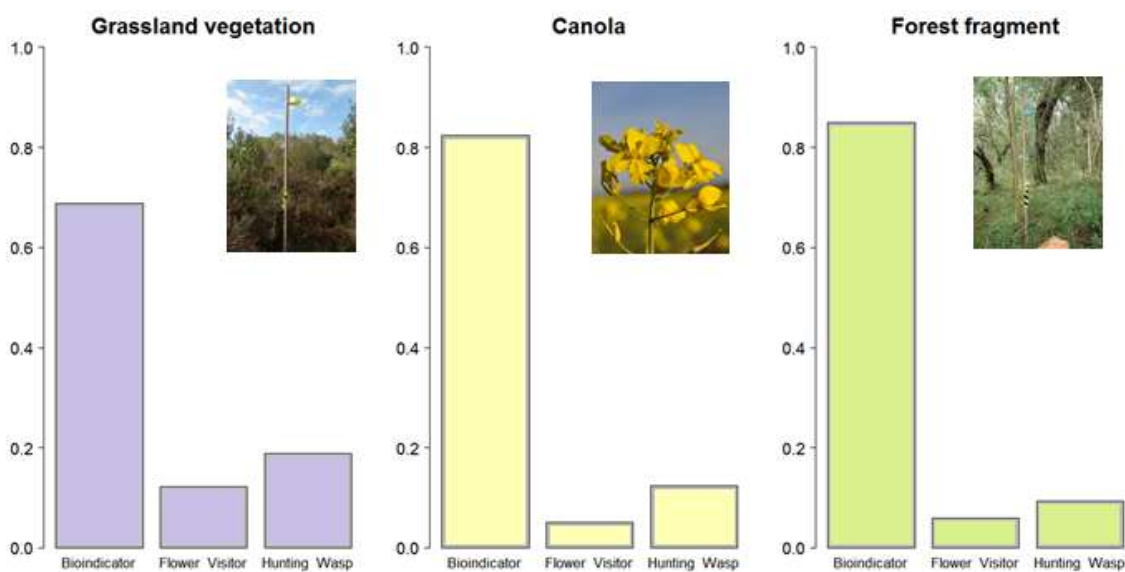
Taxon	Acronym	Abundance	Guild	Habitat	Sampling month
Crabronidae		5			
<i>Cerceris</i> sp.	Cerc	1	Hunting wasp	GV	Nov
<i>Liris</i> sp.	Liris	3	Hunting wasp	GV	Jan, Sept, Dec
<i>Tachytes</i> sp.	Tach	1	Hunting wasp	GV	Mar
Ichneumonidae		4			
Campopleginae	Camp1	1	Bioindicator	FF	Feb
Nesomesochorinae	Neso	3	Bioindicator	GV, FF	Jan, Aug, Nov
Microhymenoptera	Microhym	383	Bioindicator	GV, C, FF	Jan to Dec
Mutillidae		1			
<i>Ephuta</i> sp.	Ephu	1	Hunting wasp	GV	May
Pompilidae		2			
Ceropalinae	Cero	1	Hunting wasp	GV	Mar
<i>Pepsis</i> sp.	Pepsis	1	Hunting wasp	GV	Sept
Pompilidae sp.	Pomp	1	Hunting wasp	GV	Aug
Pompilinae sp.1	Pompn1	3	Hunting wasp	GV	May, Oct, Nov
Pompilinae sp.2	Pompn2	1	Hunting wasp	GV	Nov
Pompilinae sp.3	Pompn3	1	Hunting wasp	FF	Nov
Pompilinae sp.4	Pompn4	1	Hunting wasp	GV	May
Pompilinae sp.5	Pompn5	2	Hunting wasp	FF	Feb
Pompilinae sp.6	Pompn6	1	Hunting wasp	GV	May
Pompilinae sp.7	Pompn7	1	Hunting wasp	FF	Feb
Scoliidae		33			
<i>Campsomeris argentea</i> Haliday, 1837	C_arg	3	Hunting wasp	GV	Oct, Nov, Dec
<i>Campsomeris quadrimaculata</i>	C_qua	29	Hunting wasp	GV, C	Sept, Oct
<i>Campsomeris</i> sp.1	Campso	1	Hunting wasp	C	Aug
Sphecidae		2			
<i>Chlorion</i> sp.1	Chlo	2	Hunting wasp	GV	Mar
Tiphiidae		32			
<i>Eucyrtothynnus</i> sp.1	Eucyr1	6	Flower visitor	GV, C	Mar, Oct, Nov
<i>Eucyrtothynnus</i> sp.2	Eucyr2	2	Flower visitor	GV, C	Sept
<i>Eucyrtothynnus</i> sp.3	Eucyr3	1	Flower visitor	FF	Aug
<i>Eucyrtothynnus</i> sp.4	Eucyr4	2	Flower visitor	C	Sept
<i>Eucyrtothynnus</i> sp.5	Eucyr5	2	Flower visitor	C, FF	Sept
<i>Neotiphia</i> sp.1	Neot	1	Flower visitor	GV	Nov
<i>Tiphia</i> sp.1	Tiph1	17	Flower visitor	GV, C, FF	Feb, Mar, May, Jun, Aug, Sept, Mar
<i>Tiphia</i> sp.2	Tiph2	1	Flower visitor	FF	Mar
Vespidae		30			
Subfamily Polistinae					
<i>Agelaia multipicta</i> (Haliday, 1836)	A_mul	7	Hunting wasp	GV, FF	Aug to Dec
<i>Brachygastra lecheguana</i> Latreille, 1824	B_lec	5	Flower visitor	GV, C	Sept, Oct, Nov
<i>Polistes cinerascens</i> Saussure	P_cin	4	Hunting wasp	GV	Feb, Sept
<i>Polistes</i> sp.	Poli	1	Hunting wasp	GV	Sept
<i>Polybia occidentalis</i> Olivier, 1791	P_occ	1	Hunting wasp	GV	Aug
<i>Protonectarina sylveirae</i> Saussure,	P_syl	2	Flower visitor	GV, FF	Jan, Nov
Subfamily Eumeninae					
<i>Hypalastoroide</i> sp.	Hypa	1	Flower visitor	GV	Nov
<i>Zethus</i> sp.	Zeth	1	Flower visitor	GV	Nov

171 Wasps were sampled in only 27 of the 46 collections. However, the rarefaction
172 curve tended to stabilize (Asymptote) at 40 sampled wasp species (Supplementary Material
173 1).

174

175 Wasps in habitats

176 The frequencies of wasp guilds significantly differed among habitats (Chi-square =
177 15.207, $df = 4$, $p\text{-value} = 0.004$). When these habitats were analysed separately, the
178 predominant guild was bioindicator, with at least 69%, 82% and 84% of the total wasps
179 from the grassland vegetation, canola and forest fragment habitats, respectively. Regarding
180 the occurrence of floral visitors in each of the three habitats, there was a 12% probability of
181 occurrence in grassland vegetation, whereas in canola and the forest fragment, the
182 probability was 8%. Furthermore, the grassland vegetation habitat had the highest
183 probability of finding hunting wasps (18%) (Figure 1). All pairwise analyses of the wasp
184 guilds and habitats revealed significant differences (Supplementary Material 2).

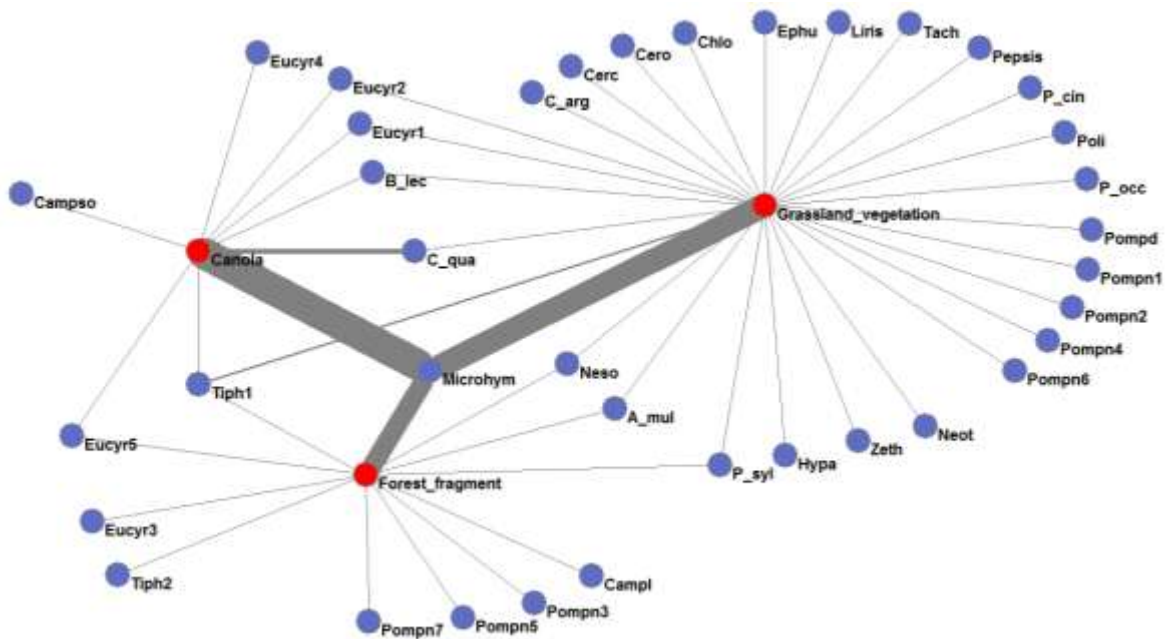


185

186 **Figure 1.** Multinomial logistic regression model of wasp species guilds sampled in three
187 canola agroecosystem habitats (grassland vegetation, canola and forest fragment) in
188 Esmeralda, Rio Grande do Sul, Brazil, in 2010 and 2011.

189 Microhymenoptera (bioindicators) was the most frequent taxon in every habitat,
190 followed by *C. quadrimaculata* (a hunting wasp), which was sampled in canola and
191 grassland vegetation, and *Tiphia* sp.1 (a flower visitor), which was also found in all habitats
192 (Figure 3). Grassland vegetation was the habitat with the highest wasp species richness,
193 with 19 exclusive morphospecies, three of which belonged to the flower visitor guild
194 (*Hypalastoroide* sp., *Zethus* sp. and *Neotiphia* sp.). Six exclusive species were collected in
195 the forest fragment, two of which were potential canola-pollinating species (*Tiphia* sp. 2
196 and *Eucyrtothynnus* sp. 3). In canola, six exclusive flower-visitor species were observed
197 (*Brachygastra lecheguana*, *Tiphia* sp. 1, *Eucyrtothynnus* sp. 1, *Eucyrtothynnus* sp. 2,
198 *Eucyrtothynnus* sp. 5 and *Eucyrtothynnus* sp. 4) (Table 2, Figure 2).

199



200

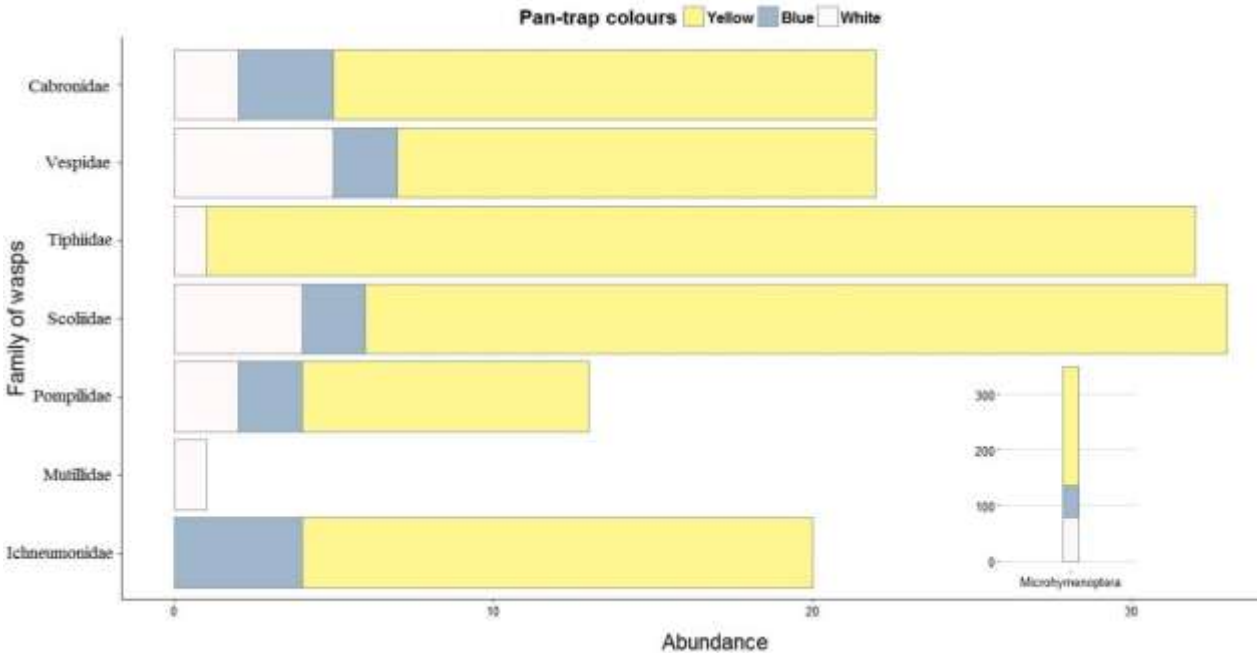
201 **Figure 2.** Interaction network between wasp species and three canola agroecosystem
 202 habitats (canola, grassland vegetation and forest fragment) in Esmeralda, Rio Grande do
 203 Sul, Brazil, in 2010 and 2011. The most abundant and important wasp species are drawn
 204 closer to the centre of the graph. The blue circles represent the wasp species. The red circles
 205 represent the different habitats. The size of the link is proportional to the abundance of the
 206 wasp species sampled in the habitats. Species acronyms use the first letter of the genus and
 207 the first three letters of the specific epithet. The acronyms are listed in Table 2.

208

209 **Pan trap colour preference**

210 All families collected were found in pan traps, independent of the trap colour, with
 211 the following exceptions. Mutillidae was captured only in the white colour traps (hunting
 212 wasps), Ichneumonidae was not captured in the white traps (bioindicator), and Tiphidae
 213 was not captured in the blue trap (flower visitor) (Figure 3). Microhymenoptera, which was
 214 the most abundant taxon, was present in traps of all colours but predominated in the yellow
 215 traps; these wasps belong to the bioindicator guild.

216



217

218 **Figure 3.** Abundance of wasp families sampled in three canola agroecosystem habitats
 219 (grassland vegetation, canola and forest fragment) in Esmeralda, Rio Grande do Sul, Brazil,
 220 in 2010 and 2011. Microhymenoptera was separated due to the different scale.

221

222 **Climatic factors and seasonality**

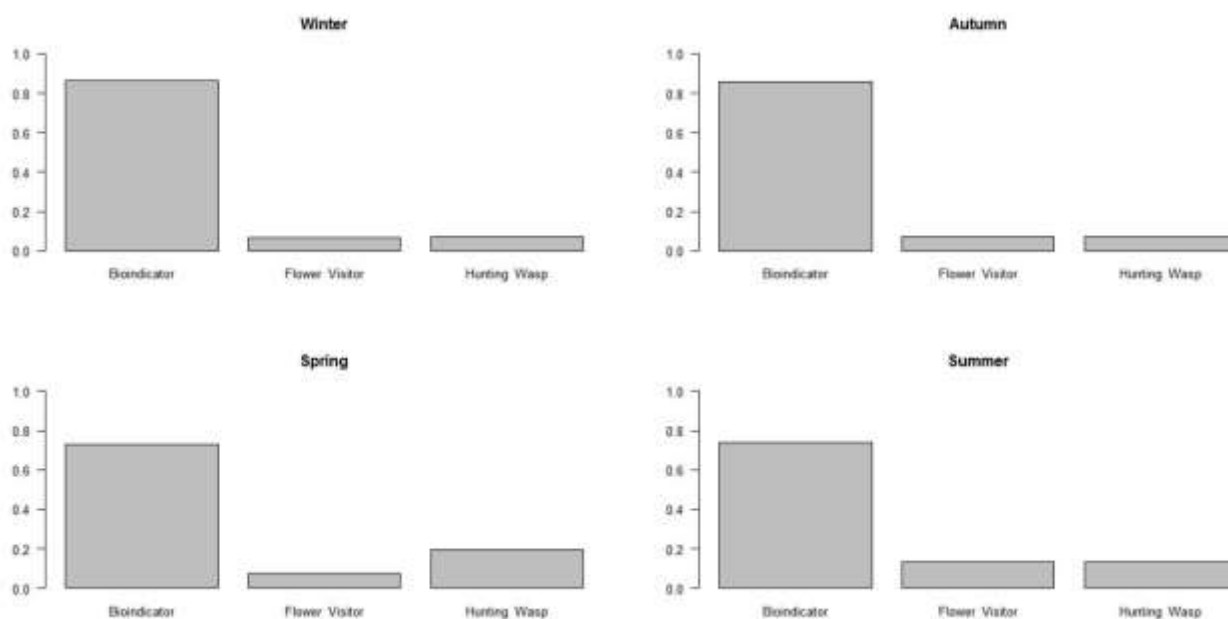
223 The climatic conditions of insolation and total precipitation showed a significant
 224 positive correlation (Table 3). The observed and expected numbers of the wasp guilds and
 225 seasons significantly differed (Chi-square = 16.81, df = 6, p-value = 0.010). Organisms that
 226 were bioindicators of environmental disturbances predominated in all seasons of the year,
 227 with 73% in the spring and summer and 86% in the winter and autumn (Figure 4). In
 228 contrast, the flower visitors tended to occur more frequently in the summer (13%) and
 229 occurred with the same probability in the other seasons. Hunting wasps were more likely to
 230 occur in the spring and summer. All comparisons were significant when the organism
 231 guilds and seasons were analysed in pairs (Supplementary Material 2).

232

233 **Table 3.** Correlation (r) of the climate data with the abundance and richness of the wasp sp
 234 species. The significant correlations are shown in **bold**.
 235

Abiotic variables	Abundance		Richness	
Total insolation	r = 0.721	p = 0.002	r = 0.545	p = 0.035
Number of days with precipitation	r = -0.323	p = 0.238	r = -0.263	p = 0.343
Total precipitation	r = -0.589	p = 0.020	r = -0.630	p = 0.011
Mean pressure	r = -0.311	p = 0.258	r = -0.174	p = 0.533
Mean temperature	r = 0.387	p = 0.170	r = 0.476	p = 0.084

236
 237



238

239 **Figure 4.** Multinomial logistic regression model of the wasp guilds and the seasons canola
 240 agroecosystem.
 241

242 **Discussion**

243 **Wasp diversity**

244 Wasps are essential for the conservation of agroecosystems and may function as
 245 pollinators, contribute to the biological control of pests and serve as bioindicators of
 246 environmental disturbances (Loyola and Martins, 2006). In the present study,
 247 Microhymenoptera was the most representative group. These wasps are bioindicators due to

248 their motility, small size and short generation time. Furthermore, Microhymenoptera
249 interact with most groups of terrestrial arthropods and are sensitive to climatic factors, such
250 as temperature and humidity (Samways et al., 2010; Anderson et al., 2011). According to
251 McGeoch (1998), a biological indicator must reflect the biotic and abiotic conditions of the
252 environment, thereby reflecting its diversity and impact. The observed abundance of
253 Microhymenoptera in the canola agroecosystem can be explained by the regional
254 environmental conditions and the reduced use of agrochemicals in the studied habitats.

255 The wasp species belonging to the Scoliidae family are cosmopolitan and present
256 solitary behaviour (Auko and Silvestre, 2013), as noted for *C. quadrimaculata*, which was
257 the second most common species observed in the present study. The females prey on beetle
258 larvae of the families Scarabaeidae, Passalidae and Lucanidae; however, their taxonomy
259 and consequently their ecological relationships are poorly understood (Fernández 2006). In
260 canola, *C. quadrimaculata* wasps were observed touching the reproductive structures of
261 flowers and with pollen in their legs after staying in the flowers waiting for prey (HR,
262 personal communication). Soh and Ngiam (2013) also recorded *Campsomeris* visits in bee
263 bush flowers (*Antigonon leptopus*) and blackjack flowers (*Bidens pilosa*); the former is
264 found in urban areas, and the latter is commonly found in agricultural areas around
265 plantations.

266 All wasps belonging to the Tiphidae family found in this study are flower visitors.
267 This family has a worldwide distribution, mainly in tropical regions (Auko and Silvestre,
268 2013). Rogers and Potter (2004) noted that the species *Tiphia pygidialis* and *Tiphia*
269 *vernalis* were captured more efficiently with yellow traps with 10% sugar. In this study,
270 two *Tiphia* species were observed in canola, probably due to the massive yellow flowering
271 of the culture and the availability of the nectar.

272 Vespidae, which was one of the most represented families in the study, is widely
273 distributed worldwide, with approximately 5,000 valid described species and the greatest
274 diversity in the Tropics (Pickett and Carpenter, 2010). Three of the six Vespidae
275 subfamilies are found in Brazil (Masarinae, Eumeninae and Polistinae) (Carpenter and
276 Marques 2001); the latter two were observed in this study. The Eumeninae wasps are
277 usually solitary and typically build their nests with mud and plant resin in pre-existing
278 cavities or on surfaces (Evans, 1966). Eumeninae wasps are flower visitors, suggesting that
279 the importance of these species for the agroecosystem may be that they play a role in the
280 pollination of canola and the surrounding plants.

281 In the present study, six hunting wasp species were found, not including
282 *Brachygastra lecheguana* and *Protonectarina sylveirae*, which were considered flower
283 visitors. The wasps of *P. sylveirae* are extremely numerous and tolerant to dry periods;
284 these wasps form colonies of up to 10,000 individuals of reduced size (8 mm) that display
285 aggressive behaviour and are present from northern Argentina to northeastern Brazil
286 (Dohtsu et al., 1993). Due to their high abundance and broad geographical spectrum, the
287 wasps of *P. sylveirae* are regarded as efficient pollinators even when they prey on the
288 flowers because they may touch the reproductive structures of the plant depending on the
289 floral morphology, as is the case with canola. In the same geographic region, the species *B.*
290 *lecheguana* and *P. sylveirae* were observed visiting a wide range of flowers; the former
291 presented a greater range of trophic niches compared to other social wasps (Hermes and
292 Köhler, 2006). The genera *Polistes* and *Polybia* are easily observed in southern Brazil;
293 these wasps are efficient predators of immature stages of other insects (Somavilla et al.,
294 2010).

295

296 **Pollination of canola**

297 Canola is a self-fertile plant that has open and hermaphroditic flowers that allow
298 virtually all floral visitor insects to contribute to its pollination (Blochtein et al., 2014). In
299 this way, the wasps can be potential pollinators of this culture after the plant provides
300 pollen and nectar to its visitors (Halinski et al., 2015). Anthophilous insects promote a 12 to
301 47% increase in productivity through cross-pollination (Mussury and Fernandes, 2000;
302 Bonmarco et al., 2012; Halinski, 2013; Blochtein et al., 2014; Witter et al., 2014).

303 Among the potential pollinating wasps observed in this study, we highlight two
304 social species belonging to the Polistinae (*Brachygastra lecheguana* and *Protonectarina*
305 *sylveirae*), whose nests show a high abundance of wasps that can increase the productivity
306 of canola while foraging on its flowers (Witter et al., 2014). Additionally, the solitary
307 species of Crabronidae, Scoliidae and Tiphiidae have relevant functional attributes, such as
308 a large quantity of bristles and a conspicuously punctated integument, which aid in the
309 adhesion of pollen grains; these species also have elongated mouthparts that facilitate
310 contact with the plant reproductive structures.

311

312 **Functional groups of wasps in habitats**

313 Of the three habitats studied here, grassland vegetation had the greatest species
314 richness and functional attributes. Because grassland vegetation is a transitional area
315 between canola and the forest fragment, this habitat would be expected to harbour a greater
316 variety of wasp guilds. However, grassland vegetation overcame the canola even in the
317 species richness of flower visitors and hunting wasps. Habitat complexity is one factor that
318 can affect the different types of wasp guilds seen in tropical environments (Clemente et al.,
319 2013). In agroecosystems, surrounding areas can provide different physiognomies and

320 harbour different wasp species, thereby increasing the wealth of species near agricultural
321 systems (Santos et al., 2009). Notably, the richness of flower visitors and the insect
322 visitation rate (with the exception of bees) in agroecosystems decrease with the distance to
323 natural or semi-natural areas (Garibaldi et al., 2011). With the intensification of agriculture,
324 species that play important roles as pollinators have entered into population decline (Potts
325 et al., 2016); therefore, the surrounding areas are beneficial because they provide refuges
326 for other species.

327 Bioindicator wasps are important agents of environmental quality. The
328 Microhymenoptera were the most abundant organisms collected in every habitat studied
329 here, and these species were thought to be good indicators of the arthropod diversity in
330 agroecosystems (Anderson et al., 2011). Parasitic wasps are effective bioindicators because
331 they indicate the diversity of their hosts (Sharkey, 2007). Predator-prey interactions can be
332 used in the biological control of agricultural pests (Polidori et al., 2005; Sandonato et al.,
333 2010) because the hunter species (solitary or gregarious) usually make their nests on the
334 ground and capture other insects or spiders as prey to feed their larvae (Polidori et al., 2005;
335 Costa and Buschini, 2016). This phenomenon was described for the Crabronidae wasps,
336 especially the genera *Cerceris* and *Liris*, which were observed in the present study.
337 Endoparasitic wasps of the Campopleginae subfamily contribute to the natural population
338 control of butterfly larvae, which are generally pests in agroecosystems (Sandonato et al.,
339 2010). Parasitoid wasps are natural enemies of insects and can mediate the biocontrol of
340 other insect species (Orr, 1988). Social wasps of the genera *Brachygastra*, *Polistes* and
341 *Polybia* (Polistinae) can effectively colonize agroecosystems because these environments
342 have a simple plant structure but provide food resources, such as nectar and prey,
343 throughout the year (Santos et al., 2009). Floral visitor wasps are highly specialized to their

344 plants because they have a reduced food niche (Heithaus, 1979) and share their floral
345 resources with bees (Aguiar and Santos, 2007), as observed in the wasp *B. lecheguana*
346 (Vespidae) in the Atlantic Forest and Caatinga (Hermes and Köhler, 2006; Aguiar and
347 Santos, 2007).

348

349 **Pan trap colours**

350 Yellow is the most attractive colour and catches the most insects, including wasps
351 (Moreira et al., 2016). In this study, 80% of individuals were caught in the yellow pan
352 traps. However, Vrdoljak and Samways (2012) noted the importance of other colours for
353 insect capture, such as blue and white. Moreira et al. (2016) used these colours and showed
354 that the richness of wasp species sampled with the blue and yellow pan traps was not
355 significantly different, although the both species richness from both traps were significantly
356 higher than the richness sampled in the white pan traps. Moreover, the authors reported that
357 the wasps were more attracted by the colour yellow, whereas bees were collected in the
358 blue pan trap, suggesting a complementarity of the colours in the capture of Hymenoptera.
359 The use of pan traps for collection is one of the most efficient methods for sampling
360 pollinators in agricultural and semi-natural habitats (Westphal et al., 2008) and has the
361 advantage of not having collector (experimenter) bias (Vrdoljak and Samways 2012).

362 Among the guilds, all of the wasps were sampled in pan traps of all colours.
363 However, the floral visitors belonging to Tiphiidae were not sampled in the blue coloured
364 traps, possibly because blue did not have the high reflectance of the white and yellow
365 colours, which favoured capture with these traps in agricultural habitats (Vrdoljak &
366 Samways, 2012). Unlike Microhymenoptera, the Ichneumonidae family, which is included
367 in the bioindicator guild, was not sampled in the white traps, indicating that the use of this

368 family as a bioindicator to track environmental changes would require a complementary
369 sampling method.

370 **Climatic factors and seasonality**

371 In this study, the richness and abundance of wasp species were affected by
372 environmental factors, such as total insolation, average cloudiness and total precipitation.
373 Silva and Noda (2000) observed that the foraging activity of wasps intensified with
374 increasing temperature and light but decreased with increases in humidity. Other activities,
375 such as collecting materials to build nests and capturing prey, can also be altered by
376 climatic factors (Silva and Noda, 2000). Thus, the optimal foraging of wasps occurs during
377 the dry and sunny season (Resende et al., 2001). Although temperature can be a limiting
378 factor for the occurrence of species, wasps have been shown to tolerate low temperatures
379 and extreme climatic conditions (Rader et al., 2016). Therefore, wasps have an advantage
380 over bees in agroecosystems where pollination by insects is critical because bees have
381 limitations in flight activity due to low temperatures (Corbet et al., 1993). This advantage
382 makes wasps important pollinators in cultures such as canola that flourish in winter.

383 The occurrence of functional groups of wasps varies throughout the year, mainly
384 due to the availability of food resources. In agroecosystems, there are periods of abundance
385 of food resources during flowering, followed by periods of very few resources in which the
386 fruits or grains are already formed and food is not available until the next flowering of the
387 culture.

388 In the winter, canola enters a period of mass flowering that provides pollen and
389 nectar as floral rewards to pollinators. These resources are available for 45-60 days, but the
390 resources produced during canola flowering may not adequately meet the nutritional needs
391 of insects. Therefore, despite the availability of food resources in times of scarcity, the

392 surrounding environment, such as grassland vegetation and forest fragment, are essential to
393 meet the food demands of insects throughout the year.

394 **Acknowledgements**

395 We thank Daniel Dornelles Guidi and Pamela Mânica for helping in the sorting of
396 wasps and Karine Schoeninger and Peter Reck Bartolomay for the identification. We also
397 thank the Brazilian Federal Agency for the Support and Evaluation of Graduate Education
398 (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES), for
399 scholarships (RH, 13190066-4 and AW, 15190186-5), and the National Council for
400 Scientific and Technological Development (Conselho Nacional de Desenvolvimento
401 Científico e Tecnológico – CNPq) (AS: 160560/2012-8).

402

403 **References**

404 **Aguiar, C. M. L., and G. M. M. Santos. 2007.** Compartilhamento de recursos florais por
405 vespas sociais (Hymenoptera: Vespidae) e abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área
406 de Caatinga. Neotrop. Entomol. 36: 836-842.

407 **Alvares, C. A. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., and G. Sparovek.**
408 **2013.** Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Z. 22(6): 711-728.

409 **Anderson, A., S. McCormack, A. Helden, H. Sheridan, A. Kinsella, and G. Purvis.**
410 **2011.** The potential of parasitoid Hymenoptera as bioindicators of arthropod diversity in
411 agricultural grasslands. J. Appl. Ecol. 48: 382-390.

412 **Auko, T.H. and R. Silvestre. 2013.** Composição faunística de vespas (Hymenoptera:
413 Vespoidea) na Floresta Estacional do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, Brasil.
414 Biota Neotrop. 13: 292-299.

415 **Batagelj, V., and A. Mrvar. 1998.** Pajek-program for large network analysis. *Connections*.
416 21: 47-57.

417 **Blochtein, B., P. Nunes-Silva, R. Halinski, L. A. Lopes, and S. Witter. 2014.**
418 Comparative study of the floral biology and of the response of productivity to insect
419 visitation in two rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. *Braz. J.*
420 *Biol.* 74: 787-794.

421 **Bommarco, R., L. Marini, and B. E. Vaissière. 2012.** Insect pollination enhances seed
422 yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia* 169: 1025-1032.

423 **Carpenter, J. M., and O. M. Marques. 2001.** Contribuição ao estudo dos vespídeos do
424 Brasil (Insecta, Hymenoptera, Vespoidae). Universidade Federal da Bahia, Bahia. Série
425 Publicações digitais 3, CD-ROM.

426 **Clemente, M. A., D. Lange, W. Dáttilo, K. Del-Claro, and F. Prezoto. 2013.** Social
427 wasp-flower visiting guild interactions in less structurally complex habitats are more
428 susceptible to local extinction. *Sociobiology*. 60: 337-344.

429 **Corbet, S. A., M. Fussell, R. Ake, A. Fraser, C. Gunson, A. Savage, and K. Smith.**
430 **1993.** Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecol. Entomol.* 18: 17-30.

431 **Costa, C. C. F. D., and M. L. T. Buschini. 2016.** Biology of a trap-nesting wasp of one
432 species the ground-nesting *Liris* (Hymenoptera: Crabronidae) from the Atlantic Forest of
433 southern Brazil. *Zoologia*. 33.

434 **de Bello, F., S. Lavorel, S. Díaz, R. Harrington, J. H. Cornelissen, R. D. Bardgett, M.**
435 **P. Berg, P. Cipriotti, C. K. Feld, D. Hering, P. M. da Silva, S. G. Potts, L. Sandin, J. P.**
436 **Sousa, J. Storkey, D. A. Wardle, and P. A. Harrison. 2010.** Towards an assessment of
437 multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodivers. Conserv.* 19:
438 2873-2893.

439 **Dohtsu, K., K. Okumura, K. I. Hagiwara, M. S. Palma, and T. Nakajima. 1993.**
440 Isolation and sequence analysis of peptides from the venom of *Protonectarina sylveirae*
441 (Hymenoptera: Vespidae). *Nat. toxins* 1: 271-276.

442 **Evans, H. E. 1966.** The behavior patterns of solitary wasps. *Annu. Rev. Entomol.* 11: 123-
443 154.

444 **FAO. 2010.** Food and Agriculture Organization of the United Nations
445 (<http://www.fao.org/biodiversity/components/pollinator/en/>).

446 **Fernández, F. 2006.** Familia Scoliidae, pp. 557-558. In F. Fernández and M.J. Sharkey
447 (eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. Sociedad
448 Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

449 **Folke, C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson, and C. S.**
450 **Holling. 2004.** Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu.*
451 *Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 557-581.

452 **Garibaldi, L. A., I. Steffan- Dewenter, C. Kremen, J. M. Morales, R. Bommarco, S. A.**
453 **Cunningham, L. G. Carvalheiro, N. P. Chacoff, J. H. Dudenhöffer, S. S. Greenleaf, A.**
454 **Holzschuh , R. Isaacs, K. Krewenka, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, L. A. Morandin,**
455 **S. G. Potts, T. H. Ricketts, H. Szentgyörgyi, B. F. Viana, C. Westphal, R. Winfree, and**
456 **A. Klein. 2011.** Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas
457 despite honey bee visits. *Ecol. Lett.* 14: 1062-1072.

458 **Gess, S. K. 1996.** The pollen wasps: ecology and natural history of the Masarinae. Harvard
459 University Press. Cambridge.

460 **Ghoneim, K. 2014.** Predatory insects and arachnids as potential biological control agents
461 against the invasive tomato leafminer, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae),
462 in perspective and prospective. *J. Entomol. Zool. Stud.* 2: 52-71.

463 **Halinski, R. 2013.** Assembleia de abelhas e efeito da distância de remanescentes florestais
464 na produção de grãos e no valor econômico de *Brassica napus* (Hyola 420) no sul do
465 Brasil. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

466 **Halinski, R., A. L. Dorneles, and B. Blochtein. 2015.** Bee assemblage in habitats
467 associated with *Brassica napus* L. Rev Bras Entomol. 59: 222-228.

468 **Heithaus, E. R. 1979.** Flower-feeding specialization in wild bee and wasp communities in
469 seasonal neotropical habitats. Oecologia. 42: 179-194.

470 **Hermes, M. G., and A. Köhler. 2006.** The flower-visiting social wasps (Hymenoptera,
471 Vespidae, Polistinae) in two areas of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. Rev. Bras.
472 Entomol. 50: 268-274.

473 **Hooper, D. U., F. S. Chapin, J. J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. H.**
474 **Lawton, D. M. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A. J. Symstad, J.**
475 **Vandermeer, and D. A. Wardle. 2005.** Effects of biodiversity on ecosystem functioning:
476 a consensus of current knowledge. Ecol. monogr. 75: 3-35.

477 **Hosmer, D. W., Lemeshow, S. and R. X. Sturdivant. 2004.** Applied logistic regression.
478 3ed. John Wiley and Sons.

479 **(INMET) Instituto Nacional de Metereologia. 2016.** Weather forecast. (<http://www.inmet.gov.br>) INMET, Brazil.

481 **Kevan, P. G., and H. G. Baker. 1983.** Insects as flower visitors and pollinators. Annu.
482 Rev. Entomol. 28: 407-453.

483 **Loyola, R. D., and R. P. Martins. 2006.** Trap-nest occupation by solitary wasps and bees
484 (Hymenoptera: Aculeata) in a forest urban remanent. Neotrop Entomol. 35: 41-48.

485 **Luck, G. W., R. Harrington, P. A. Harrison, C. Kremen, P. M. Berry, R. Bugter, T. P.**
486 **Dawson, F. de Bello, S. Diaz, C. K. Feld, J. R. Haslett, D. Hering, A. Kontogianni, S.**

487 **Lavorel, M. Rounsevell, M. J. Samways, L. Sandin, J. Settele, M. T. Sykes, S. van den**
488 **Hove, M. Vandewalle, and M. Zobel. 2009.** Quantifying the contribution of organisms to
489 the provision of ecosystem services. *Bioscience*. 59: 223-235.

490 **Magurran, A. E. 2004.** Measuring biology diversity. Blackwell Publishing. Oxford.

491 **McGeoch M. 1998.** The selection, testing and application of terrestrial insects as
492 bioindicators. *Biol. Rev.* 73: 181–201.

493 **Moreira, E. F., R. L. da Silva Santos, U. L. Penna, C. Angel-Coca, F. F. de Oliveira,**
494 **and B. F. Viana. 2016.** Are pan traps colors complementary to sample community of
495 potential pollinator insects?. *J. Insect Conserv.* 20: 583-596.

496 **Mussury, R.M. and Fernandes, W. 2000.** Studies of the Floral Biolgy and Reproductive
497 System of *Brassica napus* L. (Cruciferae). *Braz Arch Biol and Technol.* 43: 111-117.

498 **Ollerton, J., R. Winfree, and S. Tarrant. 2011.** How many flowering plants are
499 pollinated by animals? *Oikos*. 120: 321-326.

500 **O'Neill, K. M. 2001.** Solitary wasps: behavior and natural history. Cornell University
501 Press.

502 **Orr, D. B. 1988.** Scelionid wasp as biological control agents: a review. *Fla. Entomol.*
503 71(4): 506-528.

504 **Pardini, R., A. A. Bueno, T. A. Gardner, P. I. Prado, and J. P. Metzger. 2010.** Beyond
505 the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented
506 landscapes. *PLoS ONE* 5(10): e13666.

507 **Perioto, N. W., R. I. R. Lara, A. Selegatto, and E. S. Luciano. 2004.** Himenópteros
508 parasitóides (Insecta, Hymenoptera) coletados em cultura de café *Coffea arabica* L.
509 (Rubiaceae) em Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Arq. Inst. Biol.* 71: 41-44.

510 **Pickett, K. M., and J. M. Carpenter. 2010.** Simultaneous analysis and the origin of
511 eusociality in the Vespidae (Insecta: Hymenoptera). *Arthropod Syst. Phylo* 68: 3-33.

512 **Podgaiski, L. R., M. D. S. Mendonça Jr, and V. D. Pillar. 2011.** O uso de atributos
513 funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: o que, como e por quê. *Oecologia*
514 *Australis* 15: 835-853.

515 **Polidori, C., R. Boesi, F. Isola, and F. Andrietti. 2005.** Provisioning patterns and choice
516 of prey in the digger wasp *Cerceris Arenaria* (Hymenoptera: Crabronidae): the role of prey
517 size. *Eur. J. Entomol.* 102(4): 801-804.

518 **Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, T. H., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C.,**
519 **Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A. J. 2016.**
520 Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632): 220–
521 229.

522 **R Core Team. 2017.** R.: A language and environment for statistical computing. The R
523 foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

524 **Rader, R., I. Bartomeus, L. A. Garibaldi, M. P. D. Garratt, B. G. Howlett, R. Winfree,**
525 **S. A. Cunningham, M. M. Mayfield, A. D. Arthur, G. K. S. Andersson, R. Bommarco,**
526 **C. Brittain, L. G. Carvalheiro, N. P. Chacoff, M. H. Entling, B. Foully, B. M. Freitas,**
527 **B. Gemmill-Herren, J. Ghazoul, S. R. Griffin, C. L. Gross, L. Herbertsson, F. Herzog,**
528 **J. Hipolito, S. Jaggard, F. Jauker, A. M. Klein, D. Kleijn, S. Krishnan, C. Q. Lemos, S.**
529 **A. M. Lindström, Y. Mandelik, V. M. Monteiro, W. Nelson, L. Nilsson, D. E.**
530 **Pattermore, N. O. Pereira, G. Pisanty, S. G. Potts, M. Reemer, Rundlöf, C. S.**
531 **Sheffield, J. Scheper, C. Schüepp, H. G. Smith, D. A. Stanley, J. C. Stout, H.**
532 **Szentgyörgyi, H. Taki, C. H. Vergara, B. F. Viana, and M. Wojciechowski. 2016.** Non-
533 bee insects are important contributors to global crop pollination. *PNAS* 113: 146-151.

534 **Resende, J. J., Santos, G. M. M., Filho, C. C. B. and M. Gimenes. 2001.** Atividade
535 diária de busca de recurso pela vespa social *Polybia occidentalis occidentalis* (Olivier,
536 1791) (Hymenoptera, Vespidae). Rev. Bras. Zooc 3(1): 105-115.

537 **Rogers, M. E. and D. A. Potter. 2004.** Biology of *Tiphia pygidialis* (Hymenoptera:
538 Tiphidae), a parasitoid of masked chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) grubs, with notes on
539 the seasonal occurrence of *Tiphia vernalis* in Kentucky. Environ. Entomol. 33(3): 520-527.

540 **Samways, M. J., M. A. McGeoch, and T. R. New. 2010.** Insect conservation: a handbook
541 of approaches and methods. Oxford University Press. Cambridge.

542 **Sandonato, D. L., H. C. Onody, and A. M. Penteado-Dias. 2010.** Fauna de
543 *Campopleginae* (Hymenoptera: Ichneumonidae) em hortas orgânicas em Araraquara e São
544 Carlos, SP, Brasil. Biota Neot. 10: 117-121.

545 **Santos, G. M. De M., P. C. Bispo, and C. M. L. Aguiar. 2009.** Fluctuations in richness
546 and abundance of social wasps during the dry and wet seasons in three phyto-
547 physiognomies at the tropical dry forest of Brazil. Environ. Entomol. 38: 1613-1617.

548 **Sharkey, M. J. 2007.** Phylogeny and classification of Hymenoptera. Zootaxa. 1668: e548.

549 **Shuttleworth A., and S. D. Johnson. 2009.** The importance of scent and nectar filters in a
550 specialized wasp-pollination system. Funct. Ecol. 23: 931–940.

551 **Silva, E. R. and S. C. M. Noda. 2000.** Aspectos da atividade forrageadora de
552 *Mischocyttarus cerberus styx* Richards, 1940 (Hymenoptera, Vespidae): duração das
553 viagens, especialização individual e ritmos diário e sazonal. Rev. Bras. Zoociências. 2: 7-
554 20.

555 **Soh, Z. W. W., and R. W. J. Ngiam. 2013.** Flower-visiting bees and wasps in Singapore
556 Parks (Insecta: Hymenoptera). Nature. 6: 153-172.

557 **Somavilla, A., A. Köhler, and M. G. Hermes. 2010.** Contribuição aos estudos dos
558 Vespidae ocorrentes no estado do Rio Grande do Sul (Insecta, Hymenoptera). R. Bras.
559 Bioc. 8(3): 257-263.

560 **Sühs, R. B., A. Somavilla, A. Köhler, and J. Putzke. 2009.** Vespídeos (Hymenoptera,
561 Vespidae) vetores de pólen de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae), Santa Cruz
562 do Sul, RS, Brasil. R. Bras. Bioc. 7(2): 138-143.

563 **Tscharntke, T., A. Gathmann, and I. Steffan- Dewenter. 1998.** Bioindication using
564 trap- nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and
565 interactions. J. Appl. Ecol. 35: 708-719.

566 **(USDA) United State Department of Agriculture. 2016.** USDA, Beltsville, MD.

567 **Vanoye-Eligio, M., V. M. Ramírez, R. Ayala, J. Navarro, and H. Delfin-González.**
568 **2014.** Predatory Wasps (Hymenoptera) of the Yucatan Peninsula. Southwestern Entomol.
569 39: 635-646.

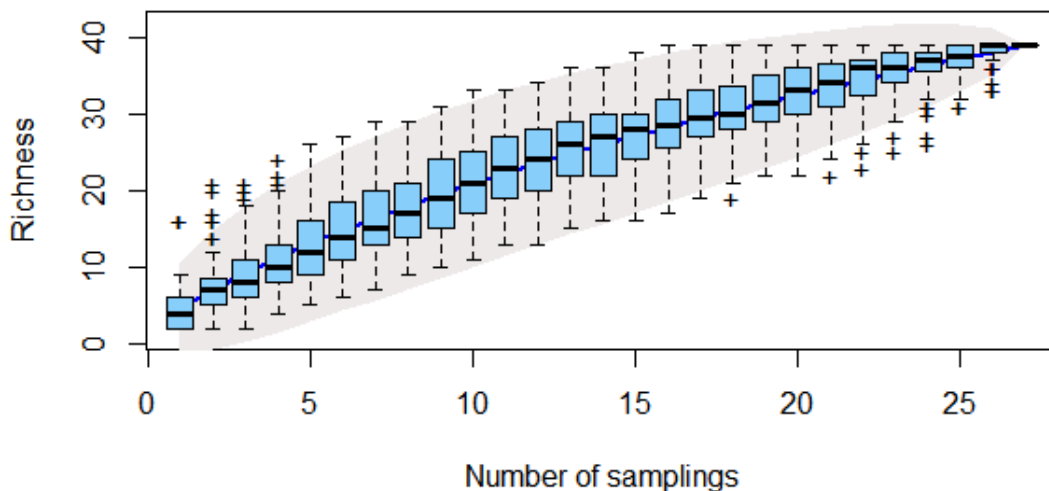
570 **Veloso, H. P., L. C. Oliveira-Filho, A. M. S. F. Vaz, M. P. M. Lima, R. Marquete, and**
571 **J. E. M. Brazao. 1992.** Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de janeiro: IBGE.

572 **Vrdoljak, S. M., and M. J. Samways. 2012.** Optimising coloured pan traps to survey
573 flower visiting insects. J. Insect Conserv. 16: 345-354.

574 **Westphal, C., R. Bommarco, G. Carre, E. Lamborn, N. Morison, T. Petanidou, S. G.**
575 **Potts, S. P. M. Roberts, H. Szentgyorgyi, T. Tscheulin, B. Vaissiere, E. M.**
576 **Woyciechowski, J. C. Biesmeijer, W. E. Kunin, J. Settele, and I. Steffan-**
577 **Dewenter. 2008.** Measuring bee diversity in different European habitats and
578 biogeographical regions. Ecol Monogr. 653-671.

579 **Witter, S., P. Nunes-Silva, and B. Blochtein. 2014.** Abelhas na Polinização da Canola:
580 benefícios ambientais e econômicos. EDIPUCRS. Porto Alegre.

581 **Supplementary Material 1.** Rarefaction curve of wasp species sampled in three canola
 582 agroecosystem habitats (grassland vegetation, canola and forest fragment) in Esmeralda,
 583 Rio Grande do Sul, Brazil, in 2010 and 2011.



584

585

586 **Supplementary Material 2.** Multinomial logistic regression model between wasp guilds
 587 and habitats ($p < 0.05$). Bioindicator was used as the reference value.

588

	Canola	Grassland vegetation	Forest fragment
589 Flower visitor	0.000	0.000	0.000
590 Hunting wasp	0.000	0.000	0.000

591

592 **Supplementary Material 3.** Multinomial logistic regression model between the wasp guild
 593 s and the seasons ($p < 0.05$). Bioindicator was used as the reference value.

594

	Autumn	Spring	Summer	Winter
596 Flower visitor	0.000	0.000	0.000	0.000
597 Hunting wasp	0.000	0.000	0.000	0.000

598

599

CAPÍTULO 2

Diversidade de coleópteros em agroecossistema de canola (*Brassica napus*)

Manuscrito redigido no formato *Research Article* do
periódico *Environmental Entomology*

1 **Diversidade de coleópteros em agroecossistema de canola (*Brassica napus*)**

2 Rosana Halinski^{1*}, Patrícia Nunes-Silva¹, Yve E. A. Gadelha², Luciano de A. Moura³,

3 Betina Blochtein¹

4 ¹Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de
5 Entomologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida Ipiranga,
6 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

7 ²Laboratório de Biologia de Formigas, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade
8 Federal de Santa Catarina. Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n, 88040-900,
9 Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

10 ³Seção de Zoologia de Invertebrados, Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica
11 do Rio Grande do Sul. Rua Doutor Salvador França, 1427, 90690-000, Porto Alegre, Rio
12 Grande do Sul, Brasil.

13 * ro.halinski@gmail.com;

14 **Resumo:** A agricultura afeta a ocorrência e a dinâmica de distribuição da assembleia de
15 coleópteros. Os coleópteros são o maior grupo de insetos, apresentando uma grande
16 diversidade de hábitos, cores e formas e vivem em quase todos os habitats. Na agricultura,
17 eles também podem atuar como polinizadores. Este trabalho objetiva avaliar a diversidade
18 de besouros no agroecossistema da canola (*Brassica napus* L.) no Sul do Brasil e identificar
19 potenciais polinizadores da cultura. Foram realizadas coletas com *pan traps* de agosto de
20 2010 até outubro de 2011 no agroecossistema da canola, composto por três habitats
21 (lavoura de canola em floração, vegetação campestre e remanescente florestal). As famílias
22 mais representativas de coleópteros foram Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae,
23 Chrysomelidae e Scarabaeidae. A espécie mais abundante foi *Astylus variegatus*, que é
24 polínifaga, com corpo pubescente e densas cerdas, as quais os grãos de pólen se aderem e
25 são transportados, sendo, portanto, provavelmente polinizador de canola e de flores do
26 entorno. Houve diferença na composição de espécies nos seguintes quesitos: diversidade
27 beta (entre os habitats), nas cores dos *pan traps*, nas guildas alimentares e nas estações do
28 ano. Todos os habitats mostraram pelo menos metade da probabilidade de ocorrência da
29 guilda polínifago, seguida de herbívoros. Em relação às estações do ano, as guildas
30 alimentares foram semelhantes, sendo constituídas majoritariamente por polínifagos.
31 Analisando-se a abundância e riqueza de coleópteros não encontramos correlação com os
32 fatores abióticos. Tal fato demonstra que as condições meteorológicas não possuem um
33 papel limitante na frequência das espécies que ocorrem no agroecossistema da canola.
34 Dessa maneira, destaca-se que os besouros polínifagos não são limitados pelos fatores
35 abióticos e sua presença pode aumentar a polinização de canola e, conseqüentemente, a
36 produtividade da cultura.

37
38 **Palavras-chave:** *pan traps*, *Astylus variegatus*, vegetação campestre, Mata Atlântica

39

40 **Introdução**

41 A agricultura influencia a ocorrência e a dinâmica de distribuição da assembleia de
42 coleópteros (Cole et al., 2002). Estudos acerca da diversidade de coleópteros, em nível
43 local, diversidade alfa, e entre habitats, diversidade beta (Magurran, 2004), são necessários
44 para avaliar a composição de espécies presentes nos agroecossistemas. Os coleópteros são o
45 maior grupo de insetos, totalizando 42% das espécies existentes no mundo (Paulino-Neto,
46 2014). Eles apresentam uma grande diversidade de hábitos, cores e formas e vivem em
47 quase todos os habitats (Gallo et al, 2002; Maia et al. 2012). Quanto ao hábito alimentar, os
48 besouros podem ser herbívoros, polinívoros, fungívoros e predadores de outros insetos
49 (Hunt et al., 2007). Além disso, há espécies que contribuem para a dispersão de sementes e
50 de pólen atuando na polinização (Proctor et al., 1996; Willmer, 2011; Koike et al., 2012;
51 Pérez-Ramos, 2013; Rader et al., 2016). Mais de 25% das espécies de plantas é polinizada
52 por besouros (cantarofilia) (Bawa 1990), havendo maior relevância em áreas áridas ou
53 tropicais úmidas do que em clima temperado (Proctor et al., 1996). No entanto, a maioria
54 das plantas não são exclusivamente cantarófilas, sendo estimado que apenas 184 espécies
55 de angiospermas sejam polinizadas somente por besouros (Bernhardt, 2000).

56 Os besouros pertencentes às famílias Scarabaeidae, Nitidulidae, Staphilinidae,
57 Curculionidae, Chrysomelidae e Tenebrionidae podem ser visitantes florais ou
58 polinizadores em agroecossistemas (Kevan, 1983; Proctor et al., 1996; Willmer, 2011).
59 Estudos recentes em culturas agrícolas mostraram que outros insetos contribuem com 25-
60 50% das visitas às flores, no entanto a efetividade da polinização em comparação às
61 abelhas é menor, mas o número de visitas é maior sendo uma alternativa viável para
62 garantir esse processo em agroecossistemas (Rader et al., 2016). Além disso, há evidências
63 de que os insetos que não são abelhas sejam afetados de modo diferente das abelhas pela

64 estrutura da paisagem, podendo consistir em um seguro diante do declínio das populações
65 de abelhas, a exemplo dos coleópteros (Rader et al., 2016).

66 Algumas culturas agrícolas polinizadas por coleópteros são espécies
67 economicamente importantes da família Annonaceae, como a cherimoia (*Annona*
68 *cherimoia* Mill.), a graviola (*Annona muricata* L.) e o híbrido atemoia (*Annona squamosa* x
69 *Annona cherimoia*) (Maia et al., 2012). Esses insetos também polinizam algumas espécies
70 de Arecaceae (Palmae), como o babaçu (*Attalea phalerata* – syn. *Orbignya phalerata*), a
71 piaçava (*Attalea funifera* Mart), o dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq) e a pupunha (*Bactris*
72 *gasipaes* Kunth) (Maia et al., 2012).

73 No caso da canola, é possível que os besouros atuem na polinização, uma vez que
74 essa planta apresenta flores abertas, biespóreas, que oferecem néctar e pólen como recursos
75 alimentares de fácil acesso aos visitantes (Nedić et al., 2013). Outros insetos, como os
76 sirfídeos (Diptera) das espécies *Eristalis tenax* e *Episyrphus balteatus*, também polinizam
77 as flores de canola (Jauker et al., 2012). Embora seja autocompatível, a polinização cruzada
78 aumenta a quantidade de siliquas produzidas por planta (Blochtein et al., 2014) e a presença
79 de insetos, além de aumentar o peso das sementes eleva sua qualidade e preço de mercado
80 (Bommarco et al., 2012).

81 Visto que a agricultura afeta a composição da assembleia de coleópteros e, por
82 consequência, influencia a polinização das culturas agrícolas, o principal objetivo desse
83 estudo foi avaliar a diversidade de coleópteros presente no agroecossistema de canola e
84 identificar potenciais espécies polinizadoras da cultura. Além disso, comparou-se a
85 composição das guildas alimentares de besouros nos diferentes habitats no agroecossistema
86 de canola; verificou-se a distribuição das guildas de coleópteros nas estações do ano e

87 também a influência de fatores abióticos (meteorológicos e cores das armadilhas *pan traps*)
88 na diversidade.

89

90 **Material e Métodos**

91 **Área de estudo**

92 O trabalho foi realizado em quatro áreas agrícolas com canola no município de
93 Esmeralda, Rio Grande do Sul, Sul do Brasil (lavoura 1 - 20 ha (51°17'43" W; 28°03'12,3"
94 S); lavoura 2 - 80 ha (51°15'48" W; 28°02'41" S); lavoura 3 - 100 ha (51°16'10" W;
95 28°02'08" S) e lavoura 4 - 80 ha 51°10'31" W; 28°04' 44" S). A região encontra-se no
96 Planalto Superior Serra do Nordeste, cujo clima é classificado como Cfb com verão
97 temperado pela classificação de Köppen (Alvares et al., 2013). A região apresenta
98 temperatura média anual entre 14,4 e 16,8°C, umidade relativa entre 76 e 83%, precipitação
99 anual variando de 1.412 a 2.162 mm e altitude de 956 m (Veloso *et al.*, 1992). A vegetação
100 predominante é Mata de Araucária - *lato sensu* dentro do Bioma Mata Atlântica (Veloso *et*
101 *al.*, 1992). Na região a canola participa da rotação de culturas com plantio direto
102 juntamente com o trigo no inverno e soja e milho no verão.

103

104 **Desenho amostral**

105 A diversidade de besouros foi amostrada durante a floração de canola (agosto a
106 outubro) de 2010 (4 coletas/lavoura – Lavouras 1 e 2) e 2011 (10 coletas/lavoura –
107 Lavouras 3 e 4). Além disso, as áreas do entorno das lavouras 1 e 2 foram monitoradas
108 mensalmente no período de novembro de 2010 a outubro de 2011, totalizando 45 coletas. O
109 agroecossistema de canola foi composto pelos seguintes habitats: (1) lavoura de canola em
110 floração (*Brassica napus* cultivar Hyola 420), (2) vegetação campestre composta por

111 gramíneas, herbáceas e arbustos não manejados, onde os produtores permitem o pastejo de
112 gado e (3) remanescentes florestais.

113 Em cada amostragem foram utilizadas 60 *pan traps*, que permaneceram expostas
114 por 24h/coleta em cada lavoura (adaptado de Westphal *et al.*, 2008). Os *pan traps* foram
115 arranjados em 5 grupos de três unidades nas cores amarela, branca e azul, distando 15 m
116 entre os grupos e 3 m entre os potes, formando um triângulo equilátero (adaptado de FAO,
117 2010). Os coleópteros coletados foram identificados em nível de morfoespécie ou de
118 espécie, e depositados no Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS. Ressalta-se que os
119 pesquisadores vêm utilizando morfoespécies na identificação taxonômica e em nível de
120 família para as análises das relações ecológicas inseto-planta com base nas guildas
121 alimentares, pois a maioria dos coleópteros são semelhantes em nível de família e
122 subfamília (Marinoni, 2001).

123 Para permitir a comparação de diversidade de coleópteros nos habitats estudados, as
124 espécies foram agrupadas em guildas alimentares, segundo Root (1967) em: (1) herbívoros,
125 que se alimentam de vegetais vivos, exceto pólen; (2) polinívoros, que se alimentam
126 exclusivamente de pólen; (3) predadores, que consomem outras espécies de animais; (4)
127 saprófagos, que se alimentam de matéria orgânica vegetal ou animal em decomposição
128 (Didham *et al.*, 1998; Marinoni, 2001); e (5) hábito alimentar indeterminado, devido à
129 ausência de dados na literatura dos coleópteros (Marinoni e Dutra, 1997).

130 Os dados meteorológicos nebulosidade média, precipitação, temperatura média e
131 pressão atmosférica média foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,
132 2016).

133

134

135 **Análises estatísticas**

136 Foram utilizados os índices de Shannon (H'), Simpson (λ), Equabilidade e Chao
137 com as ocorrências de espécies coletadas conforme Magurran (2004). Os índices de
138 Shannon e Simpson levam em consideração a riqueza e a equabilidade das espécies, sendo
139 que Shannon mede o grau de incerteza em predizer se uma espécie pertence a uma
140 determinada população, tomado ao acaso, e Simpson reflete a probabilidade dois indivíduos
141 escolhidos randomicamente pertencerem à mesma espécie, variando de 0 a 1 (Pielou,
142 1966). Já o índice de Equabilidade mede a igualdade de abundância na comunidade,
143 variando de 0 a 1. O Estimador de Chao 1 utilizada a riqueza observada e o número de
144 *singletons* e *doubletons* para obter o limite inferior para a riqueza esperada de espécies
145 assintóticas (Chao, 1984). Todos os índices de diversidade e estimadores de riqueza foram
146 calculados no Programa Past (Hammer and Harper, 2003). Para correlacionar-se a
147 abundância de coleópteros com os fatores abióticos foi utilizado o pacote “stats” do
148 programa. Usando o teste qui-quadrado no pacote “stats”, comparou-se os diferentes
149 habitats coletados em relação às guildas de besouros e, posteriormente, utilizando o pacote
150 “nnet” gerou-se um modelo logístico multinomial no R (Hosmer et al., 2013). Além disso,
151 pelo mesmo modo, comparou-se as guildas entre as estações do ano. A partir das
152 amostragens durante o ano foi realizada uma análise para verificar qual é a probabilidade
153 dos besouros pertencentes a diferentes guildas serem encontrados nas diferentes estações do
154 ano (Hosmer et al., 2013). Para verificar a abundância das espécies de coleópteros
155 amostradas nas diferentes cores de *pan traps* foi utilizado o teste de Wilcoxon (Hosmer et
156 al., 2013).

157

158 **Resultados**

159 Foram coletados 6.052 indivíduos, sendo 5.659 pertencentes a uma única espécie,
160 *Astylus variegatus* (Melyridae). O pico de coleta de coleópteros foi no mês de março
161 (88%), onde não há canola, e no período de floração da canola (agosto a outubro) foi
162 amostrado apenas 3,6% do total de indivíduos coletados. Ao total foram observadas 25
163 famílias e 140 espécies de besouros (Tabela 1). As cinco famílias mais representativas
164 foram Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae e Scarabaeidae.

165

166 Tabela 1 – Lista de espécies de besouros no agroecossistema de canola composto por três
 167 habitats: Lavoura de Canola (LC), Remanescente Florestal (RF) e Vegetação Campestre
 168 (VC) em três cores de armadilhas *pan traps* (azul, amarelo e branco). As diferenças entre as
 169 espécies e as cores das armadilhas foram testadas através do Teste de Wilcoxon ($p < 0,05$).
 170 O valor de p é apresentado na tabela.

Família e espécie	Azul			Branco			Amarelo			Teste de Wilcoxon (valor de p)			
	LC	RF	VC	LC	RF	VC	LC	RF	VC	Azul x Branco	Azul x Amarelo	Branco x Amarelo	
Anthribidae						1							
Anthribidae sp.						1							
Attelabidae									2				
Attelabinae sp. 1									1				
Attelabinae sp. 2									1				
Buprestidae			1			5			6	2	0,073	0,013	0,000
<i>Agrilus</i> sp.									2				
Buprestidae sp. 1									1				
Buprestidae sp. 2									1				
Buprestidae sp. 3									1				
Buprestidae sp. 4										1			
Buprestidae sp. 5									1				
Buprestidae sp. 6			1			5				1	0,073		0,073
Cantharidae			2	1			4			3	0,479	0,008	0,023
Cantharidae sp. 1				1			4						0,133
Cantharidae sp. 2			2							3		0,095	
Carabidae	9	2	6	13		2	9			4	0,000	0,000	0,000
Carabidae sp. 1			1										
Carabidae sp. 2			1										
Carabidae sp. 3				1									
Carabidae sp. 4				1									
Carabidae sp. 5	1		1	1		1	1				0,193	0,479	0,479
Carabidae sp. 6			1	1									
Carabidae sp. 7	2			2			2			1	0,193	0,095	0,095
Carabidae sp. 8				1									
Carabidae sp. 9	6	2	2	5		1	6			3	0,000	0,000	0,000
<i>Lebia</i> sp.				1									
Cerambycidae						1			1	1			0,479
<i>Batyle ignicollis</i> (Say, 1824)						1							
<i>Cotyclytus curvatus</i> (Germar, 1824)									1				
<i>Rhopalophora neivai</i> Mendes, 1940										1			
<i>Xylocaris oculata</i> Dupont, 1834			1										
Cerylonidae			1										
Cerylonidae sp.			1										
Chrysomelidae	4	2	10	1	5	2	2	2	36	0,000	0,000	0,000	
<i>Alagoasa</i> sp.									1				
Alticini sp. 1			1						3		0,248		
Alticini sp. 2									2				
Alticini sp. 3									1				
Alticini sp. 4									1				
<i>Brasilaphthona</i> sp.									1				
<i>Charidotis confusa</i> (Boheman, 1855)		1											
Colaspini sp. 1										1			
Colaspini sp. 2										1			
Colaspis sp. 1			1										
Colaspis sp. 2					1					1			
<i>Diabrotica</i> sp.										1			
<i>Diabrotica speciosa</i> (Germar, 1824)			1	1	3		1		11	0,133	0,001	0,000	
<i>Diabrotica viridula</i> (Fabricius, 1801)					1				2				
Eumolpinae sp. 1													
Eumolpinae sp. 2								1					
<i>Isotes</i> sp.		1								2			
<i>Lexiphanes biplagiatus</i> (Boheman, 1848)			3										
<i>Lioplacis elliptica</i> Stal, 1860			1			1							

171

Tabela 1 (Continuação)	Azul			Branco			Amarelo			Teste de Wilcoxon (valor de p)			
	LC	RF	VC	LC	RF	VC	LC	RF	VC	Azul x Branco	Azul x Amarelo	Branco x Amarelo	
<i>Megascelidini</i> sp.									1				
<i>Microtheca ochroloma</i> Stal, 1860	3						1						
<i>Microtheca semilaevis</i> Stal, 1860	1												
<i>Plagiodera jucunda</i> (Klug, 1829)								1					
<i>Spintherophyta</i> sp. 1			3							4	0,024		
<i>Spintherophyta</i> sp. 2										2			
<i>Trichaltica</i> sp. 1						1							
<i>Trichaltica</i> sp. 2										1			
Cleridae										1			
Cleridae sp.										1			
Coccinellidae	1		1			3				7	0,095	0,008	0,004
Coccinellidae sp. 1						1							
Coccinellidae sp. 2										3			
Coccinellidae sp. 3						1							
Coccinellidae sp. 4										1			
Coccinellidae sp. 5										1			
<i>Eriopsis connexa</i> (Germar, 1824)	1												
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)			1							1			
<i>Psyllobora</i> sp.										1			
<i>Scymnus loewii</i> Mulsant, 1850				1		1							
Cryptophagidae													
Cryptophagidae sp.				1									
Curculionidae	4	1	21	9	1	18	5	1	10	0,000	0,000	0,000	
<i>Baptobaris</i> sp.			1										
Baridinae sp. 1			5	4		4			4	0,000	0,007	0,001	
Baridinae sp. 2			1			1			3		0,248	0,248	
Baridinae sp. 3						1							
Baridinae sp. 4	4		6	2		3			1	0,000	0,004	0,073	
Baridinae sp. 5			3										
Baridinae sp. 6			1	2		1				0,073			
Curculionidae sp. 1				1				1					
Curculionidae sp. 2		1											
Curculionidae sp. 3			2										
Curculionidae sp. 4			1										
Curculionidae sp. 5								1					
Curculionidae sp. 6						1							
Curculionidae sp. 7										1			
Curculionidae sp. 8					1								
Curculionidae sp. 9						1							
Curculionidae sp. 10									1				
Curculionidae sp. 11			1										
<i>Cylindrocerinus minutissimus</i> Hustache, 1939								3					
<i>Pristimerus opiparis</i> Faust, 1886								5					
Scolytinae sp. 1						1				1			
Disteniidae			1			2					0,479		
<i>Villiersicometes wagneri</i> (Gounelle, 1911)			1			2							
Elateridae		1	1	1	1	1			3	0,095	0,095	0,046	
<i>Conoderus fuscofasciatus</i> Eschscholtz, 1829								1					
Elateridae sp. 1					1								
Elateridae sp. 2				1									
Pyrophorini sp.		1	1						3		0,095		
Eucnemidae		1											
Eucnemidae sp.		1											
Lampyridae						2							
Lampyridae sp. 1						1							
Lampyridae sp. 2						1							
Megalopodidae	1												
<i>Agathomerus flavomaculatus</i> Klug, 1824	1												
Melyridae	54	11	1620	53	15	1532	38	13	2333	0,000	0,000	0,000	
<i>Astylus antis</i> (Perty, 1830)			1			1			2		0,479	0,479	
<i>Astylus variegatus</i> (Germar, 1824)	54	11	1619	53	14	1531	38	13	2330	0,000	0,000	0,000	
Malachinae sp.						1							
Mordellidae			3		1	4		1	8	0,013	0,001	0,000	
Mordellidae sp. 1									1				
Mordellidae sp. 2					1								
Mordellidae sp. 3								1	1				
Mordellidae sp. 4									1				
Mordellidae sp. 5			1										
Mordellidae sp. 6						1			2			0,479	
Mordellidae sp. 7			2			3			3	0,095	0,095	0,046	
Mycetophagidae									2				
<i>Litargus tetraspilatus</i> LeConte, 1856									1				
Mycetophagidae sp.									1				

Tabela 1 (Continuação)	Azul			Branco			Amarelo			Teste de Wilcoxon (valor de p)			
	Família e espécie	LC	RF	VC	LC	RF	VC	LC	RF	VC	Azul x Branco	Azul x Amarelo	Branco x Amarelo
Nitidulidae	8	2	19	9	6	17		1	2		0,000	0,000	0,000
Nitidulidae sp. 1	2		8	2		1					0,000	0,000	
Nitidulidae sp. 2	1		3	3		13			1		0,000	0,133	0,000
Nitidulidae sp. 3			1	2							0,479		
Nitidulidae sp. 4			1										
Nitidulidae sp. 5	3		3	2							0,015		
Nitidulidae sp. 6	1					1							
Nitidulidae sp. 7		1			2	1		1			0,248		0,248
Nitidulidae sp. 8		1			2						0,479		
Nitidulidae sp. 9			1		1								
Nitidulidae sp. 10						1							
Nitidulidae sp. 11	1				1				1				
Nitidulidae sp. 12			1										
Nitidulidae sp. 13			1										
Ptilodactylidae					1								
Ptilodactylidae sp.					1								
Scarabaeidae		2	24	2	2	19		7	2		0,000	0,000	0,000
Aphodiinae sp.				1									
<i>Ataenius</i> sp.				1									
<i>Canthon conformis</i> Harold, 1868										1			
<i>Cyclocephala signaticollis</i> Burmeister, 1847			1										
<i>Geniatiini</i> sp.									1				
<i>Macrodactylus</i> sp.			23			17					0,000		
<i>Melolonthinae</i> sp. 1		1			2			3			0,479	0,248	0,095
<i>Melolonthinae</i> sp. 2								1					
<i>Melolonthinae</i> sp. 3		1						1					
<i>Melolonthinae</i> sp. 4								1					
Sericini sp. 1						1							
Sericini sp. 2						1		1					
Staphylinidae				2			2			1			0,095
Scaphidiinae sp.							1			1			
Staphylinidae sp. 1							1						
Staphylinidae sp. 2				1									
Staphylinidae sp. 3				1									
Tenebrionidae						1				1			
Alleculinae sp.										1			
<i>Lobopoda</i> sp.						1							

173

174

Dentre os três habitats que compõem o agroecossistema de canola, a vegetação

175

campestre é o que apresenta maior riqueza com 91 espécies, seguida do remanescente

176

florestal e da lavoura de canola, com respectivamente 42 e 35 espécies (Tabela 2). No

177

entanto, o remanescente florestal apresentou os maiores índices de diversidade, seguido da

178

lavoura de canola. O maior valor do estimador de Chao 1 foi a vegetação campestre. O

179

índice de Jaccard mostra 14% de similaridade entre a vegetação campestre e a lavoura de

180

canola e somente 9% entre vegetação campestre e o remanescente florestal. Já entre lavoura

181

de canola e o remanescente florestal há apenas 5% de similaridade.

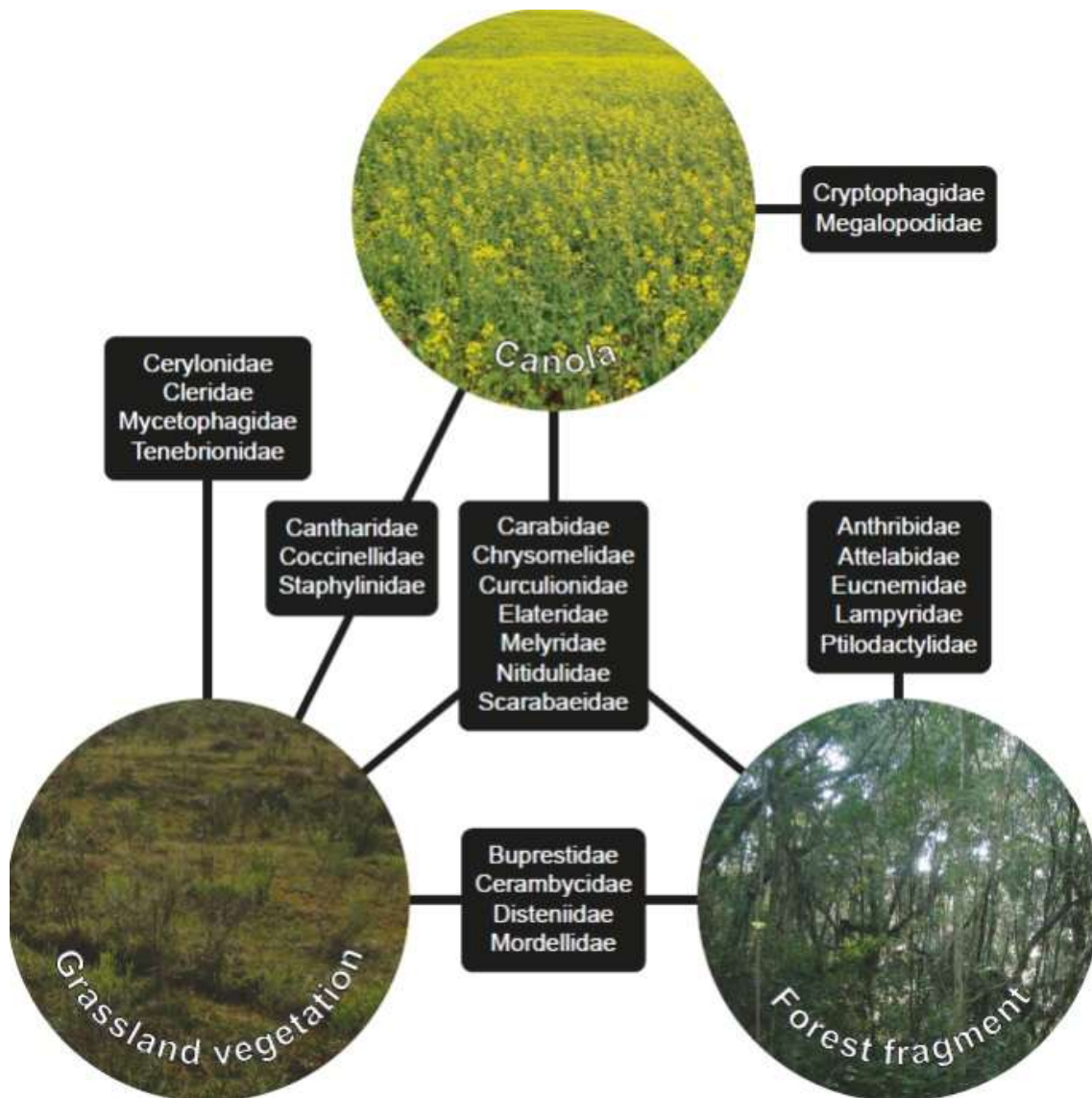
182

183 Tabela 2 – Índices de diversidade e estimador de riqueza de Chao 1 de coleópteros no
 184 agroecossistema de canola composto por três habitats: vegetação campestre, lavoura de
 185 canola em floração e remanescente florestal de agosto de 2010 a outubro de 2011.
 186

	Vegetação Campestre	Lavoura de canola em floração	Remanescente florestal
Riqueza	91	35	42
Abundância	5724	233	95
Índice de Shannon	0,345	1,842	2,8
Índice de Simpson	0,085	0,603	0,826
Equabilidade	0,076	0,518	0,749
Chao 1	246,5	60,5	147,6

187

188 Somente sete das 25 famílias amostradas no agroecossistema estudado foram
 189 amostradas em todos os habitats: Carabidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Elateridae,
 190 Melyridae, Nitidulidae e Scarabaeidae (Figura 1). No habitat da lavoura de canola em
 191 floração somente duas famílias foram exclusivas: Cryptophagidae e Megalopodidae.
 192 Considerando os três habitats, a vegetação campestre teve a maior representatividade de
 193 famílias (18), seguida pelo remanescente florestal (16) e a canola com 12 famílias.



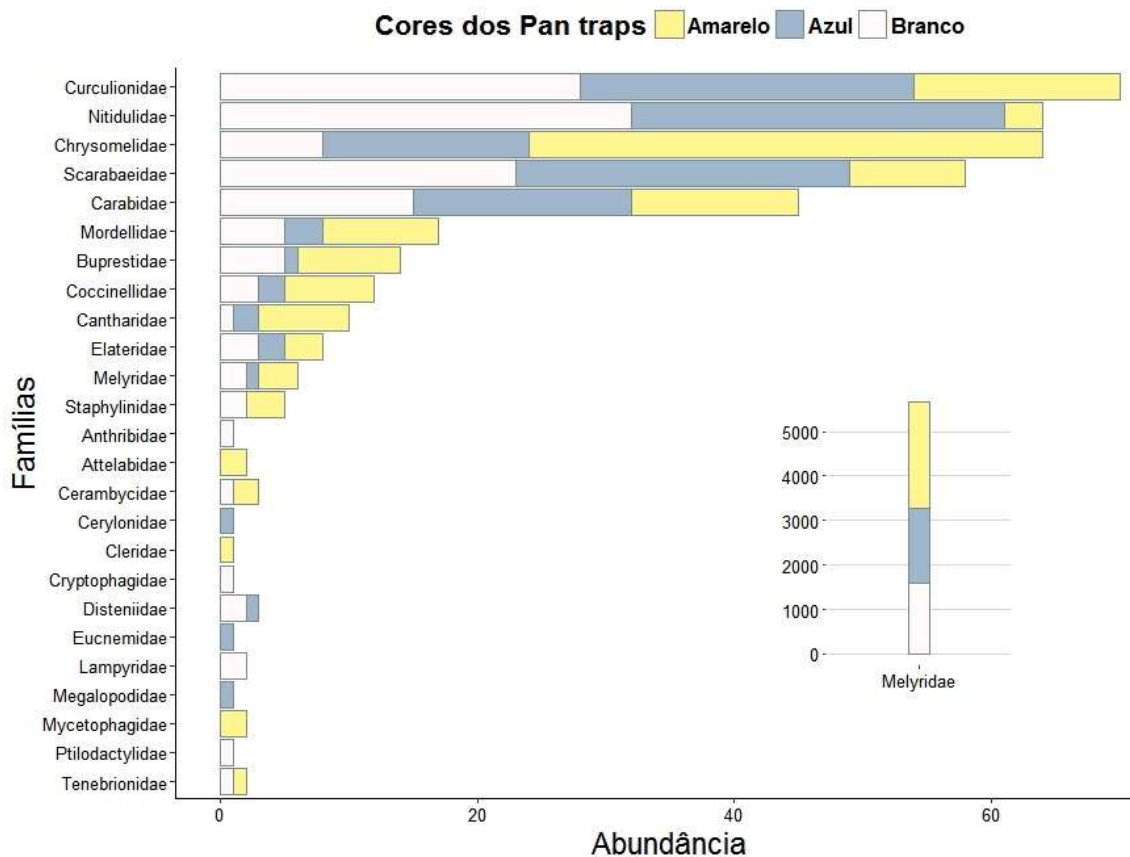
194
195
196
197
198

Figura 1: Famílias de coleópteros presentes nos três habitats do agroecossistema de canola nos anos de 2010 e 2011 no Sul do Brasil.

199
200
201
202
203

A. variegatus foi capturado em todas as cores de *pan traps*, assim como Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae, Scarabeidae, Mordelidae, Buprestidae, Coccinellidae, Cantharidae, Elateridae e Melyridae (Figura 2). Já Anthribidae, Cryptophagidae, Lampyridae e Ptilodactylidae foram amostradas na cor branca e Cerylonidae, Eucnemidae e Megalopodidae na *pan trap* azul. As famílias mais

204 representativas quantitativamente diferiram significativamente na abundância de
 205 coleópteros coletados nas distintas cores de *pan traps* (Tabela 1).

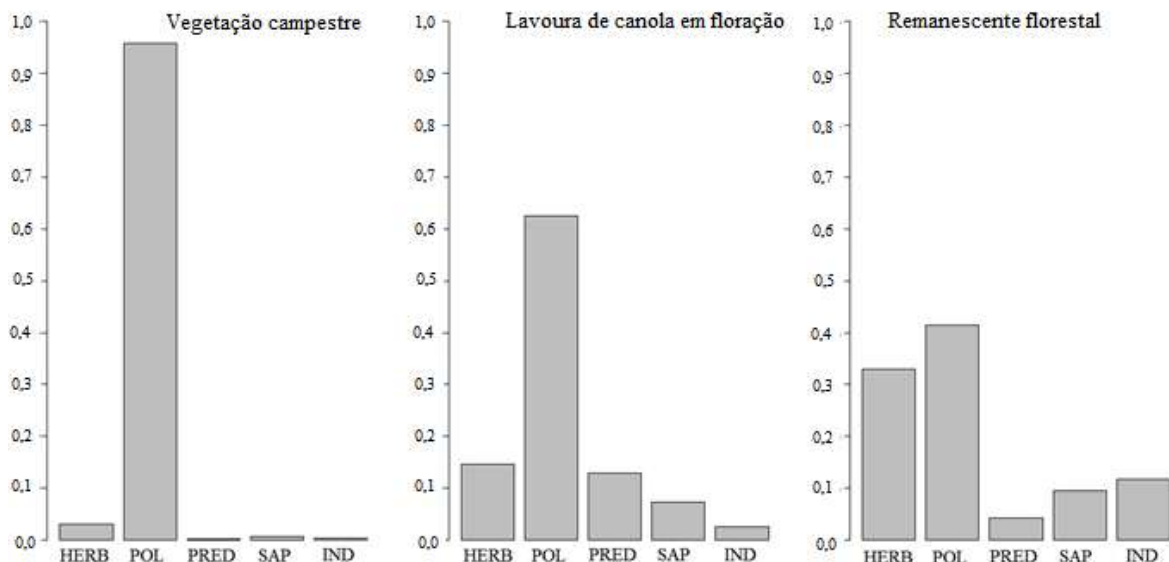


206

207 Figura 2: Abundância das famílias de coleópteros amostrados com *pan traps* em
 208 agroecossistema de canola nos anos de 2010 e 2011 no Sul do Brasil.
 209

210 Houve diferença estatística entre os habitats agrícolas estudados quanto às guildas
 211 alimentares ($X\text{-squared} = 1188.45$, $df = 8$, $p\text{-value} < 0.000$), ou seja, o local de captura dos
 212 besouros é influenciado pelo recurso alimentar que eles utilizam. A guilda de polinívoros
 213 foi dominante nos três habitats estudados (48% no remanescente florestal, 62% na canola e
 214 80% na vegetação campestre – Figura 3). No remanescente florestal foi encontrado a maior
 215 probabilidade de coleópteros herbívoros e na canola de predadores. Todas as análises
 216 pareadas entre as guildas alimentares de coleópteros e os três habitats foram significativas,

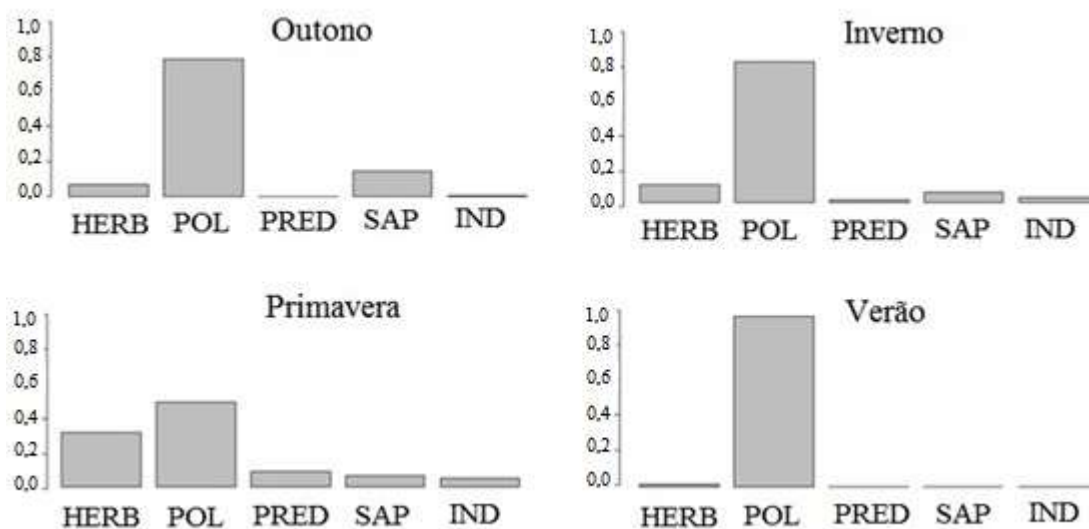
217 exceto a guilda de polinípagos no remanescente florestal e de predadores na lavoura de
 218 canola (Material Suplementar 1).
 219



220
 221
 222 Figura 3: Probabilidade de distribuição das guildas de coleópteros no agroecossistema da
 223 canola composto por três habitats (Vegetação campestre, Lavoura de canola em floração,
 224 Remanescente florestal) com base nas coletas realizadas no município de Esmeralda, RS,
 225 Brasil em 2010 e 2011. Herb = Herbívoro; Pol = Polinífago; Pred = Predador; Sap =
 226 Saprófago e Ind = Indeterminado.

227
 228
 229 Avaliando-se a guilda alimentar dos coleópteros em relação à estação do ano,
 230 observou-se que as frequências das guildas são estatisticamente diferentes ao longo do ano
 231 ($X\text{-squared} = 1857,324$, $df = 12$, $p\text{-value} < 0,000$). Analisando-se cada guilda separadamente
 232 encontramos que os besouros polinípagos tem a maior probabilidade de ocorrência em todas
 233 as estações do ano, com cerca de 80% no outono e inverno, 48% na primavera e 97% no
 234 verão (Figura 4). Na primavera, destaca-se as guildas de herbivoria (31%) e de predador
 235 (8%) que tiveram maior probabilidade de ocorrência nesta estação do que nas outras e no
 236 outono, os saprófagos tiveram maior probabilidade de ocorrência. Todas as comparações

237 pareadas entre guildas alimentares e as estações do ano foram significativas, exceto no
 238 inverno com as guildas saprófago e indeterminado (Material Suplementar 2). Não foi
 239 encontrado correlação significativa entre os dados abióticos e a abundância e riqueza de
 240 besouros (Tabela 3).



241

242

243 Figura 4: Probabilidade de distribuição das guildas de coleópteros durante as estações do
 244 ano agroecossistema da canola em Esmeralda, RS, Brasil, em 2010 e 2011. Herb =
 245 Herbívoro; Pol = Polinífero; Pred = Predador; Sap = Saprófago e Ind = Indeterminado.

246

247

248 Tabela 3 – Correlação dos dados abióticos com abundância e riqueza de coleópteros no
 249 agroecossistema de canola.

250

Variáveis abióticas	Abundância	Riqueza
Nebulosidade média	$r = -0,342; p = 0,211$	$r = -0,252; p=0,364$
Precipitação	$r = -0,285; p = 0,301$	$r = -0,343; p=0,209$
Temperatura média	$r = 0,195; p = 0,502$	$r = 0,518; p=0,057$
Pressão atmosférica média	$r = -0,025; p = 0,933$	$r = -0,307; p=0,264$

251

252

253

254

255 **Discussão**

256 *A. variegatus* foi a espécie mais abundante no agroecossistema estudado. Essa espécie é
257 considerada polinífaga, com o corpo pubescente e densas cerdas, as quais os grãos de pólen
258 se aderem e são transportados (Souza & Carvalho, 1994). Portanto, é provável que estes
259 coleópteros atuem como polinizadores, das flores do entorno e canola, corroborando com
260 outros estudos. Matioli e Figueira (1988) observaram *A. variegatus* em flores nativas e
261 exóticas na América do Sul. Apesar de não ter estruturas especializadas para polinização
262 como as abelhas e apresentar uma baixa mobilidade, estes insetos podem compensar sua
263 contribuição com uma elevada densidade e, conseqüentemente, alta quantidade de visitas,
264 como já sugerido para insetos que não são abelhas (Rader et al., 2016). Também se sabe
265 que para esta cultura os insetos contribuem com cerca de 17% na produção de síliquas
266 quando comparado a autogamia (Blochtein et al., 2014). Neste contexto, *A. variegatus* pode
267 estar contribuindo para a polinização e produção de canola.

268 Outras culturas que são polinizadas por *A. variegatus* são o algodão (Malerbo-Souza
269 & Halak, 2011) e *Tropaeolum majus* (Silva et al., 2011). A distribuição desta espécie
270 estende-se do Brasil ao Paraguai e Argentina (Souza & Carvalho, 1994), no entanto essas
271 populações decrescem e desaparecem rapidamente, sobretudo durante o inverno. Portanto,
272 apesar de contribuir com a polinização da canola, esta espécie não é indicada para o
273 incremento da produtividade, porque a maior abundância de adultos ocorre nos meses de
274 janeiro a junho em temperaturas mais elevadas (Rossetto & Rossetto, 1976), diferente da
275 cultura que necessita de frio e tem período de floração posterior a estes meses. No entanto,
276 sabe-se que para outra cultura oleaginosa conhecida como crambe (*Crambe abyssinica*), *A.*
277 *variegatus* e *D. speciosa* causam danos aos cotilédones no início do desenvolvimento da
278 cultura, porém não afetam o desenvolvimento da planta (Bassegio et al., 2016). Portanto, os

279 besouros serão considerados pragas ou polinizadores dependendo do contexto em que se
280 encontram e do período de desenvolvimento que está a planta (Paulino-Neto, 2014).

281 Os coleópteros especialmente pertencentes às famílias Nitidulidae, Cerambycidae e
282 Scarabaeidae, se alimentam de néctar e pólen (Lunau, 2000). Entre as famílias mais
283 representativas nesse estudo está Chrysomelidae, onde algumas espécies se alimentam de
284 pólen e anteras (Casari e Ide, 2012). Essa família é conhecida por abrigar espécies
285 polinizadoras de anonáceas, aráceas (Paulino-Neto, 2014) e angiospermas na Europa,
286 havendo um maior potencial polinizador em ambientes tropicais (Proctor et al., 1996).
287 Entre as espécies dessa família, destaca-se *D. speciosa* a qual foi a mais abundante no
288 presente estudo e é também conhecida por ser polinizadora de *Momordica charantia*
289 (melão-de-São-Caetano) (Lenzi et al., 2005) e *Mangifera indica* (manga) (Malerbo-Souza
290 & Halak, 2009).

291 Os Curculionidae podem atuar no processo de polinização ou causar danos às
292 plantas (Souza et al., 2009; Fernandes et al., 2010; Casari e Ide, 2012). Os insetos
293 pertencentes à família Cantharidae se alimentam de pólen e néctar, no entanto não são
294 considerados potenciais polinizadores (Paulino-Neto, 2014). Na canola, besouros da
295 espécie exótica *Harmonia axyridis* (Almeida & Silva, 2002), podem se alimentar de pólen e
296 néctar se houver ausência de presas no agroecossistema (Milléo et al., 2011). Esses
297 besouros predam principalmente pulgões, cochonilhas e psilídeos, e podem atuar no
298 controle biológico na agricultura asiática (Milléo et al., 2011, Casari & Ide, 2012).

299 Em relação as cores dos *pan traps*, sabe-se que os coleópteros podem encontrar
300 recursos alimentares pelo odor floral ou pela visão, que não é acurada, o que torna o
301 contraste das cores das flores com a paisagem importante para que eles possam encontrá-las
302 (Willmer, 2011). Segundo Vrdoljak & Samways (2012), se recomenda utilizar armadilhas

303 com cores de alta refletância, como branco e amarelo para estudos comparativos de
304 diversidade, porém para inventários completos necessita-se incluir novas cores, dentre elas
305 a azul para capturar as espécies mais raras. Os coleópteros geralmente preferem flores
306 brancas, cremes, amarelas e verdes (Willmer, 2011), no entanto durante o período de
307 floração da canola, os *pan traps* azuis e brancos atraíram mais indivíduos provavelmente
308 devido ao contraste com o intenso amarelo das flores. Os coleópteros *Astylus variegatus*
309 foram coletados abundantemente nas três cores de *pan traps*, embora a cor amarela tenha
310 sido mais atrativa para esses insetos, corroborando com estudos anteriores sobre a
311 atratividade da cor amarela para essa espécie (Matioli & Figueira, 1988; Matioli et al.,
312 1990; Gonçalves, 1997). Também foram coletados nas três cores de *pan traps* os besouros
313 de Scarabaeidae, confirmando os achados de Picker & Midgley (1996). No entanto, a maior
314 abundância de coleta foi no *pan trap* azul, seguido pelas cores amarela e branca. Tal fato
315 possivelmente deve-se ao contraste da paisagem com os recursos alimentares. No entanto,
316 Aydin (2011) verificou que a preferência por cores do escarabeídeo *Epicometis hirta* variou
317 de acordo com o período de floração das cerejeiras, sendo que nos períodos anterior e
318 posterior à floração foram observados em *pan traps* brancas e durante a floração preferiam
319 a cor azul, indicando uma possível adaptação desses besouros às flores disponíveis durante
320 o ano. Os besouros Cantharidae foram coletados principalmente em *pan traps* amarelos, e
321 em menor quantidade nos *pan traps* azuis, como observado em outros estudos (Leksono et
322 al., 2005), assim como os besouros de Buprestidae e Cerambycidae (Leksono et al., 2005;
323 O'Neil et al., 2008).

324 Nos habitats do agroecossistema de canola pode-se verificar que a vegetação
325 campestre apresentou maior riqueza de espécies, possivelmente atribuída ao elevado
326 número de espécies de flores disponíveis como recurso alimentar. Aliado a isto, neste

327 estudo observou-se que as guildas alimentares influenciaram a presença dos coleópteros
328 nos diferentes habitats. A guilda dos polinívoros, apesar de dominante nos três habitats, não
329 foi significativamente diferente no remanescente florestal, onde apresentou menor
330 probabilidade de ocorrência comparado aos ambientes abertos canola e vegetação
331 campestre. Campbell et al. (2007) observaram que na vegetação herbácea há maior
332 frequência de besouros visitantes florais das seguintes famílias: Buprestidae, Cantharidae,
333 Cerambycidae, Meloidae, Mordellidae e Scarabaeidae, como observado no presente estudo,
334 que indica uma maior riqueza de famílias de besouros na vegetação ruderal.

335 Sete famílias de coleópteros foram encontradas nos três habitats, ressaltando a
336 plasticidade no uso de recursos de nidificação e de alimentação das mesmas, corroborando
337 com o índice de Jaccard em que há 14% de espécies semelhantes na vegetação campestre e
338 na floração de canola e apenas 9% no remanescente florestal. Os três habitats, mesmo em
339 escala diferentes, apresentam flores, recurso fundamental para presença de algumas
340 famílias como Chrysomelidae e Melyridae encontradas nesses ambientes. No entanto, as
341 famílias Anthribidae, Attelabidae, Eucnemidae, Lampyridae e Ptilodactylidae só foram
342 encontradas na floresta, possivelmente devido aos seus hábitos alimentares herbívoros.
343 Segundo Leksono et al. (2005), os herbívoros têm capacidade de rastrear recursos entre os
344 estratos da floresta, no entanto esta capacidade varia de acordo com a família, sendo
345 observado em coleópteros de Elateridae e Attelabidae.

346 A guilda alimentar dos polinívoros foi predominante em todas as estações,
347 possivelmente devido à presença de plantas com flores, inclusive das espécies que
348 participam da rotação de culturas, nas áreas agrícolas durante todo o ano como a canola no
349 inverno e a soja no verão.

350 Analisando-se a abundância e riqueza de coleópteros não encontramos correlação
351 com os fatores abióticos. Tal fato demonstra que as condições meteorológicas não possuem
352 um papel limitante na frequência das espécies que ocorrem no agroecossistema da canola.
353 Dessa maneira, por possuírem hábito generalista e baixa sensibilidade às condições
354 climáticas os besouros são polinizadores seguros em comparação com as abelhas, pois estas
355 têm como fator limitante para atividades externas as condições climáticas extremas (Rader
356 et al., 2016).

357 O agroecossistema de canola foi composto predominantemente por coleópteros das
358 famílias Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae e Scarabaeidae, variando-se
359 a composição das espécies nos três habitats estudados. Na vegetação campestre registrou-se
360 a maior riqueza de coleópteros apresentando maior similaridade os insetos presentes nas
361 lavouras de canola em floração do que com o remanescente florestal. Dessa maneira,
362 enfatiza-se que os besouros polinípagos não limitados pelos fatores abióticos e sua presença
363 pode aumentar a taxa de polinização de canola e, conseqüentemente, a produtividade da
364 cultura.

365

366 **Agradecimentos**

367 Agradecemos a Daniel Dornelles Guidi e Pâmela Mânica pela assistência no laboratório
368 com triagem do material. Também agradecemos a CAPES pela bolsa (RH: 13190066-4) e
369 CAPES/FAPERGS (PNS: 13/00151555).

370

371 **Referências**

372 **Almeida, L.M., and V.B. Silva 2002.** Primeiro registro de *Harmonia axyridis* (Pallas)
373 (Coleoptera, Coccinellidae): um coccinélídeo originário da região Paleártica. Rev. Bras.
374 Zool. 19: 941-944.

375 **Alvares, C. A. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., and G. Sparovek.**
376 **2013.** Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Z. 22(6): 711-728.

377 **Aydin, G. 2011.** Plant phenology-related shifts in color preferences of *Epicometis*
378 (*Tropinota*) *hirta* (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae) adults - key to effective
379 population monitoring and suppression. Fla. Entomol. 94(4): 832-838.

380 **Bassegio, D., Zanotto, M. D., Santos, R. F., Werncke, I., Dias, P. P., and Olivo, M.**
381 **2016.** Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. Renew Sust Energ.
382 Rev. 66: 311-321.

383 **Basset, Y. 2001.** Communities of insect herbivores foraging on saplings versus mature
384 trees of *Pourouma bicolor* (Cecropiaceae) in Panama. Oecologia 129: 253–260.

385 **Bawa, K. S. 1990.** Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. Annu. Rev. Ecol.
386 Syst. 21: 399-422.

387 **Berg, V. D., Torto, B., Pickett, J. A., Smart, L. E., Wadhams, L. J., and C. M.**
388 **Woodcock. 2008.** Influence of visual and olfactory cues on field trapping of the pollen
389 beetle, *Astylus atromaculatus* (Col.: Melyridae). J. Appl. Entomol. 132: 490-496.

390 **Bernhardt, P. 1999.** Convergent evolution and adaptive radiation of beetle-pollinated
391 angiosperms. Plant. Syst. Evol. 222: 293-320.

392 **Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Halinski, R., Lopes, L. A., and S. Witter. 2014.**
393 Comparative study of the floral biology and of the response of productivity to insect
394 visitation in two rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. Braz. J. Biol.
395 74(4): 787-794.

396 **Bommarco, R., Marini, L., and B. E. Vaissière. 2012.** Insect pollination enhances seed
397 yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia* 169: 1025-1032.

398 **Campbell, J. W., Hanula, J. L., and T. A. Waldrop. 2007.** Effects of prescribed fire and
399 fire surrogates on floral visiting insects of the blue ridge province in North Carolina. *Biol.*
400 *Conserv.* 34: 393-404.

401 **Casari, S. A. and S. Ide.** Coleoptera Linnaeus, 1758. In: Rafael, J. A.; Melo, G. A. R.;
402 Carvalho, C. J. B. De; Casari, S. A.; and R. Constantino (eds.). *Insetos do Brasil:*
403 *diversidade e taxonomia*, v. 1, Ed. Fapeam/Holos, Ribeirão Preto, SP. Brasil.

404 **Chao, A. 1984.** Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scand.*
405 *J. Stat.* 11: 265–270.

406 **Cole, L. J., McCracken, D. I., Nennis, P., Downie, I. S., Griffin, A. L., Foster, G. N.,**
407 **Murphy, K.J. and T. Waterhouse. 2002.** Relationships between agricultural management
408 and ecological groups of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) on Scottish farmland. *Agr*
409 *Ecosys & Environ* 93: 323–336.

410 **Cunha, U. S., Grutzmacher, A. D., Martins, J. F. S., Stefanello, G. J., and E. O.**
411 **Jardim. 2007.** Ocorrência de *Euphoria lurida* (Fabricius) (Coleoptera: Scarabaeidae) em
412 milho cultivado em várzea no Rio Grande do Sul. *Neotrop. Entomol.* 36(6): 976-979.

413 **FAO. 2010.** Food and Agriculture Organization of the United Nations.
414 (<http://www.fao.org/biodiversity/components/pollinators/en/>).

415 **Fernandes, F. L., Picanço, M. C., Ramos, R. S., Benevenuto, J. S., and M. E. S.**
416 **Fernandes. 2010.** Ocorrência e distribuição espacial e temporal do coleóptero *Naupactus*
417 *curtus* em cafeeiros de Minas Gerais, Brasil. *Cienc. Rural* 40(6): 1424-1427.

418 **Gallo, D. N., Neto, O. S., Carvalho, S., Baptista, R. P. L. and G. de Casadei. 2002.**
419 Entomología agrícola. Fundacao de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba, São
420 Paulo, Brasil.

421 **Garcia, F. R. M, and E. Corseuil. 1998-1999.** Flutuação populacional de cerambicídeos e
422 escarabeídeos (Coleoptera) em pomares de pessegueiro no município de Porto Alegre, Rio
423 Grande do Sul. Revista da FZVA 5/6(1): 69-81.

424 **Gonçalves, P. A. S. 1997.** Levantamento de insetos associados à batata-doce, Ipomoea
425 batatas, com o uso de armadilhas d'água, em Ituporanga, SC. An. Soc. Entomol. 26: 199-
426 203.

427 **Greatorax-Davies, J. N., and T. H. Sparks. 1994.** The response of heteroptera and
428 coleoptera species to shade and aspect in rides of coniferised lowland woods in southern
429 England. Biol. Conserv. 67: 255-273.

430 **Hein, G. L., and J. J. Tollefson. 1985.** Use of the pherocon am trap as a scouting tool for
431 predicting damage by corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larvae. J. Econ.
432 Entomol. 78: 200-203.

433 **Hunt, T., Bergsten, J., Levkanicova, Z., Papadopoulou, A., John, O. S., Wild, R.,**
434 **Hammond, P. M., Ahrens, D., Balke, M., Caterino, M. S., Gómez-Zurita, J., Ribera, I.,**
435 **Barraclough, T. G., Bocakiva, M., Bocak, L., and A. P. Vogler. 2007.** A comprehensive
436 phylogeny of beetles reveals the evolutionary origins of a superradiation. Science 318:
437 1913-1916.

438 **Jauker, F., Bondarenko, B., Becker, H. C., and I. Steffan-Dewenter. 2012.** Pollination
439 efficiency of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. Agric. For. Entomol. 14:
440 81-87.

441 **Kevan, P. G., and H. G. Baker. 1983.** Insects as flower visitors and pollinators. *Ann. Rev.*
442 *Entomol.* 28: 407-453.

443 **Koike, S., Morimoto, H., Kozakai, C., Arimoto, I., Soga, Masashi, S., Yamazaki, K.,**
444 **and M. Koganezawa. 2012.** The role of dung beetles as a secondary seed disperser after
445 dispersal by frugivore mammals in a temperate deciduous forest. *Acta Oecol.* 41: 74-81.

446 **Leksono, A. S., Nakagoshi, N., Takada, K., and K. Nakamura. 2005.** Vertical and
447 seasonal variation in the abundance and the species richness of Attelabidae and Cantharidae
448 (Coleoptera) in a suburban mixed forest. *Entomol. Sci.* 8: 235-243.

449 **Lenzi, M., Orth, A. I., and T. M. Guerra. 2005.** Ecologia da polinização de *Momordica*
450 *charantia* L. (Cucurbitaceae), em Florianópolis, SC, Brasil. *Rev. Brasil. Bot.* 28(3): 313-
451 505.

452 **Lunau, K. 2000.** The ecology and evolution of visual pollen signals. *Pl. Syst. Evol.* 222
453 (1): 89-111.

454 **Magurran, A. E. 2004.** Measuring biology diversity. Blackwell Publishing. Oxford.

455 **Maia, A. C. D., Carvalho, A. T., Paulino-Neto, H. F., and C. Schlindwein. 2012.**
456 Besouros (*Insecta, Coleoptera*) como polinizadores no Brasil II perspectivas no uso
457 sustentado e conservação na polinização. p. 153-174. In: Imperatriz-Fonseca, V.L.; Canhos,
458 D.A.L.; Alves, D.A. & A.M. Saraiva (eds.). Polinizadores no Brasil: contribuição e
459 perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais.
460 Edusp, São Paulo, Brasil.

461 **Malerbo-Souza, D. T., and A. L. Halak. 2011.** Frequência e comportamento de abelhas e
462 outros insetos nas flores do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). *Zootecnia Trop.* 29(4):
463 475-484.

464 **Malerbo-Souza, D. T., and Halak, A. L., 2009.** Comportamento de forrageamento de
465 abelhas e outros insetos nas panículas da mangueira (*Mangifera indica* L.) e produção de
466 frutos. Acta Sci. Agron. 3: 335-341.

467 **Marinoni, R. C. and R. R. C. Dutra. 1997.** Famílias de Coleoptera capturadas com
468 armadilha malaise em oito localidades do Estado do Paraná, Brasil. Diversidades alfa e
469 beta. Rev. Bras. Zool. 14 (3):751-770.

470 **Marinoni, R. C. 2001.** Os grupos tróficos em Coleoptera. Rev Bras. Zool. 18 (1): 205 –
471 224.

472 **Matioli, J. C., and A. R. Figueira. 1988.** Dinâmica populacional e efeitos da temperature
473 ambiental e precipitação pluviométrica sobre *Astilus variegatus* (Germar, 1824) e *A.*
474 *sexmaculatus* (Perty, 1830) (Coleoptera; Dasytidae). An. Esalq. 45: 125-142.

475 **Matioli, J. C., Rossi, M. M., and C. F. Carvalho. 1988.** Ocorrência e distribuição mensal
476 de *Astilus variegatus* (Germar, 1824) e *A. sexmaculatus* (Perty, 1830) (Coleoptera:
477 Dasytidae) em alguns municípios do Estado de Minas Gerais. An. Soc. Entomol. Bras. 19:
478 373-382.

479 **Mawdsley, N.A. and N.E. Stork. 1997.** Host-specificity and the effective specialization of
480 tropical canopy beetles. Canopy Arthropods. N.E. Stork, J. Adis and R.K. Didham.
481 Chapman and Hall, London.

482 **Milléo, J., Farago, T. L. B., Souza, J. M. T., Barbola, I. F., and Castro, J. P. 2011.**
483 Entomofauna asociada a flores de berenjena y su papel en la producción de los frutos. Rev.
484 Soc. Entomol. Argent. 70 (1-2): 17-25.

485 **Moore, L. V., Myers, J. H., and Eng R. 1988.** Western tent caterpillars prefer the sunny
486 side of the tree, but why. OIKOS 51: 321-32.

487 **Nedić, N., Macukanovic-Jocić, M., Rancic, D., Rorslett, B., Sostaric, I., Stevanovic, Z.**
488 **D., and M. Mladenovic. 2013.** Melliferous potential of *Brassica napus* L. subsp. *napus*
489 (Cruciferae). *Arthropod-plant Inte.* 7: 323-333.

490 **O’Neill, K. M., Fultz, J. E., and M. A. Ivie. 2008.** Distribution of adult Cerambycidae
491 and Buprestidae (Coleoptera) in a subalpine forest under shelterwood management.
492 *Coleopts Bull.* 62(1): 27-36.

493 **Paulino-Neto, H. F. 2014.** Polinização por besouros, pp 259-275. In Rech, A. R., Agostini,
494 K., Oliveira, P. E., and I. C. Machado (eds.), *Biologia da polinização*. Editora Projeto
495 Cultural, Rio de Janeiro, Brasil.

496 **Pérez-Ramos, I. M., Verdú, J. R., Numa, C., Marañón, T., and J. M. Lobo. 2013.** The
497 comparative effectiveness of rodents and dung beetles as local seed dispersers in
498 mediterranean oak forests. *PLoS ONE* 8(10): e77197.

499 **Picker, M. D., and J. J. Midgley. 1996.** Pollination by monkey beetles (Coleoptera:
500 Scarabaeidae: Hopliini): flower and colour preferences. *Afr. Entomol.* 4(1): 7-14.

501 **Proctor, M., Yeo, P., and A. Lack. 1996.** *The Natural History of Pollination*. Timber
502 Press. Oregon. London.

503 **R Core Team. 2016.** A language and environment for statistical computing. The R
504 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.**Rader, R., Bartomeus, I.,**
505 **Garibaldi. L. A, Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A.,**
506 **Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C.,**
507 **Carvalho, L. G., Chacoff, N. P, Entling, M. H., Folly, B., Freitas, B. M, Gemmill-**
508 **Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S. R., Gross, C. L., Herbertsson, L., Herzog, F.,**
509 **Hipolito, J., Jaggar, S., Jauker, F., Klein, A. M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.**
510 **Q., Lindström, S. A. M., Mandelik, Y., Monteiro, V. M., Nelson, W., Nilsson, L.,**

511 **Pattermore, D. E., Pereira, N. O, Pisanty, G., Potts, S. G., Reemer, M., Rundlöf, M.,**
512 **Sheffield, C. S., Scheper, J., Schüepp, C., Smith, H. G., Stanley, D. A., Stout, J. C.,**
513 **Szentgyörgyi, H., Taki, H., Vergara, C. H., Viana, B. F., and M. Woyciechowski. 2016.**
514 Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. Pnas 113(1): 146-
515 151.**Reddy, G. V. P., Cruz, Z. T., and A. Guerrero. 2009.** Development of an efficient
516 pheromone-based trapping method for the banana root borer *Cosmopolites sordidus*. J.
517 Chem. Ecol. 35: 111-117.

518 **Riley, D. G., and Schuster, D. J. 1994.** Pepper weevil adult response to colored sticky
519 traps in pepper fields. Southwest Entomol. 19(2): 93-107.

520 **Rossetto, C. J., and Rosseto, D. 1976.** *Astylus variegatus* (Germar, 1824) (Coleoptera
521 dasytidae) danificando sorgo. Bragantia. 35: 131-132.

522 **Silva, M. E. P. F., Mussury, R. M., Vieira, M. C., Júnior, V. V. A., Pereira, Z. V. and**
523 **S. P. Q. Scalon. 2011.** Floral biology of *Tropaeolum majus* L. (Tropaeolaceae) and its
524 relation with *Astylus variegatus* (Germar 1824) (Coleoptera: Melyridae). An. Acad. Bras.
525 Cienc. 83(4): 1251-1258.

526 **Souza, B. and C. F. Carvalho. 1994.** Aspectos morfológicos do adulto de *Astylus*
527 *variegatus* (Germar, 1824) (Coleoptera, Melyridae). Pesq. Agropec. Bras. 29(5): 689-694.

528 **Souza, R. M., Anjos, N. and J. C. Sorgato. 2009.** Ocorrências de *Naupactus cervinus*
529 (Boheman) em cafezal na região da zona de mata mineira. Ciênc. Agrotec. 33: 1967-1971.

530 **Veloso, H. P. 1992.** Manual técnico da vegetação brasileira. Fundação instituto brasileiro
531 de geografia e estatística, departamento de recursos naturais e estudos ambientais – Rio de
532 Janeiro: IBGE.

533 **Vrdoljak, S. M., and M. J. Samways. 2012.** Optimising coloured pan traps to survey
534 flower visiting insects. J. Insect Conserv. 16: 345-354.

535 **Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T.,**
 536 **Potts, S. G., Roberts, S.P.M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B.E.,**
 537 **Woyciechowski, M., Biesmeijer, J. C., Kunin, W.E., Settele, J. & Stefan-Dewenter, I.**
 538 **2008.** Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical regions.
 539 *Ecol Monog.* 78(4), 653–671.

540 **Willmer, P. 2011.** Pollination and floral ecology. Princeton, Princeton University Press.

541 **Witter, S., Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Tirelli, F. P., Lisboa, B. B., Bremm, C., and**
 542 **R. Lanzer. 2014.** The bee community and its relationship to canola seed production in
 543 homogenous agricultural areas. *J. Poll. Ecol.* 12(3): 15-21.

544 Material Suplementar 1: Modelo logístico multinomial entre guildas de coleópteros e os
 545 habitats amostrados (valor de p; $p < 0,05$). Casela de referência foi a guilda herbivoria.

	Lavoura de Canola	Remanescente Florestal	Vegetação campestre
546			
547			
548	Polínífago	0.000	0.340
549	Predator	0.617	0.000
550	Saprófago	0.019	0.001
551	Indeterminado	0.000	0.003

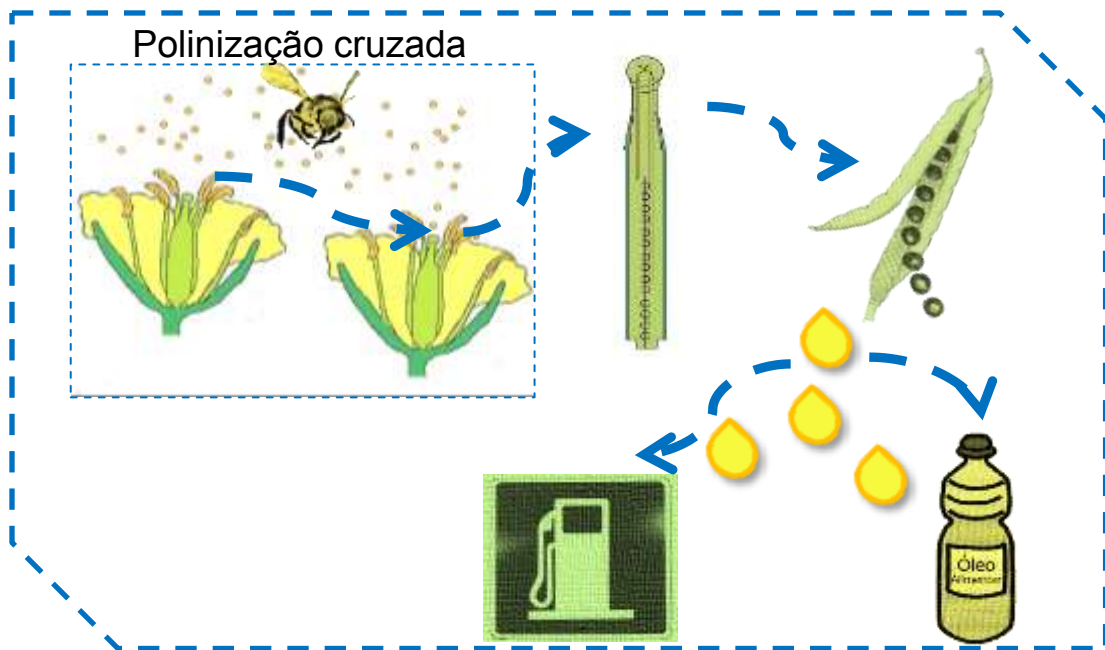
552
 553
 554

555 Material Suplementar 2: Modelo logístico multinomial entre as guildas de coleópteros e as
 556 estações do ano (valor de p; $p < 0,05$). Casela de referência foi a guilda herbivoria.

	Outono	Primavera	Verão	Inverno
557				
558	Polínífago	0.000	0.000	0.000
559	Predator	0.000	0.000	0.068
560	Saprófago	0.023	0.000	0.000
561	Indeterminado	0.021	0.000	0.118

562
 563

Área Produtividade



Fonte: Rede Brasileira Para Polinização de Canola

CAPÍTULO 3

Influência da diversidade de abelhas silvestres na produtividade de canola

Manuscrito redigido no formato *Original Research* do
periódico *Agricultural and Forest Entomology*

1 **Influência da diversidade de abelhas silvestres na produtividade de canola**
2 **Running title: Abelhas silvestres e produtividade de canola**

3
4 Rosana Halinski^{1*}, Charles Fernando dos Santos¹, Tatiana Guterres Kaehler¹, Betina
5 Blochtein¹

6
7 ¹Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de
8 Entomologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida
9 Ipiranga, 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. +555133534376.
10 *ro.halinski@gmail.com

11
12 **Resumo:**

- 13 1. A distância de forrageio das abelhas determina a escala espacial na qual cada
14 espécie pode exercer o serviço de polinização. Em agroecossistemas a
15 produtividade não apenas está relacionada à diversidade taxonômica das abelhas
16 por si (refletida na distância de voo), mas aos locais onde estabelecem seus
17 ninhos. O objetivo deste estudo foi avaliar como a composição das abelhas
18 silvestres afeta a produtividade de *Brassica napus* em diferentes distâncias (25
19 m, 175 m e 325 m) de remanescentes florestais no sul do Brasil.
20 2. As abelhas foram amostradas com o uso *pan traps* e os dados foram analisados
21 por meio do índice de diversidade de Shannon e modelos lineares generalizados.
22 Foram identificadas 11 espécies de abelhas nativas (solitárias e sociais), além da
23 espécie exótica, *Apis mellifera*, que foi a mais abundante.
24 3. Nossos resultados demonstraram que a produtividade de canola foi
25 positivamente influenciada pela diversidade de abelhas na cultura. Portanto, as
26 abelhas nativas, além de *A. mellifera*, podem contribuir significativamente para a
27 produtividade de canola. Além disso, foi demonstrado que há diferença
28 significativa entre o tamanho corporal da abelha e a distância de voo percorrida
29 no interior da lavoura de canola, bem como a relação com seus locais de
30 nidificação.
31 4. Assim, pondera-se que a produtividade de canola está relacionada à presença de
32 abelhas silvestres, sociais e solitárias, e que a manutenção destes polinizadores é
33 diretamente dependente das práticas adotadas no meio rural, seja nas lavouras ou
34 nos fragmentos florestais onde há presença de ninhos silvestres de abelhas.

35
36
37 **Palavras-chave:** *Brassica napus*, polinização, abelhas sem ferrão, *Apis mellifera*,
38 agroecossistema

39
40 **Introdução**

41 Os polinizadores desempenham um papel funcional importante nos ecossistemas
42 devido aos serviços ambientais essenciais que prestam na reprodução das plantas (Potts
43 *et al.*, 2016). Entre os insetos, as abelhas se destacam como os principais polinizadores
44 de angiospermas em todo o mundo (Ollerton *et al.*, 2012). Sabe-se que 33% das plantas
45 cultivadas para consumo humano dependem da polinização cruzada proporcionada

46 pelas abelhas (Klein *et al.*, 2007). Apesar desta relação benéfica entre abelhas e plantas,
47 essa interação pode ser ameaçada de várias maneiras. Por exemplo, avaliações
48 realizadas em diferentes culturas agrícolas indicam que diversas espécies e processos
49 interconectados poderão entrar em colapso devido as alterações na paisagem, em
50 habitats adjacentes às lavouras, resultando em uma menor produtividade (Vaissière *et*
51 *al.*, 1996; Kearns *et al.*, 1998; Vicens & Bosch, 2000).

52 A população de polinizadores está sujeita a diversos efeitos da fragmentação
53 florestal, como a agricultura, pecuária e outras pressões antropogênicas (Debinsky &
54 Holt, 2000; Cresswell & Osborne, 2004). Este processo de redução da paisagem natural
55 diminui significativamente o fluxo de animais, pólen e sementes (Aizen & Feisinger,
56 1994, Kruess & Tscharntke, 1994, Samways, 1995). Como consequência, o efeito da
57 fragmentação do habitat pode impactar negativamente a riqueza e diversidade de
58 determinados grupos funcionais, como os insetos (Kremen *et al.*, 1993).

59 A avaliação desses parâmetros de diversidade em insetos envolve diferentes
60 métodos de amostragens a fim de analisar o efeito da paisagem em suas populações. As
61 pesquisas com insetos antófilos buscam conhecer a diversidade em culturas agrícolas e
62 identificar os potenciais polinizadores (Lopes *et al.*, 2007; Truylio *et al.*, 2007;
63 Westphal *et al.*, 2008). Historicamente estes estudos utilizam redes entomológicas para
64 coleta de insetos. No entanto, desde a última década o uso de armadilhas *pan traps* vem
65 aumentando devido à sua eficiência na captura de uma ampla gama de visitantes florais
66 e por não ter viés do coletor (Wilson *et al.*, 2008; Westphal *et al.*, 2008; Tuell & Isaacs,
67 2009; Vrdoljak & Samways, 2012).

68 A canola (*Brassica napus* L. variedade oleífera) é a terceira planta oleaginosa
69 mais cultivada do mundo e a partir de seus grãos são extraídos óleos para o consumo
70 humano e biodiesel (Marjanović-Jeromela *et al.*, 2008). No Brasil, a área cultivada de

71 canola é estimada em 47.500 hectares predominando na região Sul (Conab, 2016). Sua
72 floração massiva é altamente atrativa a abelhas, pois oferece recursos florais (néctar e
73 pólen) em abundância (Holzschuh et al., 2016). Estudos apontam que a visita de
74 insetos melhora a produtividade de grãos, sendo que *Apis mellifera* é considerada o
75 principal polinizador (McGregor, 1976; Free, 1993; Delaplane & Mayer, 2000;
76 Morandin & Winston, 2005; Sabbahi et al., 2005; Abrol, 2007; Jauker & Wolters, 2008;
77 Rosa et al., 2010; Bonmarco et al., 2012; Jauker et al., 2012; Halinski et al., 2015;
78 Witter et al., 2015). No Canadá, de onde a canola é originária, com a introdução de três
79 colônias de *A. mellifera* por hectare Sabbahi e colaboradores (2005) verificaram um
80 incremento de 46% na produção de sementes de canola. Para esta cultura, estudos
81 apontam que a presença de abelhas pode elevar a produção de grãos em até 47%
82 (Williams et al., 1986; Becker et al., 1992; Mussury & Fernandes, 2000; Bonmarco et
83 al., 2012; Blochtein et al., 2014; Witter et al., 2015). Além de *A. mellifera*,
84 determinadas abelhas nativas, também são apontadas como eficientes polinizadoras
85 (Garibaldi et al., 2013; Koh et al., 2015; Potts et al., 2016). Portanto, a presença e
86 diversidade desses insetos aumentam a polinização e, conseqüentemente, os
87 rendimentos e o valor de mercado dessa cultura (Steffan-Dewenter, 2003; Sabbahi et
88 al., 2005; Bommarco et al., 2012).

89 O conhecimento dos potenciais polinizadores agrícolas e de seus hábitos de
90 nidificação é necessário para o estabelecimento de estratégias destinadas à conservação
91 e manejo destas espécies. Considerando que os polinizadores predominantemente
92 habitam os fragmentos florestais adjacentes às culturas e que o tamanho corporal da
93 abelha é um preditor da distância de forrageio espera-se que estas atuem em diferentes
94 escalas na polinização (Greenleaf et al., 2007; Bommarco et al., 2012; Bailey et al.,
95 2014; Wright et al., 2015).

96 Considerando que os polinizadores predominantemente habitam os fragmentos
97 florestais adjacentes às culturas espera-se que as abelhas atuem diferentes escalas na
98 polinização devido ao fato que o tamanho corporal está relacionado a capacidade de
99 voo.

100 Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar como a composição e o tamanho
101 das abelhas (representado pela distância intertegular) influenciam na produtividade de
102 canola em diferentes distâncias dos fragmentos florestais no sul do Brasil.
103 Especificamente, neste estudo, objetiva-se responder as seguintes questões: (1) As
104 espécies de abelhas presentes na floração de canola nidificam nos fragmentos florestais?
105 (2) O tamanho corporal das abelhas está relacionado com as distâncias no interior das
106 lavouras a partir dos fragmentos florestais adjacentes? (3) A diversidade de abelhas
107 aumenta a produtividade de canola?

108

109 **Material e Métodos**

110 **Área de estudo**

111 O estudo foi conduzido em quatro áreas de *B. napus* (cultivar Hyola 420), no
112 município de Esmeralda, Sul do Brasil. A região é caracterizada por pastagens,
113 fragmentos florestais e campos de culturas anuais (canola, soja, milho e trigo). As
114 quatro lavouras de canola estudadas foram de 20 ha (lavoura 1, Fig. 1), 80 ha (2), 100
115 ha (3) e 80 ha (4) e distantes entre si de 2,5 a 23,5 km. Estas áreas estão localizadas no
116 planalto superior da Serra do Noroeste, com temperatura média anual de 14,4-16,8°C,
117 umidade relativa de 76-83%, precipitação anual de 1,412-2,162 mm e altitude de 944 m
118 (Veloso *et al.*, 1992). De acordo com a classificação de Köppen, a região é considerada
119 Cfa - úmida temperada (Alvares *et al.*, 2013), sendo a vegetação original composta de

120 Floresta Ombrófila Mista e Campos de Altitude (Ministério do Meio Ambiente, 2009).

121 Na cidade não há apiários ou criadores de abelhas sem ferrão.

122 **Amostragem de abelhas**

123 A amostragem de abelhas foi realizada utilizando-se armadilhas *pan traps* azuis,
124 amarelas e brancas (ultravioleta), que permaneceram expostas por 24 h coleta (adaptado
125 de Westphal *et al.*, 2008). Estas armadilhas foram dispostas em parcelas que consistiram
126 em cinco grupos de três potes, mantendo uma distância de 15 m entre os grupos e de 3
127 m entre os potes, formando um triângulo equilátero (adaptado da FAO, 2010 - figura 1).
128 As armadilhas foram dispostas no interior das lavouras de canola em três distâncias da
129 borda da floresta, respectivamente em 25 m, 175 m e 325 m, durante a época de
130 floração da cultura (agosto-outubro), totalizando quatro amostragens em 2010 e sete em
131 2011. As abelhas foram identificadas e depositadas na Coleção de Abelhas do Museu de
132 Ciência e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Além
133 disso, após determinação em nível de espécie verificamos na literatura os substratos de
134 nidificação característicos (Michener & Lange, 1958; Camargo, 1974; Laroca, 1976;
135 Seeley & Morse, 1976; Eickwort & Sakagami, 1979; Drumond *et al.*, 1996; Nieh *et al.*,
136 2004; Gonzalez & Ospina, 2008; Dalmazo & Roig-Alsina, 2012) e a distância de
137 forrageio de cada espécie (Greenleaf *et al.*, 2007; Araujo *et al.*, 2004; Beekman &
138 Ratnieks, 2000).

139



140

141 Figura 1 – Desenho esquemático da disposição das armadilhas *pan traps* no interior de
 142 lavoura de canola para a amostragem de abelhas.

143

144 **Tamanho das abelhas**

145 Para relacionar a distância percorrida a partir do fragmento florestal com o
 146 respectivo tamanho corporal da abelha, nós examinamos a distância intertegular dos
 147 espécimes coletados. Essas medidas morfológicas são estimadores robustos de massa
 148 corporal, tamanho (Cane, 1987 Bullock, 1999) e capacidade de voo das abelhas
 149 (Greenleaf *et al.*, 2007; Wright *et al.*, 2015). As medidas foram obtidas com paquímetro
 150 digital utilizando-se somente exemplares fêmeas, pois presume-se que eram oriundas de
 151 seus respectivos ninhos.

152

153 **Produtividade de grãos de canola**

154 Para a avaliação da produtividade da canola, após o amadurecimento de siliquas,
155 foram coletadas onze a 18 plantas espaçadas 1,5 m entre si formando parcelas de 225 m²
156 em cada lavoura. Com estas plantas analisou-se a produção de sementes em livre visita
157 de insetos em três diferentes distâncias da borda do remanescente florestal: 25, 175 e
158 325 m. O número de sementes por planta foi contabilizado manualmente com a ajuda de
159 um contador de sementes de vácuo (ERICKSEN De Leo). O peso médio dos grãos por
160 planta foi obtido pela soma do peso individual das plantas, com o auxílio de uma
161 balança analítica (AUY200), dividido pelo número total de plantas.

162

163 **Análise dos dados**

164 Para avaliar a abundância e riqueza de espécies utilizou-se o índice de Shannon,
165 pois este responde mais fortemente às mudanças na importância das espécies mais raras
166 (Peet, 1974). Para isso empregou-se a função “*diversity*” do pacote “vegan” (Oksanen et
167 al., 2016) no Programa R (R Core Team, 2017). Em seguida, foi gerado um Modelo
168 Linear Generalizado (GLM, em inglês) com a família gaussiana (link = log) para avaliar
169 se o peso médio de grãos de canola (rendimento) poderia ser explicado pela diversidade
170 de abelhas. O ajuste do GLM foi avaliado por meio do pseudo-R² da função *rsquared* do
171 pacote *piecewiseSEM* (Lefcheck, 2015).

172 A influência do tamanho das abelhas (*i.e.* distância intertegular) sobre as
173 distâncias das bordas da floresta (25, 175, 325 metros) foi analisada com um Modelo
174 Linear Generalizado Misto (GLMM, em inglês) com família binomial negativa
175 estimada por máxima verossimilhança (aproximação de Laplace). Esta família de
176 distribuição dos erros foi escolhida após verificar a sobredispersão com um GLMM
177 com distribuição de Poisson. Além da variável distância, o local de nidificação das

178 abelhas (Tabela 1), bem como a interação entre as espécies de abelhas e ninhos foram
179 usados como variáveis preditoras (efeitos fixos) no GLMM. Por outro lado, as lavouras
180 e as cores dos *pan traps* foram utilizadas como efeitos aleatórios. Esta análise foi feita
181 por meio da função *glmer.nb* do pacote "lme4" (Bates *et al.*, 2015) no Programa R. A
182 presença das espécies sociais e solitárias capturadas nas quatro lavouras de canola
183 conforme a distância dos fragmentos florestais foi demonstrada graficamente pelo
184 ggplot através do pacote "ggplot2" (Wickham & Chang, 2016) no programa R.

185

186 **Resultados e Discussão**

187 Foram coletadas 314 abelhas nas quatro áreas amostradas e identificadas 11
188 espécies de abelhas nativas e uma exótica, *Apis mellifera* L., sendo esta a abelha mais
189 abundante registrada representando 58% dos indivíduos coletados (Tabela 1). Esta foi a
190 espécie dominante, provavelmente devido a ocorrência de ninhos silvestres na região, à
191 população numerosa de indivíduos nos ninhos, ao comportamento de recrutamento e
192 ainda a sua maior plasticidade quanto aos substratos para a nidificação. Além disso, no
193 inverno há escassez de alimentos na região e as florações massivas de canola são
194 atrativas para as espécies.

195

196 Tabela 1 – Lista de espécies de abelhas coletadas em quatro lavouras de canola em
 197 plena floração nos anos de 2010 e 2011 no município de Esmeralda, RS, e a indicação
 198 dos substratos de nidificação.

Espécies	Abundância	Substratos de Nidificação
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	184	Cavidade de árvore
<i>Augochlora amphitrite</i> (Schrottky, 1909)	4	Cavidade de árvore
<i>Augochlora</i> sp.	1	Cavidade de árvore
<i>Bombus pauloensis</i> Friese, 1913	1	Subterrâneo
<i>Caenohalictus tessellatus</i> (Moure, 1940)	1	Subterrâneo
<i>Paroxystoglossa brachycera</i> Moure, 1960	1	Subterrâneo
<i>Plebeia emerina</i> (Friese, 1900)	21	Cavidade de árvore
<i>Pseudagapostemon pruinosus</i> Moure & Sakagami, 1984	8	Subterrâneo
<i>Pseudagapostemon tessellatus</i> Cure, 1989	57	Subterrâneo
<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier, 1836)	1	Subterrâneo
<i>Thygater mourei</i> Urban, 1961	7	Subterrâneo
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	28	Aéreo

199
200

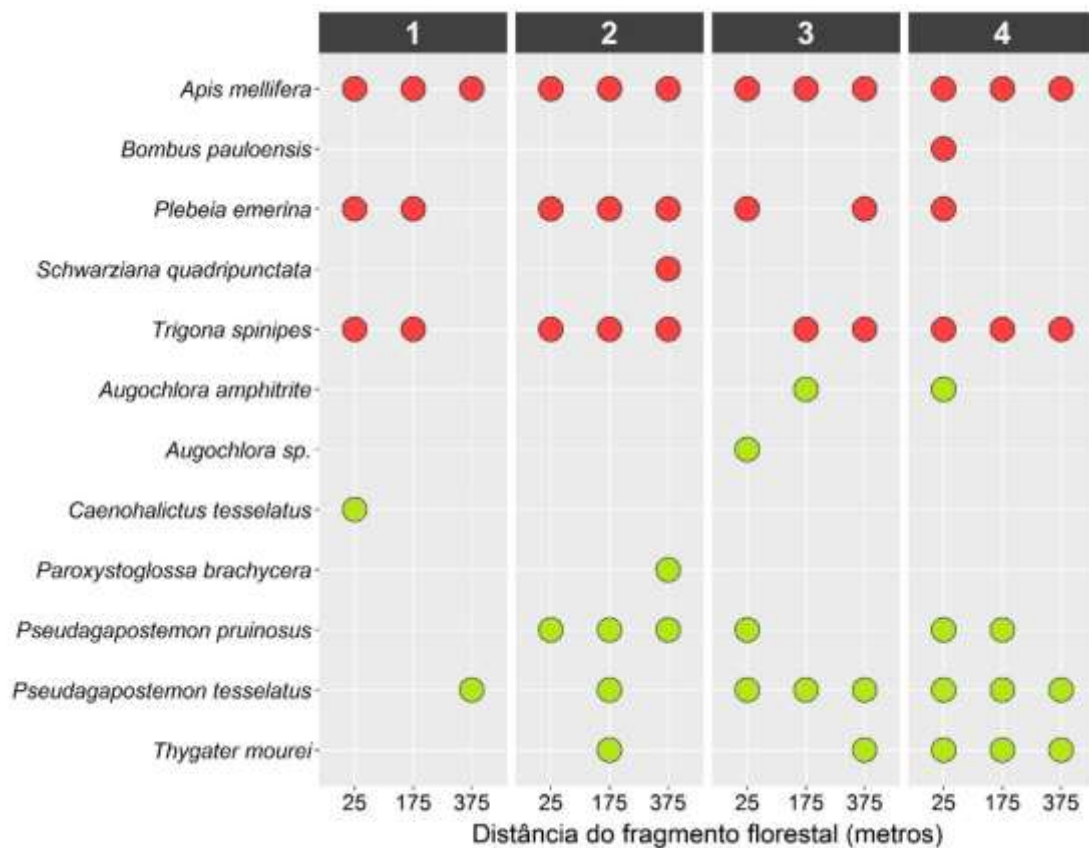
201 Dentre todos os indivíduos coletados, *A. mellifera* foi a única encontrada em
 202 todas as distâncias, sendo este resultado já esperado, pois estudos semelhantes apontam
 203 que elas podem voar distâncias maiores que 10 km (Beekman & Ratnieks, 2000). Neste
 204 aspecto, uma espécie nativa se destacou, *Trigona spinipes*, pois foi coletada em todas as
 205 distâncias, exceto em 325 metros na lavoura 1 e 25 metros na lavoura 3 (Figura 2). Esta
 206 espécie, juntamente com *A. mellifera*, é considerada supergeneralista devido ao seu
 207 amplo nicho trófico (Giannini *et al.*, 2015). O hábito generalista permite que essas
 208 espécies sejam mais tolerantes a habitats perturbados do que as especialistas (Giannini
 209 *et al.*, 2015). Durante o forrageio *T. spinipes* pode usar sinais de comunicação de outras
 210 espécies, chamados de trilhas odoríferas, para orientação possibilitando a descoberta de
 211 novas fontes alimentares com maior facilidade (Nieh *et al.*, 2004). D’Avila e Marchini,
 212 (2005), destacam que *T. spinipes* é uma eficiente polinizadora, porém permanece mais
 213 tempo nas flores de canola em comparação a *A. mellifera*.

214 Outra abelha social nativa que se destacou foi *Plebeia emerina* que foi coletada
 215 em todas as lavouras, exceto em 325 metros na lavoura 1, e em 175 e 325 metros na
 216 lavoura 4. Witter *et al.* (2015) demonstraram que esta espécie é eficiente polinizadora de

217 canola, contribuindo no rendimento dos grãos da cultura com 75% da taxa de
218 frutificação, não havendo diferença na eficiência de uma visita de *P. emerina*
219 comparada a *A. mellifera*. Outros autores também apontam a eficiência de abelhas
220 nativas para a cultura (Morandin & Winston, 2005; Garibaldi *et al.*, 2013; Potts *et al.*,
221 2016).

222 Com relação a ocorrência de abelhas solitárias nas diferentes distâncias no
223 interior das lavouras de canola, destaca-se o gênero *Pseudagapostemon*, com *P.*
224 *tesselatus* e *P. pruinosus*. As abelhas solitárias, especialmente Halictidae, foram
225 encontradas principalmente nas distâncias de 175 m e 325 m. Ressalta-se que estas
226 abelhas nidificam no solo (Tabela 1), inclusive no interior de áreas com cultivos anuais
227 (Eickwort & Sakagami, 1979; Dalmazo & Roig-Alsina, 2012), conforme observado em
228 lavouras de canola pelos autores durante este estudo. Diante deste fato, considera-se que
229 essas abelhas podem contribuir para a polinização desta cultura, independentemente das
230 distâncias de fragmentos florestais.

231 Na Figura 2 é possível observar que entre as espécies de abelhas sociais e
232 solitárias, as sociais foram coletadas mais frequentemente próximas ao remanescente
233 florestal do que as solitárias. Por outro lado, a grande presença de abelhas solitárias
234 capturadas a distâncias maiores do remanescente pode ser justificada pelo hábito
235 subterrâneo de nidificação.



236
237

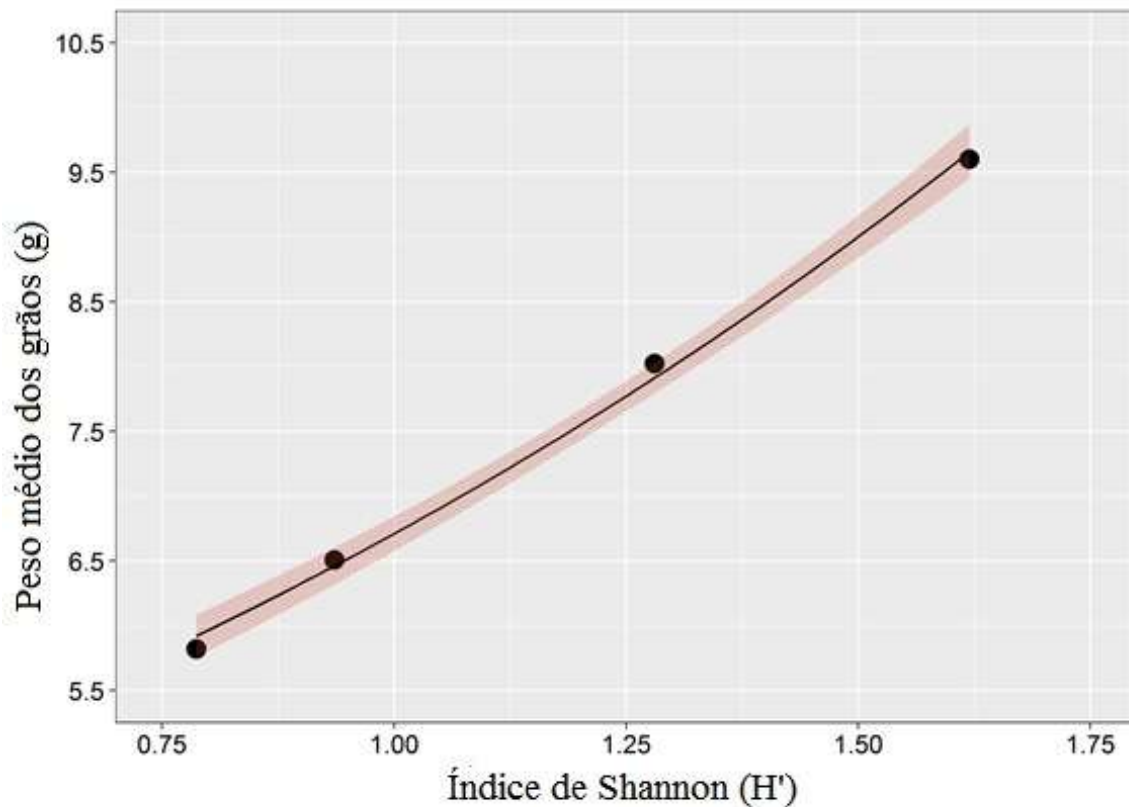
238 Figura 2 – Localização das abelhas amostradas no interior de quatro lavouras de canola
239 em três distâncias dos fragmentos florestais (25 m, 175 m e 325 m). Círculos vermelhos
240 representam as espécies sociais e círculos verdes as espécies solitárias.

241

242

243 Em relação à diversidade das abelhas e à produtividade de grãos de canola
244 encontramos que o índice de diversidade de Shannon variou de 0,78 na lavoura 1 a 1,61
245 na lavoura 4 (Figura 3). Nossos resultados demonstram que a diversidade de abelhas (=
246 índice de diversidade de Shannon) afeta significativamente o rendimento de canola
247 (GLM Gaussiana, $F = 615$, $p < 0,001$, pseudo- $R^2 = 0,99$) (Figura 3). Assim destaca-se a
248 importância da presença de abelhas nativas, além de *A. mellifera* nas lavouras de canola
249 no sul do Brasil. Em acréscimo, a polinização realizada pelas abelhas em áreas agrícolas
250 aumenta não só a quantidade, mas também a qualidade dos grãos (Ricketts *et al.*, 2008)
251 e, conseqüentemente, a produtividade de biocombustíveis (Duran *et al.*, 2010).
252 Portanto, a identificação taxonômica das espécies e seus respectivos hábitos de
nidificação fornecem subsídios para manutenção da diversidade de suas populações em

253 áreas agrícolas de canola, contribuindo para o fortalecimento de modelos agrícolas
254 sustentáveis.



255
256 Figure 3 - Relação do Peso dos grãos de canola com a diversidade de abelhas (índice de
257 Shannon, H'). Nota: Pontos - Valores observados; Linha - modelo predito (GLM,
258 família Gaussiana); Tonalidade rosa - intervalo de confiança de 0,95%. Ajuste do
259 modelo: pseudo-R² = 0.99.

260

261 Estudos apontam acréscimo de 12 a 47% na produtividade da cultura por meio
262 da polinização cruzada com *A. mellifera* e outras espécies nativas de abelhas como
263 vetores na canola (Williams *et al.*, 1986; Becker *et al.*, 1992; Mussury & Fernandes,
264 2000; Rosa *et al.*, 2010; Bonmarco *et al.*, 2012; Blochtein *et al.*, 2014; Witter *et al.*,
265 2015; Garibaldi *et al.*, 2013; Koh *et al.*, 2015; Potts *et al.*, 2016). Em se tratando da
266 apifauna silvestre, os fragmentos florestais e outras áreas seminaturais têm um relevante
267 papel na nidificação das abelhas, facilitando a permanência das espécies em seu interior.
268 Em consonância, o plantio direto sem o revolvimento da camada superior do solo,

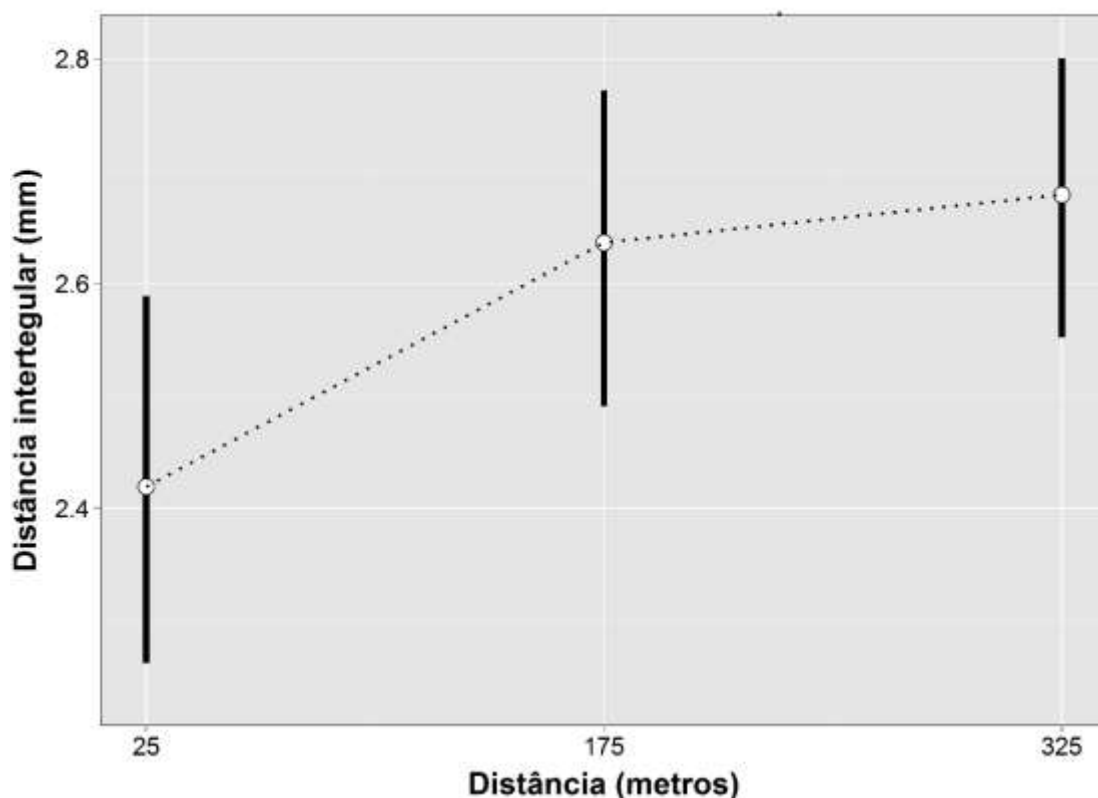
269 amplamente adotado na região do estudo para culturas anuais, inclusive nas lavouras de
270 canola, pode facilitar a nidificação de espécies de abelhas solitárias registradas neste
271 estudo (Morandin et al., 2007). Assim sendo, abelhas sociais e solitárias atuam de forma
272 complementar nas lavouras de canola no sul do Brasil, influenciando nas taxas de
273 polinização e no aumento da produtividade dos grãos da canola.

274 Outro importante fator que contribuiu para abundância e riqueza de abelhas na
275 canola é que a cultura floresce no inverno, período de escassez de recursos alimentares,
276 além de possuir uma floração massiva com pólen e néctar disponível. Levando em
277 consideração que as abelhas necessitam visitar um elevado número de flores para
278 satisfazerem suas necessidades individuais, de crias e da colônia (Corbet *et al.*, 1991),
279 sua elevada presença na cultura demonstra ser um bom preditor para os rendimentos de
280 canola.

281 Com relação ao tamanho corporal das abelhas, a maior forrageira encontrada foi
282 *Bombus pauloensis* (distância intertegular: 4,87 mm). No entanto, foi coletado apenas
283 um indivíduo a 25 metros de um fragmento florestal. As abelhas sem ferrão *T. spinipes*,
284 *Schwarziana quadripunctata*, *P. emerina*, que têm distância intertegulares menores,
285 foram encontradas em quase todas as distâncias, exceto *S. quadripunctata* que foi
286 encontrada apenas a 325 metros de distância do fragmento florestal. Destaca-se que *P.*
287 *emerina* é 2,6 vezes menor que o de *A. mellifera* (distância intertegular: 1,19 mm, 3,15
288 mm, respectivamente) e que *T. spinipes* (1,79 mm) é 1,76 vezes menor que *A. mellifera*.
289 *Thygater mourei* foi coletada em todas as distâncias na lavoura 4, em 175m na lavoura 2
290 e em 325m na lavoura 3. *Caenohalictus tessellatus* foi a única espécie encontrada apenas
291 em 25 metros de distância do fragmento florestal (Figura 2).

292 Demonstramos que houve uma diferença significativa no tamanho da abelha
293 amostrada nas três distâncias das bordas da floresta (GLMM binomial negativa, $\chi^2 =$

294 20.07, $p < 0,001$ - Figura 4). Além disso, foi encontrado diferenças significativas entre
295 os locais de nidificação das espécies coletadas (GLMM binomial negativa, $\chi^2 = 12.25$, p
296 $< 0,001$), bem como na interação do tamanho dos indivíduos e dos substratos de
297 nidificação das espécies amostradas (GLMM binomial negativa, $\chi^2 = 6.25$, $p = 0.012$).
298 Assim, a distância intertegular demonstrou ser um parâmetro eficiente para estimar a
299 distância de forrageio a partir de equações matemáticas, e auxiliando no conhecimento
300 sobre a escala ocupada pelas abelhas, corroborando com os achados de Araújo e
301 colaboradores (2004).
302



303 **Figure 4.** Distância intertegular das abelhas em relação à distância do fragmento
304 florestal onde foram amostradas (25 m, 175 m e 325 m). Nota: pontos - média; Barras
305 de erro - intervalos de confiança em 0,95%; Linha pontilhada - intervalos de confiança
306 (IC = 0,95). Todos os parâmetros das medidas de dispersão foram estimados após 999
307 replicações (*Bootstrap*).
308

309
310 As análises demonstraram que indivíduos com maior distância intertegular
311 alcançaram distâncias mais longas de forrageio em relação às abelhas menores. Estes

312 indivíduos tendem a forragear em plantas mais próximas de seus ninhos, especialmente
313 quando há abundância de recursos florais, como em lavouras de canola (Morandin et al.,
314 2007). Nas abelhas sem ferrão, o tamanho do corpo pode atuar como fator limitante para
315 a capacidade máxima de voo, fazendo com que muitas espécies se alimentem próximas
316 ao ninho (Araújo *et al.*, 2004). Entretanto, apesar de *P. emerina* ter uma pequena
317 distância intertegular, elas foram encontradas em todas as distâncias, provavelmente por
318 voarem mais de 325m (Araújo et al., 2004).

319 Os dados sobre a distância de forrageio das abelhas são importantes para
320 entender a escala geográfica na qual as populações de abelhas respondem à paisagem
321 (Greenleaf *et al.*, 2007), bem como determinar a escala espacial em que cada abelha
322 pode fornecer o serviço de polinização (Kremen, 2005). Variações como a
323 especialização do comportamento de forrageio na busca de recursos florais específicos,
324 métodos de orientação, localização e abundância de recursos alimentares, além da
325 disponibilidade de locais de nidificação podem influenciar a escala ocupada pelas
326 abelhas (Araújo *et al.*, 2004).

327 Em determinadas regiões do sul do Brasil os apicultores levam as colmeias de
328 abelhas domésticas para lavouras de canola com intuito de estimular o desenvolvimento
329 das populações para a primavera (Blochtein *et al.*, 2015). Os abundantes recursos florais
330 da cultura fortalecem as colônias e consolidam o consórcio, iniciado a poucos anos,
331 entre agricultores e apicultores. Além disso, as abelhas nativas podem contribuir
332 fortemente para no rendimento de canola (Garibaldi *et al.*, 2013). No sul do Brasil
333 demonstramos que a diversidade de abelhas influencia positivamente a produtividade da
334 canola. Também foi possível assinalar a importância dos fragmentos florestais e das
335 lavouras de canola como locais de nidificação para as abelhas. Em ambas as situações
336 as práticas adotadas pelos agricultores são fundamentais assegurar a proteção dos

337 ninhos das abelhas, sejam esses subterrâneos ou arbóreos. Portanto, a manutenção das
338 abelhas silvestres, sociais ou solitárias, as quais contribuem para o aumento da
339 produtividade de canola, depende diretamente das práticas adotadas no meio rural, seja
340 nas lavouras ou nos fragmentos florestais.

341

342 **Agradecimentos**

343 Agradecemos aos professores Gabriel Melo e Danuncia Urban pela identificação das
344 abelhas, Daniel Guidi pela assistência de laboratório, CAPES pelas bolsas (RH:
345 13190066-4; TKG: 13190065; CFS: PNPd), CNPq pelo edital de polinizadores
346 (556635/2009-4), Global Environmental Facility (GEF), United Nations Environment
347 Programme (UNEP), Food and Agriculture Organization (FAO), Fundo Brasileiro para
348 Biodiversidade (FUNBIO), e Ministério do Meio Ambiente (MMA) pelo financiamento
349 da pesquisa.

350

351 **Referências**

352 Abrol, D.P. (2007) Honeybees and rapeseed: a pollinator-plant interaction. *Advances in*
353 *Botanical Research*, 45, 337–367.

354 Aizen, M.A. & Feinsinger, P. (1994) Habitat fragmentation, native insect pollinators,
355 and feral honey bees in argentine 'Chaco Serrano'. *Ecological Application*, 4, 378–392.

356 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. (2013)
357 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–
358 728.

359 Araujo, E.D., Costa, M., Chaud-Netto, J. & Fowler, H.G. (2004) Body size and flight
360 distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): Inference of flight range and
361 possible ecological implications. *Brazilian Journal of Biology*, 64, 563-568.

362 Bailey, S., Requier, F., Nusillard, B. & Bouget, C. (2014) Distance from forest edge
363 affects bee pollinators in oilseed rape fields. *Ecology and Evolution*, 4(4), 370–380.

364 Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015) Fitting linear mixed-effects
365 models using lme4. *Journal of Statistical Software*, page in press.

366 Becker, H.C., Damgaard, C. & Karlsson, B. (1992) Environmental variation for
367 outcrossing rate in rapeseed (*Brassica napus*). *Theoretical Applied Genetics*, 84, 303–
368 306.

- 369 Beekman, M. & Ratnieks, F.L.W. (2000) Long-range foraging by the honey-bee, *Apis*
370 *mellifera* L. *Functional Ecology*, 14, 490-496.
- 371 Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Halinski, R., Lopes, L. A. & Witter, S. (2014)
372 Comparative study of the floral biology and of the response of productivity to insect
373 visitation in two rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. *Brazilian*
374 *Journal of Biology*, 74(4), 784-794.
- 375 Blochtein, B.; Witter, S. & Halinski, R.. (2015) Plano de manejo para polinização da
376 cultura da canola. Ed. Rio de Janeiro. Fundo Brasileiro para a Biodiversidade -
377 FUNBIO, v.1. 40p.
- 378 Bommarco, R., Marini, L. & Vaissière, B.E. (2012) Insect pollination enhances seed
379 yield, quality, and market value in oilseed rape. *Oecologia*, 169(4), 1025–1032.
- 380 Bullock, S.H. (1999) Relationships among body size, wing size and mass in bees from a
381 tropical dry forest in Mexico. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 72, 426–
382 439.
- 383 Cane, J.H. (1987) Estimation of bee size using intertegular span (Apoidea). *Journal of*
384 *the Kansas Entomological Society*, 60, 145–147.
- 385 Camargo, J.M.F. (1974) Notas sobre a morfologia de *Plebeia* (*Schwarziana*)
386 *quadripunctata quadripunctata* (Hym, Apidae). *Studia Entomologica*, 17 (1-4), 433–
387 470.
- 388 Cresswell, J.E. & Osborne, J.L. (2004) The effect of patch size and separation on
389 bumblebee foraging in oilseed rape: implications for gene flow. *Journal of Applied*
390 *Ecology*, 41, 539–546.
- 391 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2016) Available from:
392 <http://www.conab.gov.br/>
- 393 Corbet, S.A., Williams, I.H., Osborne, J.L. (1991) Bees and the pollination of crops and
394 wild flowers in the European Community. *Bee World*, 72, 47–59.
- 395 D'Ávila, M.; Marchini, L.C. (2005) Pollination provided by bees in economically
396 important crops in Brazil. *Boletim da Indústria Animal*, 62, 79-90.
- 397 Dalmazo, M. & Roig-Alsina, A. (2012) Nest structure and notes on the social behavior
398 of *Augochlora amphitrite* (Schrottky) (Hymenoptera, Halictidae). *Journal of*
399 *Hymenoptera Research*, 26, 17–29.
- 400 Debinsky, D.M. & Holt, R.D. (2000) A survey and overview of habitat fragmentation
401 experiments. *Conservation Biology*, 14, 342–355.
- 402 Delaplane, K.S. & Mayer, D.F. (2000) Crop pollination by bees. New York, CABI
403 Publishing, 360p.
- 404 Drumond, P. M., Zucchi, R., Yamane, S. & Sakagami, S. F. (1996) Oviposition
405 behavior of the stingless bees XVIII. *Plebeia* (*Plebeia*) *emerina* and *P. (P.) remota* with
406 a preliminary ethological comparison of some *Plebeia* taxa (Apidae,
407 Meliponinae). *Bulletin of Faculty of Education, Ibaraki University*, 45, 31-55.
- 408 Durán, X.A., Ulloa, R.B., Carrillo, J.A., Contreras, J.L. & Bastidas, M.T. (2010)
409 Evaluation of yield component traits of honeybee-pollinated (*Apis mellifera* L.)
410 rapeseed canola (*Brassica napus* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(2),
411 309–314.

- 412 Eickwort, G.C. & Sakagami, S.F. (1979) A classification of nest architecture of bees in
413 the tribe Augochlorini (Hymenoptera: Halictidae; Halictinae), with descriptions of a
414 Brazilian nest of *Rhynocorynura inflaticeps*. *Biotropica*, 11(1), 28–38.
- 415 FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010). Available
416 from: <http://www.fao.org/biodiversity/components/pollinators/en/>
- 417 Free, J. B. (1993) Insect pollination of crops. *Academic Press*, London.
- 418 Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., *et al.* (2013) Wild pollinators
419 enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339, 1608–1611.
- 420 Giannini, T.C., Garibaldi, L.A., Acosta, A.L., Silva, J.S., Maia, K.P., Saraiva, A.M.,
421 Guimarães Jr., P.R. & Kleinert, A.M.P. (2015) Native and non-native supergeneralist
422 bee species have different effects on plant-bee networks. *PLoS ONE*, 10(9), 1 – 13.
- 423 Gonzalez, V.H. & Ospina, M. (2008) Nest structure, seasonality and host plants of
424 *Thygater aethiops* (Hymenoptera: Apidae, Eucerini) in the Andes. *Journal of*
425 *Hymenoptera Research*, 17(1), 110–115.
- 426 Greenleaf, S. S., Williams, N.M., Winfree, R. & Kremen, C. (2007) Bee foraging ranges
427 and their relationship to body size. *Oecologia*, 153, 589–596.
- 428 Halinski, R. (2013) Assembleia de abelhas e efeito da distância de remanescentes
429 florestais na produção de grãos e no valor econômico de *Brassica napus* (Hyola 420) no
430 sul do Brasil. 92p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Pontifícia
431 Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- 432 Halinski, R., Dorneles, A.L. & Blochtein, B. (2015) Bee assemblage in habitats
433 associated with *Brassica napus* L. *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 222–228.
- 434 Holzschuh, A., Dainese, M., González-Varo, J. P., Mudri-Stojnic, S., Riedinger, V.,
435 Rundlöf, M., Scheper, J., Wickens, J. B., Wickens, V. J., Bommarco, R., Kleijn, D.
436 Potts, S. G., Roberts, S. P. M., Smith, H. G., Vilà, M., Vujic, A. & Steffan-Dewenter, I.
437 (2016) Mass-flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes
438 across Europe. *Ecology Letters*, 19: 1228–1236
- 439 Jauker, F., Bondarenko, B., Becker, H.C. & Steffan-Dewenter, I. (2012) Pollination
440 efficiency of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. *Agricultural and Forest*
441 *Entomology*, 14, 81–87.
- 442 Jauker, F., Wolters, V. (2008) Hover flies are efficient pollinators of oilseed rape.
443 *Oecologia*, 156, 819–823.
- 444 Kearns, C.A., Inouye, D.W. & Waser, N.M. (1998) Endangered mutualisms: the
445 conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and*
446 *Systematics*, 29, 83–112.
- 447 Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A.,
448 Kremen C. & Tscharntke T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes
449 for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 274, 303–313.
- 450 Koh, I., Lonsdorf, E.V., Williams, N.M., Brittain, C., Isaacs, R., Gibbs, J. & Ricketts,
451 T.H. (2015) Modeling the status, trends and impacts of wild bee abundance in the
452 United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 140–145.
- 453 Kremen, C. (2005) Managing ecosystem services: what do we need to know about their
454 ecology? *Ecology Letters*, 8, 468–479.

- 455 Kremen, C., Colwell, R.K., Erwin, T.L., Murphy, D.D., Noss, R.F. & Sanjayan, M.A.
 456 (1993) Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning.
 457 *Conservation Biology*, 7, 796–808.
- 458 Kruess, A. & Tschardt, T. (1994) Habitat fragmentation, species loss, and biological
 459 control. *Science*, 264, 1581–1584.
- 460 Laroca, S. (1976) Sobre a binomia de *Bombus morio* (Hymenoptera, Apoidea). *Acta*
 461 *Biológica Paranaense*, 5, 107–127.
- 462 Lefcheck, J. S. (2015) PiecewiseSEM: Piecewise structural equation modeling in R for
 463 ecology, evolution, and systematics. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 573–579.
- 464 Lopes, L.A., Blochtein, B. & Ott, A.P. (2007) Diversidade de insetos antófilos em áreas
 465 com reflorestamento de eucalipto, Município de Triunfo, Rio Grande do Sul, Brasil.
 466 *Iheringia*, 97, 181–193.
- 467 Marjanović-Jeromela, A., Marinković, R., Mijic, A., Zdunic, Z., Ivanovska, S.,
 468 Jankulovska, M. (2008) Correlation and path analysis of quantitative traits in winter
 469 rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 73, 13–18.
- 470 McGregor, S.E. (1976) Insect pollination of cultivated crop plants. *US Department of*
 471 *Agriculture*, Washington, DC.
- 472 Michener, C.D. & Lange, R.B. (1958) Observations on the behavior of brazilian halictid
 473 bees, III. *The University of Kansas Science Bulletin*, 39(11), 473–505.
- 474 Ministério do Meio Ambiente. (2009) Biodiversidade dos campos do Planalto das
 475 Araucárias. Brasília: MMA, 240p.
- 476 Morandin, L.A. & Winston, M.L. (2005) Wild bee abundance and seed production in
 477 conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Application*, 15,
 478 871– 881.
- 479 Morandin, L. A., Winston, M. L., Abbott, V. A. & Franklin, M. T. (2007) Can
 480 pastureland increase wild bee abundance in agriculturally intense areas? *Basic and*
 481 *Applied Ecology* 8, 117–124.
- 482 Mussury, R.M. & Fernandes, W. (2000) Studies of the floral biology and reproductive
 483 system of *Brassica napus* L. (Cruciferae). *Brazilian Archives of Biology and*
 484 *Technology*, 43, 111–117.
- 485 Nieh, J.C., Barreto, L.S., Contrera, F.A.L., Imperatriz-Fonseca, V.L. (2004) Olfactory
 486 eavesdropping by a competitively foraging stingless bee, *Trigona spinipes*. *Proceedings*
 487 *of the Royal Society of London B*, 271, 1633–1640.
- 488 Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D.,
 489 Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H.,
 490 Szoecs, E. & Wagner, H. (2016) Community Ecology Package. Package ‘vegan’.
- 491 Ollerton, J., Watts S. (2012) Pollination ecology of the invasive tree tobacco *Nicotiana*
 492 *glauca*: comparisons across native and non-native ranges. *Journal of Pollination*
 493 *Ecology*, 9, 85–95.
- 494 Peet, R.K. (1974) The measurements of species diversity. *Annual Review of Ecology*
 495 *and Systematics*, 5, 285–307.

- 496 Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze,
497 T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J. & Vanbergen, A.J. (2016)
498 Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220-229.
- 499 Ricketts, T.H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C.,
500 Bogdanski, A., Gemmill-Herren, B., Greenleaf, S.S., Klein, A.-M., Mayfield, M.M.,
501 Morandin, L.A., Ochieng, A. & Viana, B.F. (2008) Landscape effects on crop
502 pollination services: are there general patterns? *Conservation Biology*, 22, 799–801.
- 503 Rosa, A.S., Blochtein, B., Ferreira, N.R., & Witter, S. (2010) *Apis mellifera*
504 (Hymenoptera: Apidae) as a potencial *Brassica napus* pollinator (cv. Hyola 432)
505 (Brassicaceae), in Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 70(4), 1075–1081.
- 506 Sabbahi, R., Oliveira, D. de, & Marceau, J. (2005) Influence of honey bee
507 (Hymenoptera: Apidae) density on the production of canola (Crucifera: Brassicaceae).
508 *Journal of Economic Entomology*, 98(2), 367–372.
- 509 Samways, M.J. (1995) Insect conservation biology. Chapman & Hall, London.
- 510 Seeley, T.D. & Morse, R.A. (1976) The nest of honey bee (*Apis mellifera* L.). *Insectes*
511 *Sociaux*, 23(4), 495–512.
- 512 Steffan-Dewenter, I. (2003) Importance of habitat area and landscape context for
513 species richness of bees and wasps in fragmented orchard meadows. *Conservation*
514 *Biology*, 17, 1036–1044.
- 515 Tuell, J.K., Ascher, J.S. & Isaacs, R. (2009) Wild bees (Hymenoptera: Apoidea:
516 Anthophila) of the Michigan highbush blueberry agroecosystem. *Annals of the*
517 *Entomological Society of America*, 102, 275–287.
- 518 Truylio, B. & Harter-Marques, B. (2007) A comunidade de abelhas (Hymenoptera,
519 Apoidea) em áreas florestais do Parque Estadual de Itapuã (Viamão, RS): diversidade,
520 abundância relativa e atividade sazonal. *Iheringia, Série. Zoologia*, 97(4), 392–399.
- 521 Vaissiere, B., Rodet, G., Cousin, M., Botella, L. & Grossa, J. (1996) Pollination
522 effectiveness of honey bee (Hymenoptera: Apidae) in a kiwifruit orchard. *Journal of*
523 *Economical Entomology*, 89, 453–461.
- 524 Veloso, H.P., Oliveira-Filho, L.D., Vaz, A.M.S.F., Lima, M.P.M., Marquete, R. &
525 Brazao, J.E.M. (1992) Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE, Rio de Janeiro.
- 526 Vicens, N. & Bosch, J. (2000) Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera*
527 (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on Red Delicious apple. *Environmental*
528 *Entomology*, 29, 235–240.
- 529 Vrdoljak, S.M. & Samways, M.J. (2012) Optimising coloured pan traps to survey
530 flower visiting insects. *Journal of Insect Conservation*, 16, 345–354.
- 531 Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts,
532 S. G., Roberts, S.P.M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B.E.,
533 Woyciechowski, M., Biesmeijer, J. C., Kunin, W.E., Settele, J. & Stefan-Dewenter, I.
534 (2008) Measuring bee diversity in different European habitats and biogeographical
535 regions. *Ecological Monographs*, 78(4), 653–671.
- 536 Wickham, H., Chang, W. 2016. Create elegant data visualisations using the grammar of
537 graphics. Package ‘ggplot2’
- 538 Williams, I., Martin, A.P. & White, R.P. (1986) The pollinations requirements of oil-
539 seed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, 106, 27-30.

- 540 Wilson, J.S., Griswold, T., & Messinger, O.J. (2008) Sampling bee communities
541 (Hymenoptera: Apiformes) in a desert landscape: are pan traps sufficient? *Journal of the*
542 *Kansas Entomology Society*, 81(3), 288-300.
- 543 Witter, S., Nunes-Silva, P., Lisboa, B.B., Tirelli, F.P., Sattler, A., Hilgert-Moreira, S.B.
544 & Blochtein, B. (2015) Stingless bees as alternative pollinators of canola. *Journal of*
545 *Economic Entomology*, 1–7.
- 546 Wright, I.R., Roberts, S.P.M. & Collins, B.E. (2015) Evidence of forage distance
547 limitations for small bees (Hymenoptera: Apidae). *European Journal of*
548 *Entomology*, 112, 303–310.

CAPÍTULO 4

Paisagem afeta diversidade de abelhas e produtividade de canola (*Brassica napus*)

Manuscrito redigido no formato *Original Research paper* do periódico *Ecological Indicators*

1 **Paisagem afeta diversidade de abelhas e produtividade de canola (*Brassica napus*)**

2 Rosana Halinski¹, Tatiana Guterres Kaehler¹, Sídia Witter², Rosane Lanzer³, Alois
3 Schaeffer³, Gisele Agra³, Cassiano Alves Marchett³, Betina Blochtein¹

4 ¹Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de
5 Entomologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida Ipiranga
6 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

7 ²Laboratório de Entomologia, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária,
8 Secretaria Estadual de Agricultura, Pecuária e Irrigação, Rua Gonçalves Dias, 570,
9 90130-061, Porto Alegre, RS, Brasil.

10 ³Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, Centro de Ciências
11 Agrárias e Biológicas, Universidade de Caxias do Sul, Rua Francisco Getúlio Vargas,
12 1130, 95070-560, Caxias do Sul, RS, Brasil

13

14 **Resumo**

15 Os visitantes florais estão expostos a diversas pressões antrópicas, entre elas a
16 intensificação do uso da paisagem com plantios agrícolas. Assim, culturas dependentes
17 de polinização por insetos, como a canola (*Brassica napus*), podem ter sua
18 produtividade afetada pela paisagem. Este estudo objetiva avaliar os principais insetos
19 visitantes da canola em três regiões ecoclimáticas, além de analisar o grau de
20 heterogeneidade das paisagens nos raios de 500, 1.000 e 2.000 metros e sua relação com
21 a produtividade da cultura. Para isso foram realizadas 24 coletas de insetos em seis
22 lavouras de canola no Sul do Brasil com o uso de pan traps. A produtividade de canola
23 foi avaliada a partir da colheita de plantas com síliquas maduras. As paisagens foram
24 classificadas nas categorias de Seminatural, Mata, Agricultura e Água e correlacionadas
25 com abundância e riqueza de insetos. Ao total foram capturados 4.257 insetos, sendo
26 46% pertencentes à Diptera, seguido de 37% correspondente à Hymenoptera (21,6%
27 vespas e 15,5% abelhas) e de 25,9% outros insetos. As abelhas, por serem
28 reconhecidamente os principais polinizadores da cultura, foram identificadas em nível
29 específico resultando em 39 espécies. Foi observado que as áreas seminaturais tiveram
30 correlação positiva com a riqueza de abelhas sociais nativas, possivelmente pela
31 adaptação das espécies a espaços abertos e pequenos fragmentos florestais. Já na
32 categoria de Mata, pode-se observar que há correlação negativa no raio de 1.000 metros
33 com a abundância de abelhas subsociais ou solitárias, possivelmente atribuído ao hábito
34 de nidificação destas, que é predominantemente subterrâneo. Em consonância, na
35 categoria de Agricultura, a paisagem agrícola no raio de 1.000 metros foi correlacionada
36 positivamente com a abundância da mesma guilda, fato atribuído a nidificação no
37 interior das lavouras. Também foi encontrado correlação significativa entre a categoria
38 Água e abundância de Coleoptera, Lepidoptera e abelhas sociais nativas, possivelmente
39 atribuído a utilização do recurso no estágio larval dos besouros, na evapotranspiração
40 pelas borboletas e na utilização para metabolismo, regulação de temperatura no interior
41 da colmeia, diluição de néctar e para secreções glandulares em abelhas. A produtividade

42 média de canola em Guarani das Missões (10 g/planta) foi maior quando comparada à
43 Estrela e Esmeralda (7 g/planta). Para explicar este fato consideramos dois possíveis
44 fatores: 1) a abundância de polinizadores nas diferentes paisagens, onde Guarani das
45 Missões apresentou a maior quantidade de espécies de abelhas sociais, as quais
46 apresentam comportamento de recrutamento, favorecendo o serviço de polinização e 2)
47 o grau de dependência de agentes polinizadores pelas cultivares, pois Hyola 61 é 30%
48 dependente de insetos, enquanto que a Hyola 420 é somente 17%. Portanto, a
49 composição de insetos polinizadores nos agroecossistemas com canola responde a
50 fatores ecológicos e históricos de cada região, os quais estão relacionados com a
51 qualidade dos habitats para as espécies e consequentemente com a produtividade de
52 grãos.

53
54 **Palavras-chave:** Abelhas sem ferrão, Abelhas solitárias, Bioma Mata Atlântica,
55 Agroecossistema, Diptera

56

57 **1. Introdução**

58

59 O serviço de polinização realizado pelos insetos é fundamental para diversas
60 culturas agrícolas (Klein et al., 2007, Lautenbach et al., 2012; Smith et al., 2015). A
61 maioria dos cultivos beneficia-se do rendimento econômico proveniente da polinização
62 (Klatt et al., 2016), além da qualidade dos produtos como aparência, conteúdo
63 nutricional e prazo de validade (Klatt et al., 2014). Os polinizadores estão expostos a
64 diversas pressões, entre elas a intensificação da paisagem em plantios agrícolas, uso de
65 inseticidas e extrativismo florestal (Chagnon et al., 2015; Goulson et al., 2015; Stanley
66 et al., 2015).

67 Entre os principais polinizadores agrícolas destacam-se as abelhas, as quais estão
68 sofrendo declínio de suas populações, especialmente *Apis mellifera*, a qual é eficiente
69 polinizadora de diversas culturas (e.g., Free 1993; Potts et al., 2016). Atualmente
70 reconhece-se a importância de algumas espécies de abelhas nativas sem ferrão para
71 polinização de diversas culturas, como maçã (Nunes-Silva et al., 2016), morango
72 (Antunes et al. 2007, Witter et al. 2012), berinjela (Venturieri et al., 2009; Nunes-Silva,
73 2011), tomate (Pires, 2009) e canola (Witter et al., 2015).

74 A canola (*Brassica napus*) é comercializada principalmente para produção de
75 óleo de cozinha, ração animal e biocombustível (Marjanovic-Jeromela et al., 2008) e
76 ocupa a terceira posição das oleaginosas mais cultivadas no mundo (USDA, 2016). Esta
77 planta é considerada autofértil, embora diversos estudos apontem que a polinização
78 cruzada por insetos eleva a produção de sementes (Free 1993; Delaplane and Mayer
79 2000; Morandin and Winston 2005; Sabbahi et al. 2005; Jauker and Wolters 2008;
80 Jauker et al. 2012). Entre os insetos polinizadores, *Apis mellifera* é considerada a
81 principal e mais abundante na cultura (Halinski et al., 2015), embora estudos apontem
82 espécies de abelhas sem ferrão e outros insetos como eficientes polinizadoras
83 (Morandin & Winston, 2004; Jauker et al., 2011; Witter et al., 2015).

84 O Brasil é um berço agrícola mundial, porém quanto à canola ainda está em fase
85 de estabelecimento da cultura, inclusive quanto a práticas de manejo de insetos
86 polinizadores para aumento da produtividade da cultura, seja na polinização dirigida ou
87 considerando as paisagens e os serviços dos polinizadores silvestres. Portanto, nós
88 identificamos os principais insetos visitantes de canola em três regiões ecoclimáticas e
89 analisamos os graus de heterogeneidade das paisagens em quatro categorias
90 (Semnatural, Mata, Água e Agricultura - em raios de 500, 1.000 e 2.000 metros) que
91 compõem o agroecossistema no Sul do Brasil. Além disso, avaliamos a produtividade
92 de grãos de canola nas regiões estudadas.

93

94 **2. Material e Métodos**

95 **2.1 Área de estudo**

96 O estudo foi conduzido em seis lavouras do agroecossistema de canola (*B.*
97 *napus*) em três regiões ecoclimáticas diferentes no Estado do Rio Grande do Sul (RS),
98 Brasil, nos municípios de Esmeralda (28°03'13" S e 51°11'25" W - cultivar Hyola 420),

99 Estrela (29° 30' 07"S e 51° 57' 57" W) e Guarani das Missões (28°08'27''S e
100 54°33'29''W) (ambas com cultivar Hyola 61), sendo duas lavouras por município.
101 Todas as regiões são caracterizadas pela presença de áreas de pastagem, fragmentos
102 florestais e culturas agrícolas anuais (canola, soja, milho e trigo) (Maluf & Caiaffo,
103 2001). De acordo com a classificação de Köppen a área de estudo é considera
104 temperada úmida (Alvares *et al.*, 2013). O município de Esmeralda (ESM) está
105 localizado na região ecoclimática do Planalto Superior Serra do Nordeste, possui
106 temperatura média anual entre 14,4 a 16,8°C, umidade relativa entre 76% a 83%,
107 precipitação anual de 1,412 a 2,162 mm, altitude de 944 m (Veloso *et al.*, 1992) e
108 vegetação original composta por Floresta Ombrófila Mista e Campos de Altitude
109 (Ministério do Meio Ambiente, 2009). Guarani das Missões (GUA) localiza-se no
110 noroeste do RS, pertencendo a região ecoclimática missioneira com temperaturas entre
111 18,8 a 19,6 °C, umidade relativa de 73% a 76%, altitude entre 175 a 425m e vegetação
112 predominante de campos, manchas de florestas (capões) e floresta subtropical (IBDF,
113 1983; IBGE, 1992; Maluf and Caiaffo, 2001). Já Estrela (EST) está localizada na
114 mesorregião do Centro Oriental Rio-Grandense e pertence a Encosta Nordeste Inferior
115 com temperatura média de 19,3 °C, umidade relativa de 75%, precipitação anual de
116 1,547 mm, altitude de 52 m e predominância de floresta subtropical (IBDF, 1983;
117 IBGE, 1992; Maluf & Caiaffo, 2001).

118

119 **2.2 Delineamento experimental**

120 Em cada área, a diversidade de abelhas foi amostrada utilizando-se 30 pan traps
121 nas cores ultravioletas azul, amarelo e branco, os quais permaneceram expostos por 24
122 horas por coleta (adaptado de Westphal *et al.*, 2008). Os pan traps foram colocados no
123 interior das lavouras sobre suportes reguláveis que acompanhavam a altura da canola

124 em 2 arranjos de 15 potes, sendo estes formados por cinco triângulos equiláteros de 3 m
125 distando 15 m entre os mesmos (adaptado de FAO, 2010). Foram realizadas 4 coletas
126 por lavoura no ano de 2010, totalizando 24 coletas. O método *pan trap* é eficiente em
127 coleta de insetos, especialmente por remover o viés do coletor (Vrdoljak & Samways
128 2012). Não foi registrado apiários próximos as lavouras de canola estudadas.

129 Os insetos coletados foram agrupados nas seguintes ordens: Hymenoptera
130 (abelhas e vespas), Diptera, Coleoptera, Lepidoptera e Outras Ordens. Devido a
131 importância das abelhas na polinização estas foram categorizadas em três guildas:
132 abelha social exótica, abelhas sociais nativas, abelhas subsociais ou solitárias. Todos os
133 insetos coletados foram depositados nas coleções científicas do Museu de Ciências e
134 Tecnologia da PUCRS. As abelhas foram identificadas em nível específico, enquanto
135 que as demais ordens foram apenas contabilizadas a abundância total de adultos para
136 comparação com a paisagem.

137

138 **2.3 Análise de produtividade**

139 A fim de avaliar a produção de síliquas e sementes com livre visitação de insetos no
140 interior das áreas com canola foram colhidas 20 plantas (após a maturação das síliquas)
141 por lavoura, distantes entre si em 1,5 m, na mesma área onde foram dispostos os pan
142 traps. Estas plantas foram mantidas em freezer a -10° C até a realização da contagem de
143 síliquas formadas e de abortos, assim podendo contabilizar o número de flores por
144 planta. As síliquas foram debulhadas separadamente e secadas em estufa (40° C). Após,
145 o número de sementes por planta foi contabilizado manualmente por meio de um
146 contador de sementes à vácuo (ERICKSEN De Leo). A média do peso total das
147 sementes por planta foi obtida através do somatório do peso individual das sementes de
148 cada planta pelo N total de plantas, com o auxílio da balança analítica (AUY200).

149 **2.4 Análise da Paisagem**

150 Foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM 5, disponibilizadas pelo
151 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estas foram georreferenciadas e
152 processadas através do programa Environment for Visualising Images (ENVI®) versão
153 4.8. Os mapas foram classificados utilizando-se o programa ArcGIS® com as camadas
154 disponíveis em Hasenack & Weber (2007) e a nomenclatura das atividades humanas do
155 programa Coordination of Information on the Environment (CORINE) (Heymann et al.
156 1994). Foi considerado o nível 1 CORINE para detectar e avaliar déficits de polinização
157 em culturas agrícolas (Vaissière et al. 2011) com as seguintes categorias (Seminatural,
158 Mata, Agricultura e Água). Devido a rotação de culturas ao longo do ano os solos
159 expostos e diferentes áreas de cultivo foram categorizados como área agrícola. A análise
160 do uso do solo compreendeu 3 raios a partir dos locais com os pan traps: 500 m, 1000 m
161 e 2000 m em todas as áreas. Além disso, foi calculado o percentual relativo de cada
162 categoria de paisagem considerando a área de estudo total por lavoura.

163

164 **2.5 Análise estatística**

165 A fim de relacionar as categorias de paisagem com a abundância e riqueza dos
166 insetos capturados foi realizado o teste de correlação de Spearman, considerando $\rho=0,05$
167 no Programa SPSS versão 24 (IBM SPSS Statistics Base 24, 2016). Também foi
168 utilizado o índice de diversidade de Shannon para comparar as lavouras em cada
169 município nos raios de 500, 1000 e 2000m. Além disso, foi realizado um teste pareado
170 entre as guildas de abelhas e as categorias de paisagem nos diferentes raios com o teste
171 de Wilcoxon ($p<0,05$) a fim de verificar diferenças dentro do mesmo grupo, seja de
172 guildas de abelhas ou das categorias de paisagem executado no mesmo programa
173 estatístico. Para verificar se há diferença na produtividade nos três municípios foi

174 realizado os testes de Kruskal-Wallis com o pacote “stats” e o teste de Dunn’s com
175 ajuste de bonferroni do pacote “PMCMR” e mostrado graficamente com boxplot com a
176 função de mesmo nome no pacote “graphics” do Programa R (R Core Team, 2016).

177

178 **3. Resultados e discussão**

179 Foram coletados 4.257 insetos no agroecossistema da canola, sendo 46%
180 pertencente a Diptera, seguido de 37% Hymenoptera (21,6% vespa e 15,5% abelhas),
181 7,7% Coleoptera, 4,2% Lepidoptera e 4,3% Outras Ordens (Tabela 1). A composição de
182 insetos visitantes registrada neste estudo foi, provavelmente, influenciada pela
183 atratividade das flores de canola, além da abundância de néctar e pólen da cultura. A
184 floração massiva de canola influencia o crescimento populacional e densidade de
185 insetos, compensando a limitação de recursos alimentares em paisagens agrícolas
186 (Westphal et al. 2003; Westphal et al., 2009). Em acréscimo, Westphal et al. (2003)
187 apontam que os recursos provenientes da canola são importantes para manutenção de
188 serviços de polinização no agroecossistema da cultura. No entanto, sabe-se que
189 paisagens agrícolas possuem uma estrutura de habitats pobre e não provêm todos os
190 recursos necessários à sobrevivência dos polinizadores, isto é, alimento e locais de
191 nidificação (Heard, 1999; Stoate et al. 2001). Em decorrência disto, muitas espécies de
192 polinizadores estão desaparecendo do agroecossistema devido ao intenso uso do solo
193 (Billeter et al. 2008; Flynn et al. 2009).

194 Tabela 1 – Abundância e riqueza de insetos em seis lavouras de canola pertencentes aos
 195 municípios de Guarani das Missões (GUA), Esmeralda (ESM) e Estrela (EST), RS,
 196 Brasil, durante o período de floração em de 2010. L1 = Lavoura 1; L2 = Lavoura 2;
 197 ASS = Abelha subsocial ou solitária; ASN = Abelha social nativa; ASE = Abelha social
 198 exótica; V = Vespa; D = Diptera; C = Coleoptera; L = Lepidoptera e OO = Outras
 199 Ordens.
 200

	Abundância								Riqueza		
	ASS	ASN	ASE	V	D	C	L	OO	ASS	ASN	ASE
GUA (L1)	34	11	53	29	286	102	4	41	11	2	1
GUA (L2)	25	3	57	29	242	97	7	43	5	2	1
ESM (L1)	8	7	31	24	120	3	44	19	7	2	1
ESM (L2)	12	12	60	27	215	14	69	30	4	3	1
EST (L1)	7	12	176	587	387	83	26	36	2	4	1
EST (L2)	3	8	144	227	723	33	32	15	1	2	1

201

202 Diversos estudos apontam que a alteração e perda de áreas naturais acarreta em
 203 decréscimo na produtividade agrícola de diversas culturas (Manzoorulhaq-Rafieuldin e
 204 Ghaffar 1978; Bhatia et al. 1995; Moreti et al. 1996; Vaissiere et al. 1996; Ish-Am e
 205 Eisikowitch 1998; Vicens and Bosch 2000). Além disso, a redução de áreas
 206 seminaturais leva a homogeneidade da paisagem agrícola influenciando negativamente
 207 a população de polinizadores do entorno (Kremen, Williams & Thorp 2002; Schweiger
 208 et al., 2005). As consequências da perda de polinizadores podem ser atribuídas a
 209 diferentes efeitos da área como isolamento (Davis 1978; Soule´ et al. 1988; Denys &
 210 Schmidt 1998; Fernández-Juricic 2000), distância de ambientes naturais (Davis 1982) e
 211 acréscimo de diversos fatores abióticos e antropogênicos como a poluição (Davis, 1982;
 212 Gilbert 1989; Klausnitzer 1993).

213 Nas seis lavouras estudadas foram identificadas 39 espécies de abelhas (Tabela
 214 2). O município que apresentou a menor riqueza de espécies de abelhas foi Guarani das
 215 Missões, com 8 espécies na lavoura 1 e 11 na lavoura 2. Este resultado, relativamente
 216 inferior aos demais municípios, é atribuído possivelmente às condições de conservação
 217 deste ambiente, pois a paisagem é homogênea e há predomínio de agricultura (Witter et

218 al., 2014). O município de Estrela teve o maior número de espécies encontradas na
219 lavoura 1 (15 spp.), seguida da lavoura 1 de Esmeralda (14 spp.) (Tabela 2). Estrela tem
220 uma mistura de paisagem agrícola e urbana, onde há presença de fragmentos florestais e
221 muitos jardins verdes, fornecendo substratos de nidificação e recursos alimentares aos
222 polinizadores (Zapparoli, 1997). Tal fato pode ser atribuído a conectividade dos
223 habitats, conforme preconizado na literatura, em que os insetos se beneficiam da
224 qualidade das áreas adjacentes às lavouras (Kennedy et al. 2013).

225 Em Esmeralda foram coletadas 11 espécies exclusivas, enquanto que em Estrela
226 foram 5 e Guarani das Missões 4. Esta diferença de espécies provavelmente está
227 associada a elevada altitude de Esmeralda em comparação com os outros municípios,
228 pois esta apresenta espécies adaptadas a altas altitudes e baixas temperaturas, tal como
229 *Bombus pauloensis*, que possui um tamanho corporal robusto e suporta maior
230 intensidade de vento (Heinrich, 1979). Além disso, a presença de espécies de Halictidae
231 em Esmeralda também está associada a estas características, a exemplo de
232 *Pseudagapostemon* spp., corroborando com Cure (1989) também no Estado do Rio
233 Grande do Sul.

234 A maior representatividade de Diptera foi em Estrela, com 723 indivíduos na
235 lavoura 2 e 387 na lavoura 1 (Tabela 1). Também para vespas as mesmas lavouras
236 foram as mais representativas, com elevada abundância. Dentre os municípios
237 amostrados, Estrela é o mais urbanizado, fato que pode ter causado essa diferença na
238 composição de insetos presentes nas áreas (Smith et al., 2004). Larson et al. (2001)
239 apontam os dípteros como a segunda guilda de polinizadores mais importantes. Estudo
240 de Jauker et al. (2011) avaliou que embora a taxa de frutificação proporcionada pelas
241 abelhas e pelas moscas tenham pequenas diferenças (22% e 19%, respectivamente), o
242 rendimento é consideravelmente mais alto com abelhas (89 g) do que com moscas (49

243 g). Tal fato pode ser atribuído ao maior tempo de permanência nas flores pelas moscas e
244 pela ausência de estruturas especializadas na coleta de pólen (Jauker et al., 2011).

245 Em Estrela, a urbanização pode ter contribuído para reduzir a riqueza de
246 espécies nativas e elevar a abundância de *A. mellifera*, espécie exótica (Denys and
247 Schmidt 1998; Roy et al. 1999; Germaine and Wakeling 2001; Davis and Glick 1978;
248 Klausnitzer 1993; Davis 1978, 1982; Gilbert 1989; Klausnitzer 1993; Sukopp et
249 al.1979). Destaca-se que *A. mellifera* foi encontrada em todas as lavouras analisadas,
250 proveniente de colmeias silvestres, ou de apiários distantes, pois em nenhuma das
251 lavouras estudadas havia apiário próximo.

252 Quanto à ocorrência de abelhas, dentre as espécies nativas *Thygater mourei* foi
253 amostrada em 5 lavouras, seguida de *Trigona spinipes* presente em 4 lavouras. Ambas
254 as espécies apresentam ampla distribuição no Estado, possivelmente favorecendo a sua
255 captura, inclusive em áreas agrícolas (Wittman & Hoffman, 1990). Além disso, destaca-
256 se que *T. spinipes* é reconhecida como uma espécie supergeneralista e importante
257 polinizadora de diversas culturas agrícolas (Giannini et al., 2015).

258 Neste trabalho Halictidae foi predominante em todas as regiões, possivelmente
259 devido a ampla distribuição geográfica das espécies encontradas e associação a
260 paisagens abertas (Barbola e Laroça, 1993). Cane et al. (2000) também salientam que o
261 método de *pan trap* favorece a captura desta família em relação a Apidae e
262 Megachilidae.

263

264 Tabela 2 – Lista de espécies de abelhas presentes no agroecossistema de canola nos
 265 municípios de Guarani das Missões (GUA), Esmeralda (ESM), Estrela (EST) nas
 266 lavouras 1 (L1) e lavoura 2 (L2) dos respectivos municípios.
 267

Taxon	GUA (L1)	GUA (L2)	ESM (L1)	ESM (L2)	EST (L1)	EST (L2)
Andrenidae						
<i>Anthrenoides eloi</i> Urban, 2008	1	0	0	0	15	0
<i>Anthrenoides ornatus</i> Urban, 2005	0	1	0	0	1	0
<i>Anthrenoides petuniae</i> Urban, 2005	1	0	0	0	1	0
<i>Anthrenoides</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Callonychium petuniae</i> Cure & Wittmann, 1990	0	0	0	0	7	13
<i>Rhophitulus reticulatus</i> (Schlindwein & Moure, 1998)	0	0	0	0	1	0
<i>Rhophitulus</i> sp.	0	0	1	0	0	0
Apidae						
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	176	144	56	88	84	77
<i>Bombus pauloensis</i> Friese, 1913	0	0	1	0	0	0
<i>Exomalopsis perikalles</i> Silveira & Almeida, 2009	0	0	0	0	2	0
<i>Hexanthes missionica</i> Ogloblin, 1948	0	0	0	0	3	0
<i>Mourella caerulea</i> (Friese, 1900)	0	0	2	5	0	0
<i>Plebeia emerina</i> (Friese, 1900)	0	0	0	0	10	1
<i>Plebeia nigriceps</i> (Friese, 1901)	1	0	0	0	0	0
<i>Scaptotrigona bipunctata</i> (Lepeletier, 1836)	0	1	7	8	0	0
<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier, 1836)	3	0	0	0	0	0
<i>Tetragonisca friebrigi</i> (Schwarz, 1938)	1	0	0	0	1	0
<i>Thygater mourei</i> Urban, 1961	0	1	3	10	6	10
<i>Thygater</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	7	7	0	1	0	2
Halictidae						
<i>Augochlora cf. francisca</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Augochlorella</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Augochloropsis melanochaeta</i> Moure, 1950	0	1	0	0	0	1
<i>Augochloropsis cf. cupreola</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Augochloropsis</i> sp.	1	0	0	0	1	0
<i>Dialictus pabulator</i> (Schrottky, 1910)	0	0	0	4	0	0
<i>Dialictus</i> sp.1	0	0	0	0	0	1
<i>Dialictus</i> sp.2	0	0	0	0	1	0
<i>Dialictus</i> sp.3	0	0	2	0	0	0
<i>Dialictus</i> sp.4	0	0	1	0	0	1
<i>Dialictus</i> sp.5	0	1	0	0	0	0
<i>Dialictus</i> sp.6	0	1	0	0	0	0
<i>Paroxystoglossa cf. brachycera</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Pseudagapostemon olivaceosplendens</i> (Strand, 1910)	0	0	0	0	1	1
<i>Pseudagapostemon pruinosus</i> Moure & Sakagami, 1984	0	0	1	5	0	5
<i>Pseudagapostemon tessellatus</i> Cure, 1989	0	1	6	2	20	54
<i>Pseudagapostemon</i> sp.1	0	0	0	0	0	1
<i>Pseudagapostemon</i> sp.2	0	0	1	0	0	0
<i>Pseudagapostemon</i> sp.3	0	0	0	1	0	0

268

269 Ao analisar a paisagem em relação a abundância e riqueza de insetos, observou-
270 se que na categoria de áreas seminaturais obteve-se correlação positiva somente com a
271 riqueza de abelhas sociais nativas ($r = 0,845$; $p = 0,034$; Tabela 3). Tal fato pode ser
272 atribuído a adaptação das espécies a espaços abertos e fragmentos florestais (Klemm,
273 1996, Tschardt et al., 2002). Ao avaliarmos as áreas seminaturais nos diferentes raios,
274 foi encontrada correlação positiva no raio de 2.000 metros para esta categoria com
275 relação a abundância de Lepidoptera ($r = 0,886$; $p = 0,042$) e correlação negativa quanto
276 à abundância de outros ordens de insetos ($r = -0,829$; $p = 0,019$; Tabela 3). Nas áreas
277 seminaturais a abundância e riqueza de insetos deve-se, possivelmente, aos distúrbios
278 nesse hábitat que modificam as interações inseto-planta (Morales e Aizen, 2002). Além
279 disso, a composição de insetos ocorre em virtude dos fatores ecológicos e históricos de
280 cada região, relacionando-se com a qualidade do habitat e recursos alimentares para as
281 espécies (Strong et al., 1984; Cornell, 1985).

282 Já na categoria de Mata em relação a abundância de insetos, os resultados
283 demonstram que há correlação negativa no raio de 1.000 metros com relação a
284 abundância da guilda de abelhas subsociais ou solitárias ($r = -0,886$; $p = 0,019$; Tabela
285 3). Este resultado pode ser atribuído ao hábito de nidificação dessas abelhas,
286 predominantemente subterrâneo (Cane, 1991) e comum em áreas com vegetação
287 rasteira ou solo descoberto.

288 Na categoria de Agricultura, a paisagem agrícola no raio de 1.000 metros foi
289 correlacionada com a abundância de abelhas subsociais ou solitárias ($r = 0,829$; p
290 $= 0,042$), fato atribuído a nidificação no interior das lavouras (Eickwort e Sakagami,
291 1979, Dalmazo e Roig-Alsina, 2012). Em acréscimo, o sistema de plantio direto
292 adotado no agroecossistema de canola facilita a permanência de espécies no solo
293 (Morandin et al., 2007).

294 Em relação a categoria Água, a abundância de Coleoptera teve correlação
295 negativa ($r = -0,886$; $p = 0,019$), enquanto que Lepidoptera foi positiva ($r = 0,943$; $p =$
296 $0,005$). No que diz respeito aos coleópteros, este resultado está associado,
297 possivelmente, a predominância de espécies de besouros terrestres, que somente
298 utilizam a água no estágio larval (Mellanby e French, 1958). Em relação ao impacto
299 positivo na abundância de Lepidoptera, estudo de Hawkins e Porter (2003) aponta que o
300 balanço energético de água (ou evapotranspiração) explica 79% da riqueza de espécies
301 de borboletas na Europa e África, corroborando com o resultado encontrado para o
302 agroecossistema de canola. A categoria Água avaliada no raio de 1000 metros também
303 foi correlacionada com a abundância das abelhas sociais nativas ($r = 0,971$; $p = 0,001$).
304 Sabe-se que as abelhas necessitam de água para o seu metabolismo, regulação de
305 temperatura no interior da colmeia, diluição de néctar e para secreções glandulares
306 (Park, 1946; Lindauer 1954). Estudos em apiários mostram que a distância da fonte de
307 água até o ninho não deve ser maior que 500 metros, pois assim reduz o gasto
308 energético das abelhas, sendo que se estima que uma colmeia de *A. mellifera* necessita
309 de 120 kg de néctar, 20kg de pólen e 25 litros de água para suprir suas necessidades
310 durante um ano (Seeley, 1995).

311 Tabela 3 - Correlações das categorias de paisagem (Seminatural - SN, Mata, Água e Agricultura - Agric) nos raios de 500, 1.000 e 2.000 metros
 312 e do percentual relativo de cada categoria com a abundância e riqueza de insetos. Ab = Abundância; Riq = Riqueza; Abelhas subs/solitárias =
 313 Abelhas subsociais ou solitárias. Números em negrito indicam correlação significativa considerando $p < 0,05$.
 314

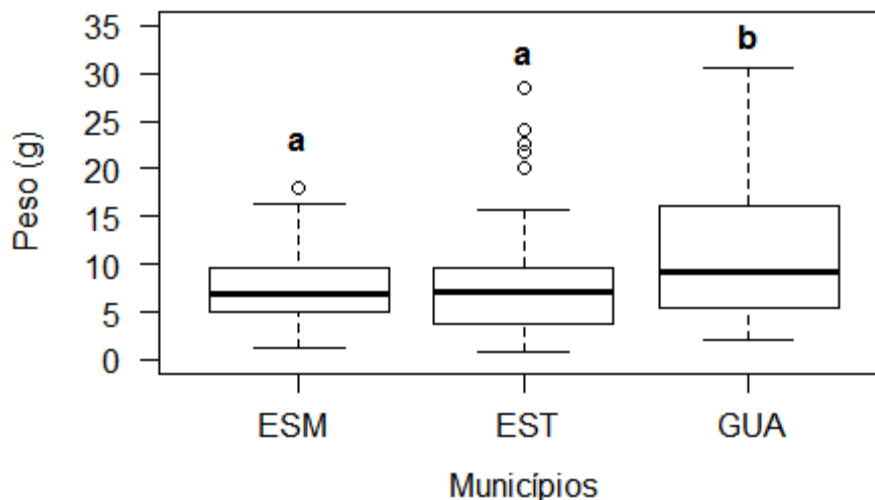
	SN (%)		Mata (%)		Água (%)		Agric (%)		SN 500		Mata 500		Água 500		Agric 500	
	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p
Ab abelhas subs/ solitárias	-0,543	0,266	0,086	0,872	-0,429	0,397	0,600	0,208	-0,091	0,864	-0,371	0,468	0,169	0,749	0,371	0,468
Ab abelhas sociais nativas	0,754	0,084	0,145	0,784	0,406	0,425	-0,551	0,257	0,062	0,908	0,000	1,000	0,034	0,949	0,000	1,000
Ab abelha social exótica	0,486	0,329	-0,143	0,787	0,029	0,957	-0,314	0,544	-0,334	0,518	0,200	0,704	-0,101	0,848	-0,200	0,704
Ab vespa	0,116	0,827	0,058	0,913	-0,464	0,354	-0,058	0,913	-0,154	0,771	0,058	0,913	0,257	0,623	-0,058	0,913
Ab Diptera	-0,029	0,957	-0,200	0,704	-0,371	0,468	0,086	0,872	-0,273	0,600	-0,257	0,623	0,541	0,268	0,257	0,623
Ab Coleoptera	-0,543	0,266	0,086	0,872	-0,886	0,019	0,600	0,208	-0,213	0,686	-0,371	0,468	0,507	0,305	0,371	0,468
Ab Lepidoptera	0,600	0,208	-0,257	0,623	0,943	0,005	-0,543	0,266	-0,03	0,954	0,257	0,623	-0,507	0,305	-0,257	0,623
Ab outros insetos	-0,429	0,397	0,314	0,544	-0,771	0,072	0,486	0,329	-0,091	0,864	0,029	0,957	-0,068	0,899	-0,029	0,957
Riq abelhas subs/solitárias	-0,429	0,397	0,371	0,468	-0,257	0,623	0,314	0,544	0,395	0,439	-0,200	0,704	0,169	0,749	0,200	0,704
Riq abelhas sociais nativas	0,845	0,034	0,338	0,512	0,304	0,558	-0,676	0,140	0,108	0,839	0,507	0,305	-0,480	0,335	-0,507	0,305

315 Tabela 3 (Continuação)
 316
 317
 318

	SN 1000		Mata 1000		Água 1000		Agric 1000		SN 2000		Mata 2000		Água 2000		Agric 2000	
	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p	R	p
Ab abelhas subs/ solitárias	-0,600	0,208	-0,886	0,019	-0,145	0,784	0,829	0,042	-0,371	0,468	-0,714	0,111	-0,200	0,704	0,771	0,072
Ab abelhas sociais nativas	0,551	0,257	0,029	0,957	0,971	0,001	-0,232	0,658	0,551	0,257	0,116	0,827	-0,058	0,913	-0,406	0,425
Ab abelha social exótica	0,314	0,544	0,600	0,208	0,667	0,148	-0,429	0,397	0,086	0,872	0,429	0,397	-0,086	0,872	-0,371	0,468
Ab vespa	0,058	0,913	0,551	0,257	0,485	0,329	-0,232	0,658	-0,406	0,425	0,638	0,173	-0,522	0,288	-0,232	0,658
Ab Diptera	-0,086	0,872	0,429	0,397	0,377	0,461	-0,086	0,872	-0,429	0,397	0,600	0,208	-0,314	0,544	-0,143	0,787
Ab Coleoptera	-0,600	0,208	-0,314	0,544	0,145	0,784	0,600	0,208	-0,829	0,042	-0,029	0,957	-0,657	0,156	0,543	0,266
Ab Lepidoptera	0,543	0,266	0,200	0,704	0,058	0,913	-0,486	0,329	0,886	0,019	-0,143	0,787	0,771	0,072	-0,429	0,397
Ab outros insetos	-0,486	0,329	-0,429	0,397	0,029	0,957	0,543	0,266	-0,600	0,208	-0,371	0,468	-0,600	0,208	0,600	0,208
Riq abelhas subs/solitárias	-0,314	0,544	-0,714	0,111	-0,348	0,499	0,543	0,266	-0,200	0,704	-0,429	0,397	-0,257	0,623	0,429	0,397
Riq abelhas sociais nativas	0,676	0,140	0,338	0,512	0,857	0,029	-0,507	0,305	0,541	0,268	0,169	0,749	-0,169	0,749	-0,507	0,305

320 Comparando-se a produtividade de grãos de canola nos três municípios estudados
321 verificou-se que as lavouras mais produtivas foram em Guarani das Missões com
322 aproximadamente 10 g de grãos por planta comparado a Estrela e Esmeralda com 7 g
323 (Figura 1). Embora a cultivar plantada em Guarani tenha sido a mesma de Estrela a
324 produtividade nos dois municípios diferiu significativamente no peso das sementes. Para
325 explicar este fato detectamos dois possíveis fatores: 1) a abundância de polinizadores nas
326 diferentes paisagens e 2) o grau de dependência de insetos polinizadores pelas cultivares.
327 Embora em Guarani das Missões não tenha sido registrada a maior diversidade de espécies,
328 esta apresentou a maior riqueza de espécies sociais. Estas abelhas apresentam
329 comportamento de recrutamento e tem elevada abundância de indivíduos, especialmente na
330 canola, onde tem alimento disponível em alta quantidade, favorecendo o serviço de
331 polinização cruzada. Quanto ao grau de dependência, estudo realizado por Blochtein et al.
332 (2014), demonstraram que a cultivar Hyola 61 foi dependente de insetos em 30% nos testes
333 de livre visita, enquanto que Hyola 420 foi somente 17%. Aliado a este fator, está a
334 biologia floral das cultivares, pois o período de antese apresentado pela Hyola 61 é três
335 vezes maior que a Hyola 420 (12 h) (Blochtein et al., 2014). Tal fato influencia na
336 receptividade estigmática das flores e da ação dos polinizadores, pois quanto menor o
337 período de antese maior a probabilidade de ocorrer adversidades que interferem nas
338 atividades de voo dos insetos, podendo diminuir a produção de grãos. Estudo realizado no
339 município de Esmeralda, com lavouras de *B. napus* cultivar Hyola 420, mostrou que não
340 houve diferença significativa entre autogamia e livre visita no peso das sementes, enquanto
341 que Estrela e Guarani, com a cultivar Hyola 61, houve diferença significativa no peso de
342 grãos com e sem acesso de insetos (Blochtein et al., 2014). Possivelmente este fato está
343 relacionado à parcela de autofertilidade da planta associada ao curto período de

344 receptividade da cultivar, o qual pode ter sido limitante para o acesso de insetos (Blochtein
345 et al., 2014).



346

347 Figura 1 – Peso médio das sementes de canola produzidas por planta nos municípios de
348 Esmeralda (ESM) com *Brassica napus* Hyola 420 e Estrela (EST) e Guarani das Missões
349 (GUA) com *B. napus* Hyola 61. As letras a e b mostram diferença significativa do teste de
350 Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

351

352 Portanto, a composição de insetos visitantes florais no agroecossistema da canola
353 responde aos fatores ecológicos e históricos em cada região, relacionando-se com a
354 qualidade dos habitats para as espécies e, conseqüentemente, com a produtividade de grãos.
355 Além disso, estudos futuros sobre os insetos polinizadores presentes em jardins verdes de
356 áreas urbanas adjacentes as lavouras de canola poderão contribuir para a conservação da
357 fauna silvestre e para o aumento da conectividade entre os ecossistemas.

358

359 4. Referências

360 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013.
361 Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Z. 22, 711–728.

- 362 Antunes, O.T., Calvete, E.O., Rocha, H.C., Cechetti, D., Maran, R.E., Riva, E., Wesp, C.L.,
363 Mariane, F., 2007. Produção de cultivares de morangueiro polinizados pela abelha jataí em
364 ambiente protegido. Horticult. Bras. 25, 94-99.
- 365 Barbola, I.F. & Laroca, S., 1993. A comunidade de Apoidea (Hymenoptera) da Reserva
366 Passa Dois (Lapa, Paraná, Brasil): I. Diversidade, abundância relativa e atividade sazonal.
367 Acta Biol. Parana. 22, 91-113.
- 368 Bhatia, R., Gupta, D., Chandel, J.S., Sharma, N.K., 1995. Relative abundance of insect
369 visitors on flowers of major subtropical fruits in Himachal Pradesh and their effect on fruit
370 set. Indian J. Agr. Sci. 65, 907–912.
- 371 Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry,
372 J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., DeBlust, G., De Cock, R., Diekoetter, T., Dietz, H.,
373 Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog,
374 F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., LeCoeur, D., Maelfait, J.P., Opdam, P., Roubalova,
375 M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M.J.M.,
376 Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., vanWingerden, W., Zobel, M., Edwards, P.J.,
377 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. J. Appl.
378 Ecol. 45, 141–150.
- 379 Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Halinski, R., Lopes, L.A., Witter, S., 2014. Comparative
380 study of the floral biology and of the response of productivity to insect visitation in two
381 rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. Braz. J. Biol. 74(4), 787-794.
- 382 Bradford, A., Hawkins, A., Porter, E., 2003. Water–energy balance and the geographic
383 pattern of species richness of western Palearctic butterflies. Ecol. Entomol. 28, 678–686.
- 384 Buchmann, S.L., O’Toole, C., Westrich, P., Williams, I.H. (eds.), The Conservation of
385 Bees. Academic Press, London UK, pp. 17–34.
- 386 Cane, J.H., 1991. Soils of Ground-Nesting Bees (Hymenoptera: Apoidea): Texture,
387 Moisture, Cell Depth and Climate. J. Kans. Entomol. Soc. 64(4), 406-413.
- 388 Cane, J.H., Minckley, R.L., Kervin, L.J., 2000. Sampling bees (Hymenoptera: Apiformes)
389 for pollinator community studies: pitfalls of pan-trapping. J. Kans. Entomol. Soc. 73, 225–
390 231.
- 391 Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E. A., Morrissey, C. A., Noome, D. A., Van der
392 Sluijs, J. P., 2015. Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem
393 functioning and services. Environ. Sci. Pollut. Res. 22, 119–134.
- 394 Cornell, H.V., 1985. Local and regional richness of cynipine gall wasps on California oaks.
395 Ecology 66, 1247-1260.
- 396 Cunningham, S.A., Danforth, B.N., Dudenhoffer, J.H., Elle, E., Gaines, H.R., Garibaldi,
397 L.A., Gratton, C., Holzschuh, A., Isaacs, R., Javorek, S.K., Jha, S., Klein, A.M., Krewenka,
398 K., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Morandin, L., Neame, L.A., Otieno, M., Park, M., Potts,
399 S.G., Rundlof, M., Seaz, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Viana, B.F., Westphal, C.,
400 Wilson, J.K., Greenleaf, S.S., Kremen, C., 2013 A global quantitative synthesis of local and
401 landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. Ecol. Lett. 16, 584–599.

- 402 Cure, J.R., 1989. Revisão de *Pseudagapostemon Schrottky* e descrição de *Oragapostemon*,
403 gen.n. (Hymenoptera, Halictidae). Rev. Bras. Ent. 33, 229-335.
- 404 Davis, B.N.K., 1982. Habitat diversity and invertebrates in urban areas. In: Bornkamm, R.,
405 Lee, J.A., Seaward, M.D. (eds) Urban Ecology: Second European Ecological Symposium,
406 Blackwell, Oxford, 49-63.
- 407 Davis, A.M. e Glick, T.F., 1978. Urban Ecosystems and Island Biogeography. Environ.
408 Conserv. 5(4), 299-304.
- 409 Delaplane K.S. e Mayer D.F., 2000. Crop pollination by bees. Wallingford, UK: CABI
- 410 Denys, C. e Schmidt, H., 1998. Insect communities on experimental mugwort (*Artemisia*
411 *vulgaris* L.) plots along an urban gradient. Oecologia 113, 269-277.
- 412 Fernández-Juricic, E., 2000. Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape.
413 Conserv. Biol. 14, 513-521.
- 414 Flynn, D.F.B., Gogol-Prokurat, M., Nogeire, T., Molinari, N., Richers, B.T., Lin, B.B.,
415 Simpson, N., Mayfield, M.M., DeClerck, F., 2009. Loss of functional diversity under land
416 use intensification across multiple taxa. Ecol. Lett. 12, 22-33.
- 417 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010.
418 <http://www.fao.org/biodiversity/components/pollinators/en/> (accessed 13.01.2017).
- 419 Free, J.B., 1993. Insect pollination of crops, 2nd ed., Academic Press, London.
- 420 Giannini, T.C., Cordeiro, G.D., Freitas, B.M., Saraiva, A.M., Imperatriz-Fonseca, V.L.,
421 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in
422 Brazil. J. Econ. Entomol. 108, 849-857.
- 423 Gilbert, O.L., 1989. The ecology of urban habitats. Chapman and Hall, London.
- 424 Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., Rotheray, E. L., 2015. Bee declines driven by
425 combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. Science 347, 1255957.
- 426 Halinski, R., Dorneles, A.L., Blochtein, B., 2015. Bee assemblage in habitats associated
427 with *Brassica napus* L. Rev. Bras. Entomol. 59, 222-228.
- 428 Hasenack H. e Weber, E., 2007. Digital mapping layer of the Serra Gaúcha – escala
429 1:50.000 (Série Geoprocessamento). UFRGS, Porto Alegre. CD ROM.
- 430 Heard, T.A., 1999. The role of stingless bees in crop pollination. Ann. Rev. Entomol. 44,
431 183-206.
- 432 Heinrich, B., 1979 Bumblebee economics. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 433 Heymann, D., Chibante, L.P., Brooks, R.R., Wolbach, W.L., Smalley, R.E., 1994.
434 Fullerenes in the Cretaceous-Tertiary boundary layer: Science, 265, 645-647.
- 435 Holzschuh, A., Dainese, M., Gonzalez-Varo, J.P., Mudri-Stojnic, S., Riedinger, V.,
436 Rundlöf, M., Scheper, J., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Bommarco, R., Kleijn, D., Potts,
437 S.D., Roberts, S.P.M., Smith, H.G., Vilà, M., Vujic, A., Steffan-Dewenter, I., 2016. Mass-
438 flowering crops dilute pollinator abundance in agricultural landscapes across Europe. Ecol.
439 Lett. 19, 1228-1236.

440 IBM SPSS Statistics Base 24, 2016. [ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/](ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/24.0/pt-BR/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Base.pdf)
441 [documentation/statistics/24.0/pt-BR/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Base.pdf](ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/24.0/pt-BR/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Base.pdf).
442 (Accessed: 10.01.2017).

443 Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), 1983. Inventário Florestal
444 Nacional: Florestas Nativas: Rio Grande do Sul. Brasília, Embrapa florestas, pp. 345.

445 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1992. Manual técnico da vegetação
446 brasileira. Rio de Janeiro, Fundação IBGE. pp. 92.

447 Ish-Am G. e Eisikowitch D., 1998. Low attractiveness of avocado (*Persea americana*
448 Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. J. Hortic. Sci.
449 Biotech. 73, 195–204.

450 Jauker, F., Bondarenko, B., Becker, H.C., Steffan-Dewenter, I., 2012. Pollination efficiency
451 of wild bees and hoverflies provided to oilseed rape. Agric. For. Entomol. 14, 81–87.

452 Jauker, F. e Wolters, V., 2008. Hover flies are efficient pollinators of oilseed rape.
453 Oecologia 156, 819–823.

454 Kennedy, C.M., Lonsdorf, E., Neel, M.C., Williams, N.M., Ricketts, T.H., Winfree, R.,
455 Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A.L., Cariveau, D., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P.,
456 Schwarz, F. H., 1948. Stingless bees (Meliponidae) of the western hemisphere. Bull. Am.
457 Mus. Nat. Hist. 90, I–XVIII, 1–546.

458 Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., Tschardtke, T.
459 2014. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proc. R. Soc.
460 B 281, 20132440.

461 Klatt, B.K., Rundlöf, M., Smith, H.G., 2016. Maintaining the restriction on neonicotinoids
462 in the European Union – benefits and risks to bees and pollination services. Front. Ecol.
463 Evol. 4, 4.

464 Klaunistzer, B., 1993. Ökologie de Gobstadtfauna. 2 nd.

465 Klein, A., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen,
466 C., Tschardtke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.
467 Proc. R. Soc. B. 274, 303 – 313.

468 Klemm, M., 1996. Man-made bee habitats in the anthropogenous landscape of central
469 Europe-substitutes for threatened or destroyed riverine habitats? In: Matheson, A.,
470 Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A., Thies, C., 2002. Contribution of small
471 habitat fragments to conservation of insect communities of grassland–cropland landscapes.
472 Ecol. Appl. 12, 354–363.

473 Kremen, C., Williams, N.M., Thorp, R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk
474 from agricultural intensification. P. Natl. Acad. Sci. USA 99, 16812–16816.

475 Larson, B.M.H., Kevan, P.G., Inouye, D.W., 2001. Flies and flowers: taxonomic diversity
476 of anthophiles and pollinators. Can. Entomol. 133, 439–465.

477 Lautenbach, S., Seppelt, R., Liebscher, J., Dormann, C. F., 2012. Spatial and temporal
478 trends of global pollination benefit. PLoS ONE 7, e35954.

- 479 Lindauer, M., 1954. Temperaturregulierung und Wasserhaushalt im Bienenstaat. Z. Verg.
480 Physiol. 36, 391-432.
- 481 Maluf, J.R.T. e Caiaffo, M.R.R., 2001 Regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do
482 Sul, in: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino-Americana de
483 Agrometeorologia. Fortaleza, 151–152.
- 484 Manzoorulhaq-Rafieuldin, M. e Ghaffar, A., 1978. Effect of insect pollination on fruit
485 bearing in kinnow mandarin (*Citrus reticulata*), and physical and chemical properties of
486 fruit. J. Apicul. Res. 17, 47–49.
- 487 Marjanovic-Jeromela, A., Marinkovic, R., Mijic, A., Zdunic, Z., Ivanovska, S.,
488 Jankulovska, M., 2008. Correlation and path analysis of quantitative traits in winter
489 rapeseed (*Brassica napus* L.). Agric. Conspec. Sci. 73, 13–18.
- 490 Mellanby, K. e French, R.A., 1958. The importance of drinking water to larval insects. Ent.
491 Exp. & Appl. 1, 116-124.
- 492 Ministério do Meio Ambiente, 2009. Biodiversidade dos campos do planalto das
493 araucárias. Brasília, MMA, 240p.
- 494 Morales, C.L. e Aizen, M.A., 2002. Does the invasion of alien plants promote invasion of
495 alien flower visitors? A case study from the temperate forests of southern Andes. Biol.
496 Invasions 4, 87–100.
- 497 Morandin, L.A., Winston, M.L., Abbott, V.A., Franklin, M.T., 2007. Can pastureland
498 increase wild bee abundance in agriculturally intense areas? Basic Appl. Ecol. 8, 117–124.
- 499 Morandin, L.A., Winston, M.L., Franklin, M.T., Abbott, V.A., 2005. Lethal and sublethal
500 effects of spinosad on bumble bees (*Bombus impatiens* Cresson). Pest. Manag. Sci. 61, 619
501 – 626.
- 502 Moreti A.C., Silva R.M.B., Silva E.C.A., Alves M.L.T.M.F., Otsuk I.P., 1996. Aumento na
503 produção de sementes de girassol (*Helianthus annuus*) pela ação de insetos polinizadores.
504 Sci. Agric. 53, 2–3.
- 505 Nunes-Silva, P., da Rosa, J.M., Witter, S., Schlemmer, L.M., Halinski, R., Ramos, J.D.,
506 Arioli, C.J., Blochtein, B., Botton, M., 2016. Visitantes florais e potenciais polinizadores da
507 cultura da macieira. Comunicado técnico, EMBRAPA, pp.16.
- 508 Nunes-silva, P., Silva, C.I., Roldao, Y., Hrcir, M., Imperatriz-fonseca, V.L., 2011. The
509 behavior of the stingless bee *Melipona fasciculata* (Apidae, Meliponini) on eggplant
510 flowers and consequences for pollination. In: 42nd International Apicultural Congress
511 (Apimondia), Buenos Aires, Apimondia. pp. 208.
- 512 Park, O.W., 1946. Activities of honeybees. In the hive and the honeybee. Grout R. A. (eds.),
513 Dadant and Sons, Hamilton, IL.
- 514 Pires, N.V.C.R., 2009. Efeitos da alimentação artificial protéica em colônias de uruçuz-
515 cinzenta (*Melipona fasciculata*, Smith 1858) (Apidae, Meliponini) e adaptação em casa de
516 vegetação. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, PA, pp. 67.
- 517 Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, T.H., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze,
518 T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., 2016. Safeguarding
519 pollinators and their values to human well-being. Nature 540(7632), 220 – 229.

- 520 R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. The R
521 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 522 Sabbahi, R., Oliveira, D. e Marceau, J., 2005. Influence of honey bee (Hymenoptera:
523 Apidae) density on the production of canola (Cruciferae: Brassicaceae). *J. Econ. Entomol.*
524 98(2), 367-372.
- 525 Schweiger, O., Maelfait, J.P., Van Wingerden, W., Hendrickx, F., Billeter, R., Speelmans,
526 M., Augenstein, I., Aukema, B., Aviron, S., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter,
527 T., Dirksen, J., Frenzel, M., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M., Bugter, R., 2005
528 Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural
529 landscapes across organizational levels and spatial scales. *J. Appl. Ecol.* 42, 1129–1139.
- 530 Seeley, T.D., 1995. *The Wisdom of the Hive*. Harvard University Press, London.
- 531 Smith, M. R., Singh, G. M., Mozaffarian, D., Myers, S. S., 2015. Effects of decreases of
532 animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. *Lancet* 386,
533 1964 – 1972.
- 534 Smith, R.M., Warren, P.H., Thompson, K., Gaston, K.J., 2004. Urban domestic gardens
535 (VI): environmental correlates of invertebrate species richness. In: Hawksworth, D.L., Bull,
536 A.T. (Eds.), *Human Exploitation and Biodiversity Conservation*. Biodiversity and
537 Conservation, vol. 3, pp. 75–98.
- 538 Soule, M. E., Bolger, D. T., Alberts, A. C., Sauvajot, R. S., Wright, J., Sorice, M. and Hill,
539 S., 1988. Reconstructed dynamics of rapid extinction of chaparral requiring birds in urban
540 habitat islands. *Cons. Biol.* 2, 75-92.
- 541 Stanley, D. A., Garratt, M. P. D., Wickens, J. B., Wickens, V. J., Potts, S. G., Raine, N. E.,
542 2015. Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by
543 bumblebees. *Nature* 528, 548–550.
- 544 Steffan-Dewenter, I., Munzenberg, U., Burger, C., Thies, C., Tschardtke, T., 2002. Scale
545 dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecol.* 83, 1421–
546 1432. Stoaate, C., Boatman, N.D., Borralho, R.J., Rio Carvalho, C., de Snoo, G.R., Eden, P.,
547 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *J. Environ. Manage.* 63, 337–
548 365.
- 549 Strong, D.R., Lawton, J.H., Southwood, R., 1984. *Insects on Plants: Community. Patterns
550 and Mechanisms*. Oxford, Blackwell.
- 551 Sukopp, H., Blume, H.P., Kunick, W., 1979. The soil, flora and vegetation of Berlins waste
552 lands. In: Laurie I.E. (ed.), *Nature in cities*, John Wiley & Sons, Chichester, pp 115-131.
- 553 United State Department of Agriculture (USDA), 2016. [https://www.usda.gov/wps/portal](https://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome)
554 [/usda/usdahome](https://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome) (Acessado em: 10.01.2017).
- 555 Vaissière, B.E., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., 2011. Protocol to detect and assess
556 pollination deficits in crops: a hand book for its use. FAO – Food and Agriculture
557 Organisation of United Nations, Rome.
- 558 Vaissiere B., Rodet G., Cousin M., Botella L., Grossa J., 1996. Pollination effectiveness of
559 honey bee (Hymenoptera: Apidae) in a kiwifruit orchard. *Hortic. Entomol.* 89, 453–461.

- 560 Veloso, H.P., Oliveira-Filho, L.D., Vaz, A.M.S.F., Lima, M.P.M., Marquete, R., Brazao,
561 J.E.M., 1992. Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE, Rio de Janeiro.
- 562 Venturieri, G. C., 2009. The impact of forest exploitation on Amazonian stingless bees
563 (Apidae, Meliponini). Genet. Mol. Res. 8, 684-689.
- 564 Vicens, N. e Bosch, J., 2000. Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera*
565 (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on red delicious apple. Environ. Entomol. 29, 235–
566 240.
- 567 Vrdoljak, S.M. & Samways, M.J., 2012 Optimising coloured pan traps to survey flower
568 visiting insects. J. Insect Conserv. 16, 345–354.
- 569 Westphal, C., Bommarco, R., Carré, G., Lamborn, E., Morison, N., Petanidou, T., Potts,
570 S.G., Roberts, S.P.M., Szentgyörgyi, H., Tscheulin, T., Vaissière, B.E., Woyciechowski,
571 M., Biesmeijer, J.C., Kunin, W.E., Settele, J., Stefan-Dewenter, I., 2008. Measuring bee
572 diversity in different European habitats and biogeographical regions. Ecol. Monogr. 78,
573 653–671.
- 574 Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2003. Mass flowering crops enhance
575 pollinator densities at a landscape scale. Ecol. Lett. 6, 961–965.
- 576 Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T., 2009. Mass flowering oilseed rape
577 improves early colony growth but not sexual reproduction of bumblebees. J. Appl. Ecol.
578 46, 187–193.
- 579 Witter, S., Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Tirelli, F.P., Lisboa, B.B., Bremm, C., Lanzer,
580 R., 2014. The bee community and its relationship to canola seed production in homogenous
581 agricultural areas. J. Pollinat.Ecol. 12(3), 15-21.
- 582 Witter, S., Nunes-Silva, P., Lisboa, B.B., Tirelli, F.P., Sattler, A., Hilgert-Moreira, S.B.,
583 Blochtein, B., 2015. Stingless bees as alternative pollinators of canola. J. Econ. Entomol.,
584 1–7.
- 585 Witter, S., Radin, B., Lisboa, B.B., Teixeira, J.S.G., Blochtein, B., Imperatriz-Fonseca,
586 V.L., 2012. Desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de
587 polinização em cultivo protegido. Pesq. Agropec. Bras. 47(1), 58-65.
- 588 Wittman, D. e Hoffman, M. 1990. Bees of Rio Grande do Sul, Southern Brazil (Insecta,
589 Hymenoptera, Apoidea). Iheringia Série Zoológica, 70, 17-43.
- 590 Zapparoli M., 1997. Urban development and insect biodiversity of the Rome area, Italy.
591 Landsc. Urb. Plan. 38, 77–86.

Área Mudanças Climáticas



Inflorescência de *Brassica napus* (canola)

Foto: Rosana Halinski

CAPÍTULO 5

Impacto das mudanças climáticas em abelhas sem ferrão na canola

Manuscrito redigido no formato *Original Paper* do periódico *Agriculture, Ecosystems & Environment*

Impacto das mudanças climáticas em abelhas sem ferrão na cultura da canola

Rosana Halinski¹, André Luis Acosta², Tatiana Guterres Kaehler¹, Charles Fernando dos Santos¹, Betina Blochtein¹

¹Departamento de Biodiversidade e Ecologia, Faculdade de Biociências, Laboratório de Entomologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Avenida Ipiranga, 6681, 90619-900, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

²Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Laboratório de Abelhas, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, 321, Travessa 14, 05508-090 São Paulo, SP, Brazil.

Resumo: O declínio mundial de polinizadores afeta negativamente os serviços de polinização das culturas agrícolas. Diversos fatores são apontados como potenciais causas deste fenômeno como a perda de habitat, as mudanças climáticas e o uso de inseticidas. O objetivo deste estudo foi avaliar a potencial mudança de adequabilidade de habitat para as espécies de abelhas sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata* (tubuna) e *Tetragonisca fiebrigi* (jataí) e a cultura da canola perante estimativa de mudança climática para a década de 2050 considerando cenário pessimista. Pode-se verificar nos mapas de adequabilidade de habitat que a distribuição geográfica de *S. bipunctata* é predominante nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), sendo que acompanha a região litorânea. Esta abrangência pode estar relacionada à Mata Atlântica que é o único ecossistema brasileiro que ocupa uma faixa extensão do Norte ao Sul do país, sendo um dos *hotspots* mundiais mais afetados com perda e fragmentação de habitat. A distribuição de *T. fiebrigi* mostra-se mais restrita ao RS, incluindo novas áreas em SC. O RS é o maior produtor de canola e continuará nesta condição segundo as projeções para 2050. Ao sobrepor a abrangência da adequabilidade climática da canola com as espécies de abelhas sem ferrão, podemos observar que 11% é adequada para canola e *S. bipunctata* (93.785.135 km²), predominando nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, enquanto que para canola e *T. fiebrigi* tem 4,5% (380.886 km²), predominantemente no RS. Porém ainda há 10% de áreas adequadas à cultura e inadequadas para as espécies avaliadas, portanto sugere-se novos estudos com outras espécies de abelhas nativas com ocorrência nas áreas adequadas a canola para incremento na polinização cruzada e na produção de grãos da cultura.

Palavras-chave: *Tetragonisca fiebrigi*, *Scaptotrigona bipunctata*, declínio de polinizadores, aquecimento global

Introdução

A perda da biodiversidade tem consequências negativas para o meio ambiente e impacta diversos serviços ecossistêmicos, entre eles a polinização, dos quais a sociedade humana depende direta ou indiretamente (Potts et al., 2016). Entre os polinizadores, destacam-se as abelhas, que polinizam mais de 90% de 107 culturas globais (Klein et al.,

42 2007). Além disso, Ollerton et al. (2011) estimaram que nos trópicos 94% das plantas
43 dependem de polinização mediada por animais.

44 Apesar da elevada demanda e importância deste serviço, estamos vivenciando um
45 período de declínio mundial de polinizadores (Potts et al., 2016). Este fenômeno já é bem
46 documentado na Europa e América do Norte, e também se estima que venha a ocorrer em
47 outros continentes, mas ainda pouco se compreende sobre suas causas e possíveis
48 consequências (Carvalho et al., 2013; Koh et al., 2016). Muitos fatores têm sido
49 apontados como motivo desse declínio: mudanças climáticas, perda de habitat, espécies
50 invasoras, uso extensivo de agrotóxicos, entre outros (Biesmeijer et al. 2006; Potts et al.
51 2010).

52 Historicamente, o setor agrícola mundial criou uma alta dependência a poucas
53 espécies de polinizadores como as abelhas melíferas, *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, e o
54 declínio destas causou uma grave crise no setor. Estima-se que só esta espécie tenha gerado
55 153 bilhões de euros para a agricultura mundial no ano de 2005 (Gallai et al., 2009). Nos
56 Estados Unidos estima-se que entre US\$10–33 bilhões por ano sejam provenientes de
57 benefícios diretos ou indiretos providos pelas abelhas (Arena & Sgolastra, 2014). Tendo em
58 vista a necessidade de espécies alternativas na polinização agrícola, hoje se pode contar
59 com cerca de 50 espécies manejadas no mundo além de *Apis mellifera*, incluindo *Apis*
60 *cerana*, *Bombus* spp., abelhas solitárias e abelhas sem ferrão (Potts et al., 2016). Estudos
61 recentes apontam a importância e eficiência das espécies nativas na polinização,
62 especialmente em culturas agrícolas (Giannini et al., 2012; Garibaldi et al., 2013, Witter et
63 al., 2015; Giannini et al., 2015; Potts et al., 2016). Garibaldi et al. (2013) mostraram que as
64 abelhas nativas favorecem a produção de frutos de 41 culturas agrícolas mundiais. Embora
65 os estudos sobre polinizadores nativos tenham crescido nos últimos anos, Potts et al. (2016)

66 ressaltam que se necessita um melhor entendimento entre a relação de serviços de
67 polinização e a produtividade agrícola, bem como mais ações dedicadas à conservação dos
68 polinizadores.

69 Dentre as abelhas nativas, destacam-se as abelhas sem ferrão como *Scaptotrigona*
70 *bipunctata* (Lepeletier, 1836), popularmente conhecida como tubuna. Esta espécie tem
71 comportamento social apresentando colônias numerosas podendo variar de 2.000 a 50.000
72 indivíduos (Lindauer & Kerr, 1960). Possui hábito de nidificação em ocos de árvores. A
73 espécie tem ocorrência na região neotropical: Bolívia, Paraguai, Peru e Brasil (Acre, Ceará,
74 Maranhão, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul)
75 (Catálogo Moure, 2017). Já a espécie *Tetragonisca fiebrigi*, (Schwarz, 1938), popularmente
76 conhecida como jataí, possui colônias com 2.000 a 5.000 indivíduos (Nogueira-Neto 1997)
77 e tem sua distribuição na região neotropical desde a Argentina até o México e em todo o
78 território brasileiro (Catálogo Moure, 2017). No Rio Grande do Sul, a jataí ocorre em maior
79 abundância na Depressão Central, Litoral, Alto e Médio Vale do Uruguai. Jataí é
80 considerada uma espécie rústica podendo nidificar desde ocos de árvore até ambientes mais
81 urbanizados (Villas-Bôas, 2012).

82 Nos últimos anos, a modelagem de adequabilidade de habitat (também referida
83 como modelagem nicho ou de distribuição das espécies) tem sido uma das principais
84 ferramentas de análise que auxiliam na identificação das demandas ambientais subjacentes
85 às espécies-chave de uma determinada paisagem (Elith et al., 2006). Uma das
86 particularidades relevantes deste tipo de modelagem é que possibilita construir uma
87 representação dos requisitos ecológicos da espécie (Phillips, 2008), uma vez que o nicho
88 ecológico é considerado como: “um espaço multidimensional que compreende as condições
89 ambientais, relacionados à sobrevivência da espécie” (Hutchinson, 1957). A partir desse

90 conceito, a modelagem utiliza-se os pontos de ocorrência das espécies, por meio de análises
91 computacionais, gerando modelos de adequabilidade de habitat para as espécies (Stockwell
92 & Peterson, 2002; Anderson et al., 2003). Portanto, é imprescindível a utilização de uma
93 base de dados, onde possam ser verificados os pontos de ocorrência, camadas com
94 parâmetros ambientais e o Sistema de Informação Geográfica (Stockwell & Peters, 1999).

95 Atualmente, as áreas agrícolas ocupam 70% da área utilizável do planeta (FAO,
96 2016) e estima-se que a população mundial, hoje de 7.3 bilhões, alcançará 9.7 bilhões nos
97 próximos 34 anos (UN, 2015). Neste contexto, a produção agrícola global precisará
98 aumentar pelos menos 70% a fim de suprir a demanda da humanidade em até 2050 (FAO,
99 2009). A canola, *Brassica napus* L. var. oleífera, começou a ser plantada no final dos anos
100 1990 com a nova demanda por biocombustíveis. A partir de então foi consorciado a canola
101 no sistema de rotação de culturas, no inverno juntamente com o trigo. Apesar do incentivo
102 governamental à produção, ainda há predomínio de lavouras no sul do país, onde se iniciou
103 a implementação da cultura. Atualmente realizam-se esforços para estabelecer a cultura na
104 região Centro-Oeste, visto que há uma demanda crescente para óleos vegetais,
105 biocombustíveis e farelo para animais (AbrasCanola, 2017). Aliado a isto, há o zoneamento
106 agroclimático para cultura que permite ao produtor reduzir o risco na safra com as linhas de
107 crédito para custeio e seguro agrícola (AbrasCanola, 2017). Em acréscimo, estudos
108 indicam que a canola, apesar de ter uma parcela de autopolinização, pode ter um
109 incremento de 12 a 47% na produtividade por meio da polinização cruzada (Williams *et al.*,
110 1986; Becker *et al.*, 1992; Mussury & Fernandes, 2000; Rosa et al., 2011; Bonmarco et al.,
111 2012; Halinski, 2013; Blochtein et al., 2014; Witter et al., 2014), sendo as abelhas os
112 principais agentes polinizadores (McGregor, 1976; Ali *et al.*, 2011). Pesquisas apontam a
113 eficiência das abelhas sem ferrão para canola, destacando-se *T. fiebrigi* e *S. bipunctata*

114 como eficientes polinizadoras de cultura (Giannini et al., 2012; Witter et al., 2015). Além
115 disso, estas espécies ocorrem em abundância nas lavouras, apresentam fácil manejo com
116 baixo custo de manutenção e aumentam a produção de grãos de canola (Halinski et al.,
117 2015; Witter et al., 2015).

118 Tendo isso em consideração, nós avaliamos a potencial mudança de adequabilidade
119 climática dos habitats das abelhas sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata* (tubuna) e
120 *Tetragonisca fiebrigi* (jataí) e a cultura da canola perante as atuais condições climáticas
121 com projeção para estimativa de mudança climática para a década de 2050 em cenário
122 pessimista (RCP 8.5; IPCC AR5, 2014). Nós consideramos a atual distribuição empírica
123 das abelhas e das lavouras de canola, visando detectar possíveis impactos decorrentes das
124 mudanças climáticas no Brasil e estabelecer estratégias de manejo sustentável dos
125 polinizadores e da cultura.

126

127 **Material e Métodos**

128 *Presença de abelhas sem ferrão e de canola*

129 Nós obtivemos as ocorrências das espécies através de portais de dados
130 disponibilizadas pelo *SpeciesLink*, *Discover Life* e *Global Biodiversity Information*
131 *Facility*. Estes dados geraram 101 pontos de ocorrências para *S. bipunctata* e 62 para *T.*
132 *fiebrigi*.

133 Nós obtivemos as coordenadas geográficas das lavouras de canola no Brasil com as
134 principais fomentadoras da cultura (BSBios, Celena, Giovelli e Rural Sul). Para não haver
135 sobreposição de dados, nós optamos por usar a centroide de cada município com presença
136 de canola para os procedimentos de modelagem. Consideramos o tamanho total do
137 município para estimar a quantidade de pontos gerados sobre ele da seguinte forma: 1)

138 calculamos a área do município em quilômetros quadrados; 2) geramos aleatoriamente no
139 espaço geográfico a quantidade de um ponto a cada 100 Km², e assim sucessivamente até a
140 cobertura
141 total da área municipal; 3) os pontos foram gerados com a distância mínima de 10 km entre
142 eles; 4) extraímos as coordenadas dos pontos gerados e usamos como ocorrências para
143 desenvolver os modelos para a canola.

144

145 *Pseudo-ausências*

146 Todos os algoritmos utilizados no procedimento de modelagem requerem pseudo-
147 ausências (doravante citadas como PA), uma vez que não encontramos ausências
148 verdadeiras. Assim, geramos conjuntos aleatórios de PA por espécie na área de estudo
149 (Brasil e área adjacente da América do Sul), exceto sobre uma zona de restrição
150 predefinida. A zona de restrição visa evitar a geração de pontos PA a menos de 100 Km de
151 raio de cada presença de espécie de abelha. Para isso, geramos *buffers* para cada ponto de
152 ocorrência. Geramos três conjuntos de PA aleatórias por espécie, na quantidade de 10 vezes
153 a quantidade de presença da espécie, considerando a análise desenvolvida por Chefaoui e
154 Lobo (2008).

155

156 *Variáveis ambientais*

157 Foram obtidas 20 camadas de dados topoclimáticos em condições atuais (19
158 bioclimáticos e altitude) do Worldclim (Hijmans et al., 2005), com resolução espacial de
159 2,5 minutos de arco (tamanho de célula de aproximadamente 5 km no equador). Essas
160 camadas apresentam dados sobre as tendências anuais de sazonalidade, médias e extremos
161 de temperatura e precipitação no período entre 1950 e 2000.

162 Obteve-se também do Wordclim, para as mesmas 19 variáveis e com a mesma
163 resolução, as projeções para condições futuras com base na estimativa da mudança
164 climática para 2050, considerando o cenário RCP 8.5 (Representative Concentration
165 Pathways; IPCC
166 AR5, 2014), desenvolvido pelo Hadley Center Global Environment Model (HadGEM2-
167 ES).

168

169 *Seleção de variáveis*

170 Para reduzir a colinearidade entre preditores, considerando as presenças de cada
171 espécie no espaço, avaliamos o nível de correlação espacial entre as variáveis de forma
172 pareada por meio do coeficiente de correlação de Pearson em linguagem R v.3.0.3 (R
173 Development Core Team). As variáveis foram selecionadas com coeficientes de correlação
174 de Pearson inferiores a 0,75. Quando duas camadas foram altamente correlacionadas entre
175 si, escolhemos àquela menos correlacionada nos pareamentos com outras variáveis O
176 procedimento resultou nas seguintes variáveis por espécie. As variáveis bioclimáticas
177 resultantes para *S. bipunctata* foram: bio2, bio4, bio5, bio7, bio8, bio9, bio12 e bio18. Já
178 para *T. fiebrigi* foram: bio2, bio5, bio6, bio7, bio8, bio9, bio12, bio13, bio14. Para canola
179 foram utilizadas: bio2, bio5, bio6, bio7, bio8, bio9, bio12 e bio13.

180

181 *Método de modelagem*

182 Para desenvolver os modelos de adequabilidade climática de habitat utilizamos o
183 pacote *Biomod2* versão 3.1.48 (Thuiller et al., 2009; Thuiller et al., 2013) em linguagem R
184 (R Development Core Team), utilizando todos os dez algoritmos disponíveis no pacote
185 ('GLM', 'GBM', 'GAM', 'CTA', 'ANN', 'SRE', 'FDA', 'MARS', 'RF', 'MAXENT'). Cada

186 conjunto de dados de presença por espécie foi dividido aleatoriamente de forma que 80%
187 das presenças foram selecionadas para treinar os modelos e 20% para avaliar
188 matematicamente a qualidade das previsões por meio do índice estatístico True Skill
189 Statistic (TSS; Allouche et al., 2006). Repetimos o fracionamento aleatório das presenças
190 três vezes sem reposição para cada espécie a fim de aumentar a robustez analítica dos
191 modelos (Franklin, 2009). Em busca por manter a comparabilidade entre os diferentes
192 algoritmos, optamos por usar as configurações padrão (*default*) de *Biomod2* conforme
193 recomendado pelos autores (Thuiller et al., 2009; Thuiller et al., 2013; Phillips & Dudík,
194 2008).

195 Para cada espécie, noventa modelos foram gerados considerando todas as possíveis
196 combinações entre os 10 algoritmos, os 3 subconjuntos de pseudo-ausências (PA1-PA3) e
197 os 3 fracionamentos aleatórios das presenças (PPN1 a PPN3). Utilizamos o índice de
198 avaliação de qualidade para modelos dicotômicos TSS (True Skill Statistics; Allouche et
199 al., 2006) maior ou igual a 0,75 para selecionar os modelos mais robustos (Jiménez-
200 Valverde & Lobo, 2007; Jones et al. 2010). Não há definição precisa dos limiares de TSS
201 para a avaliação da qualidade dos modelos. Assim, escolhemos o limiar mais
202 frequentemente utilizado na literatura específica em aplicações similares ($TSS \geq 0,75$;
203 Engler et al., 2011; Mounton et al., 2011; Gallien et al., 2012; Domisch et al., 2013).

204

205 *Conjunto de previsões*

206 Uma vez selecionados os modelos melhor avaliados por espécie, foram gerados
207 modelos compostos (ou, em inglês: *Ensemble Forecast Models*) conforme o método
208 denominado *Committee Averaging*, integrante do pacote *Biomod2* – (para detalhes, acessar:
209 Thuiller et al., 2009). Os resultados de saída dos modelos compostos variam de zero (valor

210 que representa a área em que todos modelos concordam que o habitat é climaticamente
211 inadequado à espécie) a 1000 (valor que representa a área em que todos os modelos
212 concordam que o habitat é adequado). Consideramos adequadas (por espécie) aquelas áreas
213 cujo nível de concordância entre os modelos estava acima de 75%; isto é, reclassificamos
214 cada conjunto por espécie da seguinte forma: as áreas compreendidas pela classe de valor
215 zero (habitat inadequado) à classe de valor 750 (75% de concordância em adequabilidade
216 do
217 habitat) foram reclassificadas para valor binário = 0; e de 750 (75% de concordância) a
218 1000 (100% de concordância) para o valor binário = 1. Com este procedimento,
219 selecionamos apenas área mais adequada à ocorrência por espécie.

220 Para projetar os modelos compostos para o cenário climático futuro por espécie, nós
221 procedemos da mesma forma, considerando na projeção apenas o conjunto de modelos
222 melhor avaliados em condições climáticas atuais, gerando *committee averaging* e
223 reclassificando as previsões em valores binários (0 = inadequado, 1 = adequado), conforme
224 o procedimento de reclassificação já citado, considerando adequadas apenas as áreas com
225 75% ou mais de acordo de previsão.

226

227 *Cruzando e comparando modelos atuais e futuros*

228 Para detectar as mudanças dos modelos em condição climática atual para a futura,
229 nós multiplicamos o modelo composto atual por 10, portanto, os valores se mantêm 0 para
230 inadequados ($0*10=0$) e 10 para adequados ($1*10=10$). Subsequentemente, somamos
231 geoespacialmente o modelo composto atual com valores binários = 0 ou 10 ao modelo
232 composto projetado para o futuro (com valores originais = 0 ou 1). Com este procedimento
233 obtivemos um modelo conjunto de modelos com quatro classes, sendo: 0 para áreas

234 inadequadas em condições atuais e futuras; 1 para inadequado na condição atual, mas
235 adequado no futuro; 10 para adequado na condição atual, mas inadequado no futuro e 11
236 para adequados em condições atuais e futuras. Nós nomeamos esse resultado por espécie
237 como modelos DELTA.
238

239 **Resultados**

240 No final do processo de filtragem, obtivemos um conjunto de dados com 699 pontos
241 exclusivos para canola, 86 para *S. bipunctata* e 60 para *T. fiebrigi*, onde foram gerados
242 mapas de adequabilidade de habitat no cenário atual e futuro (2050) para canola e as duas
243 espécies de abelhas sem ferrão (Material Suplementar 1).

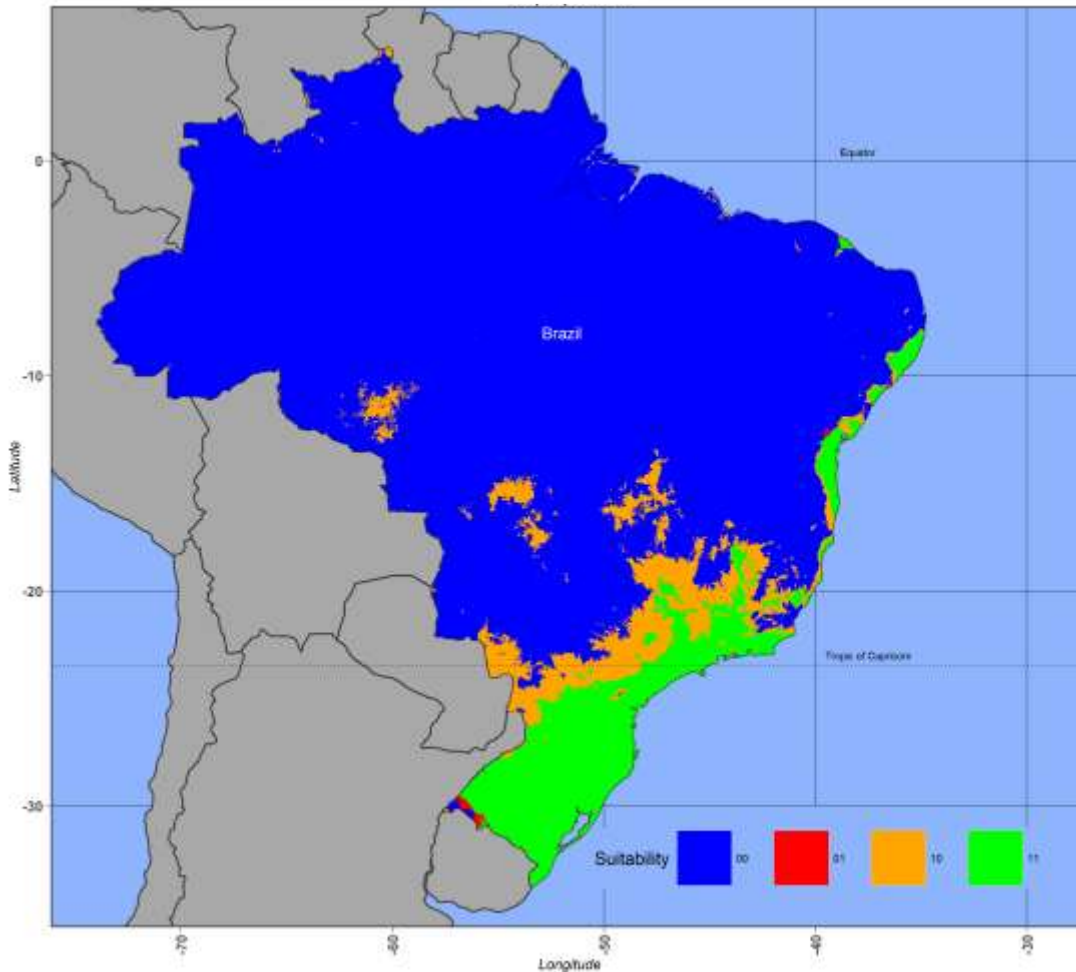
244 Dos 90 modelos iniciais para cada espécie, nós selecionamos 47 modelos com alta
245 qualidade para *S. bipunctata* destacando-se as contribuições dos algoritmos para a geração
246 do modelo composto: RF (19%), GLM (15%), GBM (15%) (Material Suplementar 2). Já
247 para *T. fiebrigi* selecionamos 68 modelos sobressaindo-se os algoritmos: RF, MARS, GLM,
248 GBM (13% cada). Para a cultura da canola selecionamos 80 modelos, sendo
249 predominantemente composto por GAM, CTA, RF, GLM, GBM, ANN, MARS e
250 MAXENT, que contribuíram com 11% cada.

251

252 **Modelos Delta**

253 Considerando a adequabilidade de habitat nos cenários atual e futuro, *S. bipunctata*
254 apresenta a distribuição geográfica predominante nas regiões Sul e Sudeste acompanhando
255 a região costeira do país, com 8,8% de áreas adequadas (Figura 1). As cidades da região
256 oeste de Santa Catarina e do Paraná, além das áreas de limite do Bioma Mata Atlântica com
257 o Bioma Cerrado, são apontadas como áreas inadequadas para a espécie no cenário futuro.

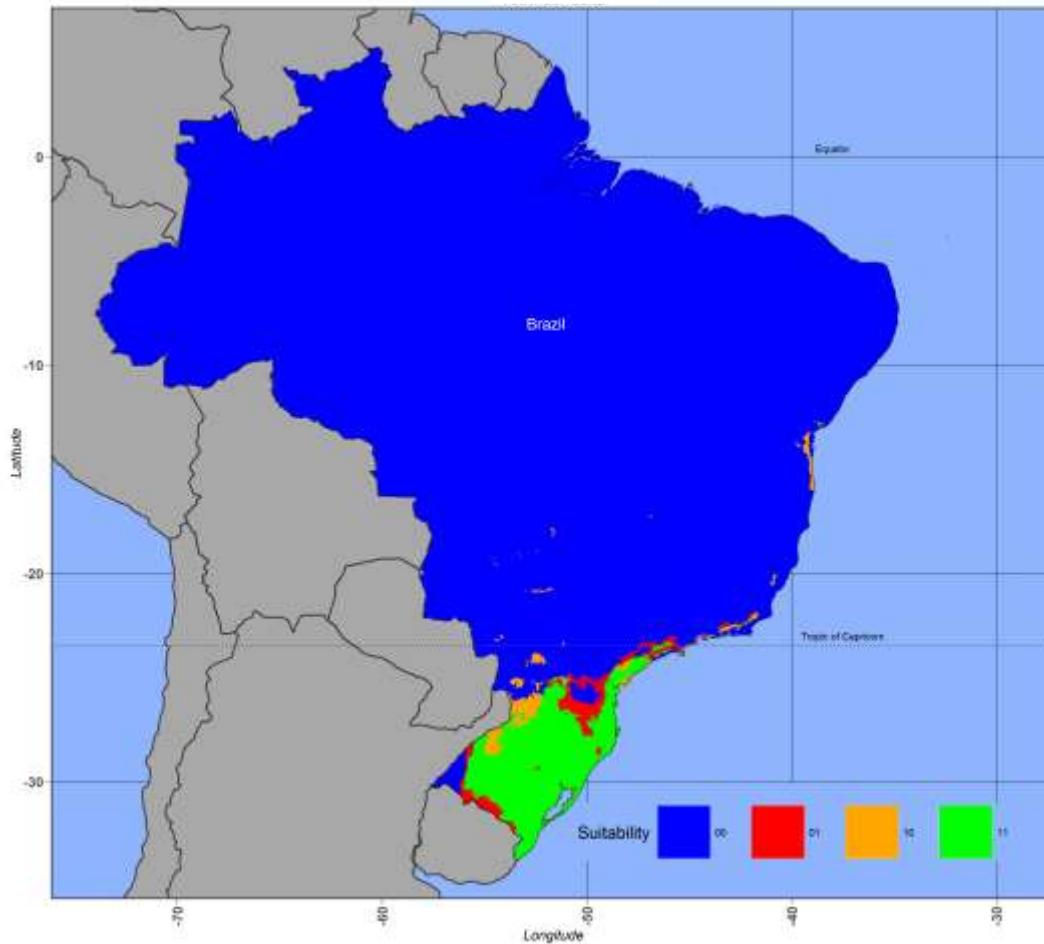
258



259
 260 Figura 1 – Modelo delta de adequabilidade de habitat de *Scaptotrigona bipunctata* no
 261 Brasil. O primeiro algarismo refere-se ao presente e o segundo ao futuro, sendo 0 para
 262 ausente e 1 para presente. Em cores, azul significa inadequado tanto no presente quanto no
 263 futuro (00), vermelho significa inadequado no presente e adequado no futuro (01), laranja
 264 significa adequado no presente e inadequado no futuro (10) e verde adequado tanto no
 265 presente quanto no futuro (11).
 266

267 Já *T. fiebrigi* tem uma distribuição mais restrita às regiões abaixo do Trópico de
 268 Capricórnio, especialmente no Estado do Rio Grande do Sul, com 4,3% de área adequada
 269 nos cenários presentes e futuros (Figura 2). Destaca-se que, apesar de um menor território
 270 da espécie comparado à *S. bipunctata*, pode-se notar um aumento de área adequada nos
 271 cenários futuros para o estado de Santa Catarina (1,5%).

272

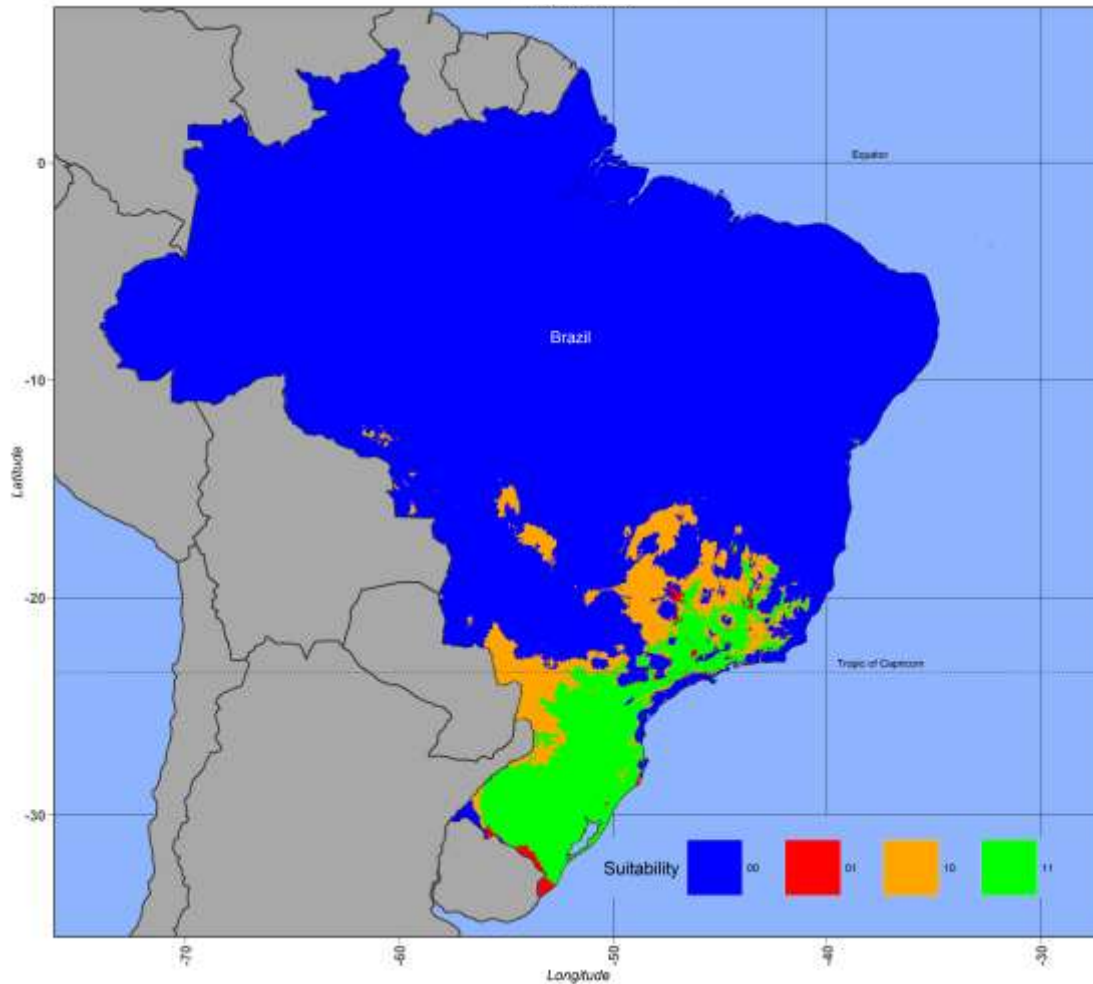


273

274 Figura 2 – Modelo delta de adequabilidade de habitat de *Tetragonisca fiebrigi* no Brasil. O
 275 primeiro algarismo refere-se ao presente e o segundo ao futuro, sendo 0 para ausente e 1
 276 para presente. Em cores, azul significa inadequado tanto no presente quanto no futuro (00),
 277 vermelho significa inadequado no presente e adequado no futuro (01), laranja significa
 278 adequado no presente e inadequado no futuro (10) e verde adequado tanto no presente
 279 quanto no futuro (11).

280

281 No que diz respeito à canola, pode-se verificar que predomina a ocorrência da
 282 cultura nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, destacando-se o Estado do Rio Grande do Sul
 283 (Figura 3). Os modelos apontam que nos cenários futuros a abrangência da área
 284 adequabilidade climática para as lavouras de canola irá diminuir na região oeste de Santa
 285 Catarina e demais municípios presentes entre as latitudes -20° e -10° .



286

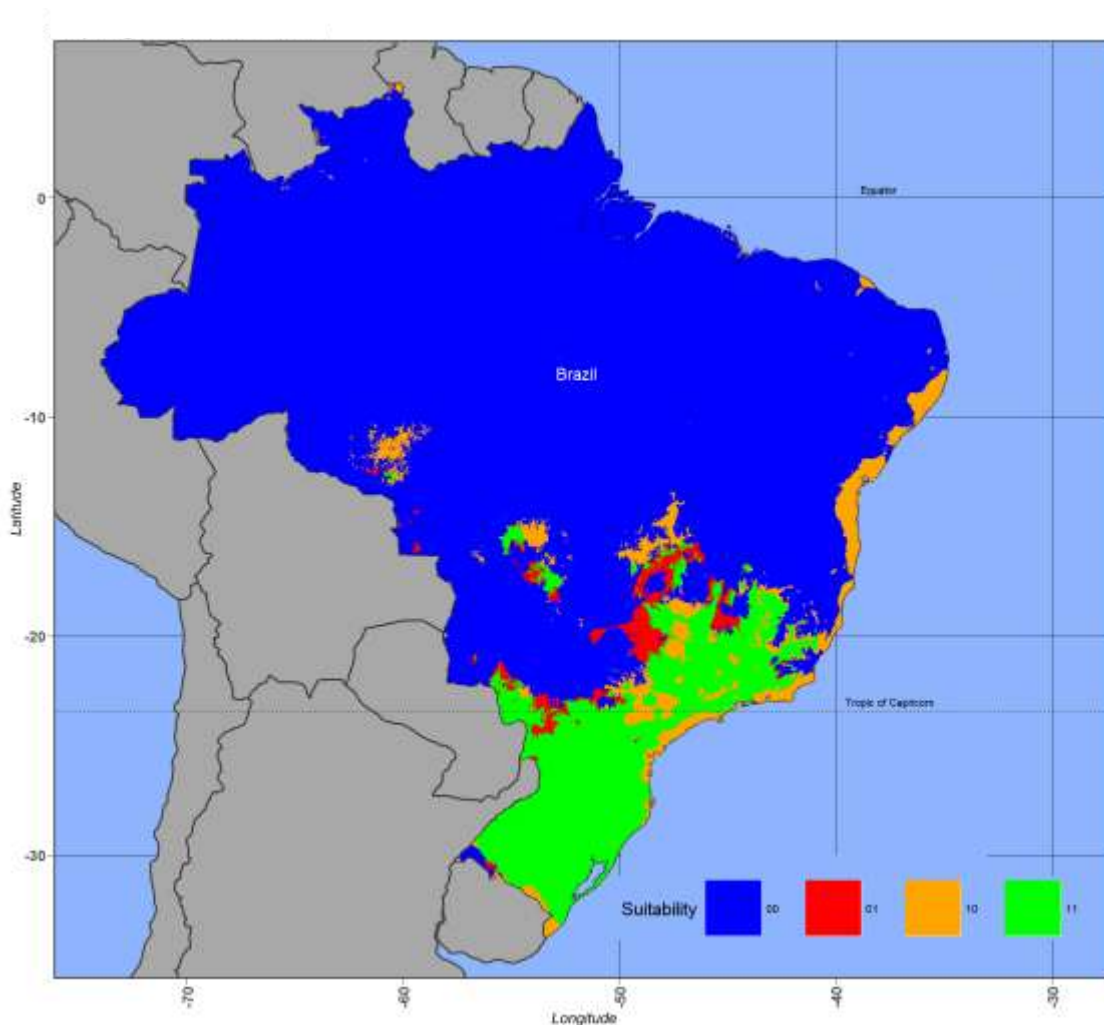
287 Figura 3 – Modelo delta de adequabilidade de habitat de canola no Brasil. O primeiro
 288 algarismo refere-se ao presente e o segundo ao futuro, sendo 0 para ausente e 1 para
 289 presente. Em cores, azul significa inadequado tanto no presente quanto no futuro (00),
 290 vermelho significa inadequado no presente e adequado no futuro (01), laranja significa
 291 adequado no presente e inadequado no futuro (10) e verde adequado tanto no presente
 292 quanto no futuro (11).

293

294 **Avaliação do compartilhamento de habitat planta-polinizador**

295 Ao sobrepor a abrangência da adequabilidade climática da canola com as
296 espécies de abelhas sem ferrão, podemos observar que 83% da área do país não é adequada
297 para canola e para *S. bipunctata* (cerca de 7 milhões de km²), sendo que 11% é adequada
298 para ambas (93.785.135 km²), predominando nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Também
299 verificamos que 4% do território brasileiro é adequado para *S. bipunctata*, mas não para
300 canola (36.820.168,4 km²), e somente 2% é adequado para canola e não para esta abelha
301 (14.795.661 km²). O mapa mostra que há uma perda de áreas adequadas na costa litorânea
302 bem como pontos do extremo sul do RS (Figura 4).

303



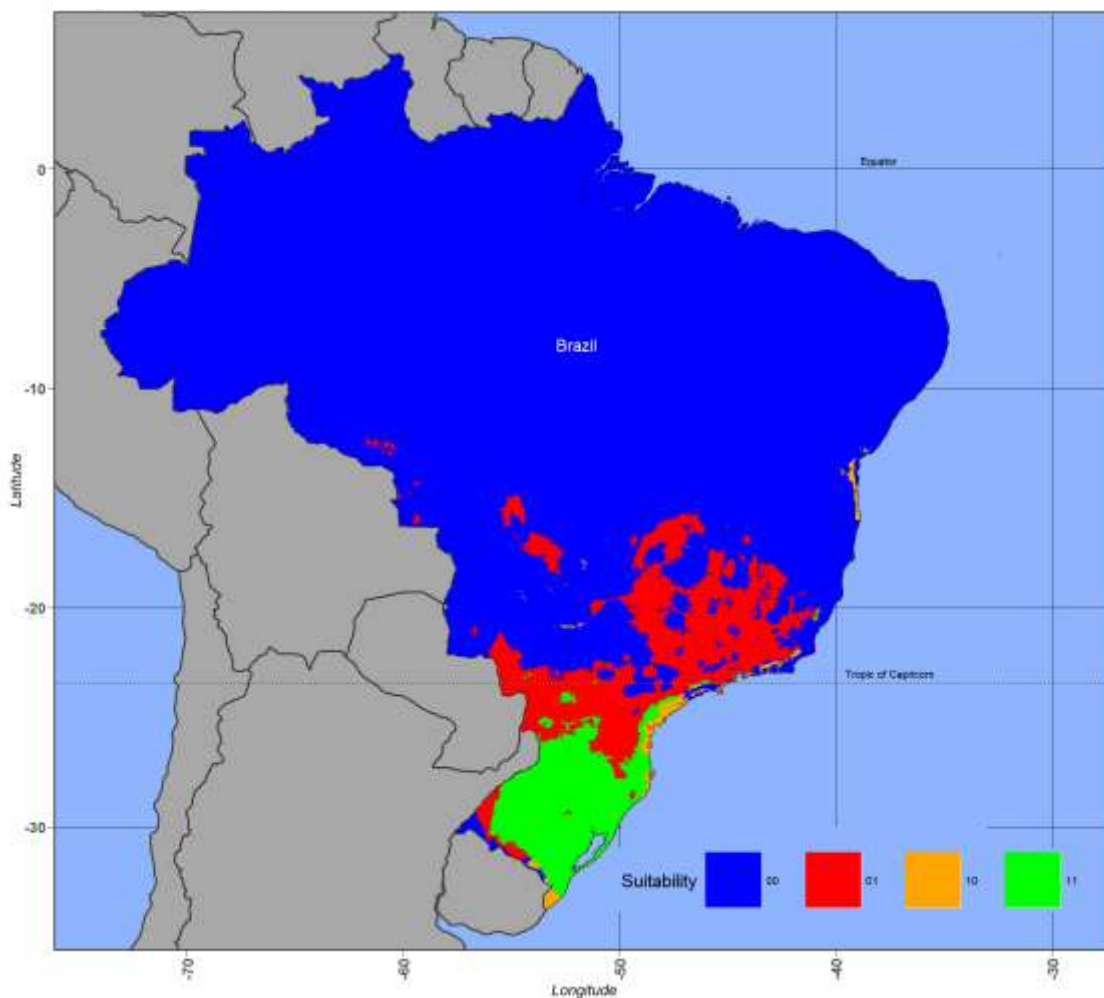
304

305 Figura 4 – Sobreposição de adequabilidade de habitat tanto para *Scaptotrigona bipunctata*
 306 (*Sb*) quanto para as plantações de canola nos cenários atual e futuro. As projeções do futuro
 307 são pessimistas e para década de 2050. Legenda de adequabilidade (*Suitability*): o primeiro
 308 algarismo refere-se à *Sb* e o segundo a canola, sendo 0 para ausente e 1 para presente. Em
 309 cores, azul significa inadequado para as duas espécies *Sb* e canola (00), vermelho significa
 310 adequado somente para canola (01), laranja significa adequado para *Sb* (10) e verde
 311 adequado para ambas as espécies (11).

312

313 Já ao avaliarmos *T. fiebrigi* e canola encontramos que 87% (7.386.940 km²) do
 314 território brasileiro é inadequada para ambas espécies, enquanto que 4,5% é adequado
 315 (380.886 km²), predominantemente no Estado do Rio Grande Sul (Figura 5). Somente
 316 0,5% é adequado para *T. fiebrigi* e não para a cultura (43.018 km²). Porém 8,3 % é

317 adequado para canola e não para a abelha (704.921 km²). Portanto, no cenário futuro há
318 10% de áreas adequadas as lavouras de canola e não as espécies de abelhas estudadas.
319



320
321

322 Figura 5 – Sobreposição de adequabilidade de habitat tanto para *Tetragonisca fiebrigi* (*Tf*)
323 quanto para as plantações de canola nos cenários atual e futuro. As projeções do futuro são
324 pessimistas e para década de 2050. Legenda de adequabilidade (*Suitability*): o primeiro
325 algarismo refere-se à *Tf* e o segundo a canola, sendo 0 para ausente e 1 para presente. Em
326 cores, azul significa inadequado para as duas espécies *Tf* e canola (00), vermelho significa
327 adequado somente para canola (01), laranja significa adequado para *Tf* (10) e verde
328 adequado para ambas as espécies (11).

329

330

331 **Discussão**

332 **Habitat climático das abelhas sem ferrão**

333 O impacto do aquecimento global na distribuição das espécies de polinizadores
334 afeta negativamente a produção agrícola (Giannini et al., 2012). Diversos estudos de
335 monitoramento da fauna silvestre apontam o declínio local na abundância e riqueza de
336 polinizadores (Parmesan & Yohe, 2003; Biesmeijer et al., 2006; Dupont et al., 2011;
337 Tingley et al., 2009; Chen et al., 2011; LeBuhn et al., 2013). Este declínio deve-se a um
338 somatório de fatores como fragmentação de habitat, espécies invasoras, práticas agrícolas
339 não amigáveis aos polinizadores e mudanças climáticas, sendo reportados em todos os
340 agroecossistemas (Morandin & Winston 2005; Potts et al., 2010).

341 Para entender melhor a distribuição das espécies em virtude das mudanças
342 climáticas, Elith & Leathwick (2009) ressaltam a relevância da construção de mapas de
343 adequabilidade climática para conservação de polinizadores e manejo adequado da terra.
344 Entre os polinizadores destacam-se as abelhas sem ferrão, importantes polinizadoras para
345 diversas culturas agrícolas, as quais tem seu habitat alterado em função das mudanças
346 climáticas (Giannini et al., 2012).

347 Pode-se verificar nos mapas de adequabilidade de habitat que a *S. bipunctata* é
348 predominante nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, sendo que acompanha a
349 região litorânea. Esta abrangência pode estar relacionada à Mata Atlântica que é o único
350 ecossistema brasileiro que ocupa uma faixa extensão do Norte ao Sul do país, se
351 estendendo mais de 4.000 km na costa litorânea (Alves-dos-Santos, 1999), sendo um dos
352 *hotspots* mundiais mais afetados com perda e fragmentação de habitat (Ferreira et al.,
353 2015). A riqueza de recursos na Mata Atlântica é homogênea, sendo que este ecossistema
354 funciona como uma via de circulação e dispersão de espécies, entre elas as abelhas (Alves-

355 dos-Santos, 1999). Como a a abelha *S. bipunctata* tem hábito de nidificação em ocos de
356 árvores esta diminuição da abrangência da espécie pode estar relacionada à diminuição da
357 área original da Mata Atlântica. Além disso, um estudo comparando escala regional e local
358 demonstrou que há impacto negativo sobre a abundância de abelhas, especialmente aquelas
359 que utilizam árvores para nidificar (Ferreira et al, 2015).

360 Em relação à *T. fiebrigi* no cenário futuro podese-se observar que há uma expansão
361 da distribuição geográfica, incluindo novas áreas no Estado de Santa Catarina. Esta região
362 também é composta pelo Bioma Mata Atlântica. Além disto, esta expansão favore a cultura
363 da canola, pois esta também se apresenta como adequada em praticamente todo o Estado de
364 Santa Catarina.

365

366 **Habitat climático de canola**

367 De acordo com os resultados, o Estado do RS é maior produtor brasileiro de canola
368 na atualidade e deverá permanecer nesta posição como mostra as projeções para 2050.
369 Santa Catarina é o segundo Estado com maior área adequada para lavouras de canola. Em
370 contraposição, nas áreas a oeste de SC e Paraná haverá nos cenários futuros uma redução de
371 adequabilidade de habitat para cultura. Tendo isto em vista, duas estratégias se tornam
372 importantes: 1) utilizar novas cultivares para que tenham maior tolerância às variáveis
373 climáticas, visto que as mudanças climáticas afetam a fenologia das plantas, e 2) estimular
374 novas áreas de plantio de canola em habitats adequados nos cenários futuros, mostrados
375 neste trabalho. No RS, por exemplo, há cinco milhões de hectares de soja plantada no
376 verão, enquanto que há somente 47 mil hectares plantados de canola no inverno (CONAB,
377 2016), ou seja, há um elevado potencial de expansão para a cultura na região. Além disso,
378 estudo de Pinto et al. (2008) mostra que a soja é a cultura brasileira mais afetada pelas

379 mudanças climáticas, podendo chegar a 40% de perdas em 2070, levando a um prejuízo de
380 até R\$ 7,6 bilhões. Portanto, os cenários futuros mostram um potencial crescimento da
381 cultura de canola no Brasil, pois existe uma elevada demanda mundial de oleaginosas,
382 sendo esta a terceira mais produzida no mundo.

383

384 **Habitat climático compartilhado entre canola e as abelhas sem ferrão**

385 O Brasil possui um importante papel na produção agrícola, pois ocupa o 3º lugar
386 mundial na produção de alimentos, com previsões da Organização Mundial do Comércio de
387 responder por 40% em 50 anos. As áreas de adequabilidade de habitat para canola e *S.*
388 *bipunctata* ocupam 11% do território nacional, predominando nas regiões Sul e Sudeste do
389 país. O mapa de adequabilidade climática também mostra que há perda de áreas na costa
390 litorânea e em regiões do centro-oeste. Tal fato deve-se a drástica redução da Mata
391 Atlântica, diminuindo os corredores ecológicos para os polinizadores. A redução no
392 Centro-Oeste, possivelmente ocorre devido à heterogeneidade dos ecossistemas vizinhos à
393 Mata Atlântica, que não permitem a permanência de tubuna na região (Alves-dos-Santos,
394 1999). Além disso, com as cultivares existentes de *B. napus*, são necessários novos estudos
395 para que a cultura se adapte às condições climáticas daquela região, pois as cultivares
396 presentes no Brasil são predominantemente para clima mais frio, como no Sul do país.
397 Além disso, estudos mostram que as mudanças climáticas também afetam a fenologia das
398 plantas, influenciando negativamente os serviços prestados pelos polinizadores (Aldridge et
399 al., 2011).

400 As áreas de habitat adequado compartilhados por canola e *T. fiebrigi* predominam
401 no Estado do Rio Grande do Sul, destacando-se como um relevante polo agrícola do país,
402 onde a agricultura ocupa um dos três pilares da economia local juntamente com a indústria

403 e a pecuária. O RS possui somente 2,67% de áreas protegidas, no total de 40 unidades de
404 conservação. Portanto, torna-se necessária medidas na agricultura, não somente para
405 polinização das culturas, mas também para conservação das espécies e manutenção de
406 corredores ecológicos entre culturas agrícolas e áreas conservadas.

407 O aumento das áreas de adequadas à canola e à *T. fiebrigi* possivelmente está
408 associado a rota de dispersão das espécies de abelhas encontradas no Rio Grande do Sul
409 que pode ocorrer de três maneiras: pela Mata Atlântica, pela vegetação da Planície Costeira
410 no litoral ou pela Mata de Araucária e Campos Abertos do Alto da Serra (Alves-dos-
411 Santos, 1999). Esta rota da abelha associada a expansão da cultura mais ao norte do país,
412 faz com que seja um consórcio benéfico para ambas, pois as *T. fiebrigi* ganham recursos
413 alimentares, pólen e néctar, em período de escassez de alimento (inverno) e as flores de
414 canola ganham um eficiente polinizador.

415 Ao compararmos a adequabilidade de habitat para canola e depois em sobreposição
416 com as espécies sem ferrão, verificou-se que há sobreposição em cerca de 15% de área
417 adequada para ambas. No entanto, ainda há 10% de áreas adequadas a cultura e não às
418 espécies de abelhas avaliadas, por este motivo sugere-se novos estudos com outras abelhas
419 nativas com ocorrência nas áreas adequadas à cultura para incremento na polinização
420 cruzada e na produção de grãos de canola.

421

422

423 **Referências**

424 Aldridge, G., Inouye, D.W., Forrest, J.R.K., Barr, W.A., Miller-Rushing, A.J., 2011.
425 Emergence of a mid-season period of low floral resources in a montane meadow ecosystem
426 associated with climate change. *J. Ecol.* 99, 905–913.

427 Ali, M., Saeed, S., Sajjad, A., Whittington, A., 2011. In search of the best pollinators
428 (*Brassica napus* L.) production in Pakistan. *Appl. Entomol. Zool.* 46, 353-361.

- 429 Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution
430 models: prevalence, kappa and the True Skill Statistic (TSS). *J.f Appl. Ecol.* 43(6), 1223–
431 1232.
- 432 Alves-dos-Santos, I., 1999. Abelhas e plantas melíferas da mata atlântica, restinga e dunas
433 do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Entomol.* 43, 191–223.
- 434 Anderson, R.P., Lew, D., Peterson, A.T., 2003. Evaluating predictive models of species
435 distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Model.* 162, 211–232.
- 436 Araújo, M.B., 2007. New M. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol.*
437 *Evol.* 22(1), 42–7.
- 438 Arena, M. e Sgolastra, F., 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to
439 pesticidas. *Ecotoxicology*, 23(3), 324-34.
- 440 Associação Brasileira de Produtores de Canola (Abrascanola), 2017.
441 <http://abrascanola.com.br/> (Accessed in: 12.01.2017)
- 442 Becker H.C., Damgaard C., Karlsson B., 1992. Environmental variation for outcrossing rate
443 in rapeseed (*Brassica napus*). *Theor. Appl. Genet.* 84, 303–306.
- 444 Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemuller, R., Edwards, M., Peeters, T.,
445 Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E., 2006.
446 Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands.
447 *Science* 313, 351–354.
- 448 Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Halinski, R., Lopes, L.A., Witter, S., 2014. Comparative
449 study of the floral biology and of the response of productivity to insect visitation in two
450 rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.) in Rio Grande do Sul. *Braz. J. Biol.* 74(4), 787-794.
- 451 Bommarco, R., Marini, L., Vaissière, B.E., 2012. Insect pollination enhances seed yield,
452 quality and marked value in oilseed rape. *Oecologia* 169, 1025-1032.
- 453 Carvalho, L.G., Kunin, W.E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W.N., Fox, R.,
454 Groom, Q., Hennekens, S., Van Landuyt, Maes, D., Van de Meutter, F., Michez, D.,
455 Rasmont, P., Ode, B., Potts, S.G., Reemer, M., Roberts, S.P.M., Schaminée, J.,
456 WallisDeVries, M.F., Biesmeijer, J.C., 2013. Species richness declines and biotic
457 homogenization have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecol. Lett.*,
458 16, 870-878.
- 459 Catálogo Moure, 2016. <http://moure.cria.org.br/> (Accessed in: 15.10.2016)
- 460 Chefaoui, R.M. e Lobo, J.M., 2008. Assessing the effects of pseudoabsences on predictive
461 distribution model performance. *Ecol. Model.* 210, 478-486.
- 462 Chen, I.C., Hill, J.K., Shiu, H.J., Holloway, J.D., Benedick, S., Chey, H., Barlow, S.,
463 Thomas, C.D., 2001. Asymmetric boundary shifts of tropical montane Lepidoptera over
464 four decades of climate warming. *Global Ecol. Biogeogr.* 20, 34–45.
- 465 Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB), 2016. <http://www.conab.gov.br>
466 (Accessed in: 22.10.2016)
- 467 Dupont, Y.L., Damgaard, C., Simonsen, V., 2011. Quantitative historical change in
468 bumblebee (*Bombus* spp.) assemblages of red clover fields. *PLoSOne* 6, e25172.

- 469 Domisch, S., Kuemmerlen, M., Jähnig, S.C., Haase, P., 2013. Choice of study area and
470 predictors affect habitat suitability projections, but not the performance of species
471 distribution models of stream biota. *Ecol. Model.* 257, 1–10.
- 472 Elith, J., Graham, C., Anderson, R., et al., 2006. Novel methods improve prediction of
473 species distributions from occurrence data. *Ecography (Cop)* 29, 129–151.
- 474 Engler, R., Randin, C.F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N.E., Araújo, M.B., et
475 al., 2011. 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe.
476 *Glob. Chang. Biol.* 17(7):2330–2341.
- 477 Ferreira, P.A., Boscolo, D., Carvalheiro, L.G., Biesmeijer, J.C., Rocha, P.L., Viana, B.F.,
478 2015. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic
479 Rainforest. *Landsc. Ecol.* 30, 1-12.
- 480 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009. How to Feed the
481 World in 2050. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/
482 How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf)
- 483 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. Pollinators,
484 Available from: <http://www.fao.org/biodiversity/components/pollinators/en/> (Accessed:
485 10.11.2016)
- 486 Franklin, J., 2009. Mapping species distributions—spatial inference and prediction.
487 Cambridge: Cambridge University Press.
- 488 Gallai, N., Salles, J.M., Settele, J., Vaissière, B.E., 2009. Economic valuation of the
489 vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68,810–
490 821.
- 491 Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N.E., Thuiller, W., 2012. Invasive species
492 distribution models—how violating the equilibrium assumption can create new insights.
493 *Glob. Ecol. Biogeog* 21(11), 1126–1136.
- 494 Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., et al., 2013. Wild pollinators enhance
495 fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 80(339), 1608–1611.
- 496 Giannini, T.C., Acosta, A.L., Garófalo, C.A., Saraiva, A.M., Alves dos Santos, I.,
497 Imperatriz-Fonseca, V.L., 2012. Pollination services at risk: bee habitats will decrease
498 owing to climate change in Brazil. *Ecol. Model.* 244,127–131.
- 499 Giannini, T.C., Cordeiro, G.D., Freitas, B.M., Saraiva, A.M., Imperatriz-Fonseca, V.L.,
500 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in
501 Brazil. *J. Econ. Entomol.* 108, 849–857.
- 502 Halinski, R., 2013. Assembleia de abelhas e efeito da distância de remanescentes florestais
503 na produção de grãos e no valor econômico de *Brassica napus* (Hyola 420) no sul do
504 Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Pontifícia Universidade Católica
505 do Rio Grande do Sul. pp. 92.
- 506 Halinski, R., Dorneles, A.L., Blochtein, B., 2015. Bee assemblage in habitats associated
507 with *Brassica napus* L. *Rev. Bras. Entomol.* 59, 222–228.

508 Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high
509 resolution interpolated climate surfaces for global land areas International. J. Climatol.
510 25(15), 1965–1978.

511 Hutchinson, G.E., 1957. Concluding Remarks. In: Cold Spring Harbour Symposium on
512 Quantitative Biology. pp. 415–427.

513 Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., 2007. Threshold criteria for conversion of probability of
514 species presence to either-or presence-absence. Acta Oecologica 31(3), 361–369.

515 Jones, C.C., Acker, S.A., Halpern, C.B., 2010. Combining local- and large-scale models to
516 predict the distributions of invasive plant species. Ecol. Appl. 20(2), 311–326.

517 Klein, A., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen,
518 C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.
519 Proc. R. Soc. B. 274, 303–313.

520 Koh, I., Lonsdorf, E.V., Williams, N.M., Brittain, C., Isaacs, R., Gibbs, J., Ricketts, T.H.,
521 2016. Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States.
522 PNAS, 113, 140–145.

523 LeBuhn, G., Droege, S., Connor, E.F., Gemmill-Herren, B., Potts, S.G., Minckley, R.L.,
524 Griswold, T., Jean, R., Kula, E., Roubik, D.W., et al., 2013. Detecting insect pollinator
525 declines on regional and global scales. Cons. Biol. 27, 113–120.

526 Lindauer, M. e Kerr, W.E, 1960. Communication between the workers of stingless bees.
527 Bee World 41, 29-41.

528 McGregor, S.E., 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. US Department of
529 Agriculture, Washington, DC.

530 Morandin, L.A. e Winston, M.L., 2005. Wild bee abundance and seed production in
531 conventional, organic, and genetically modified canola. Ecol. Appl. 15, 871–881.

532 Mouton, A.M., De Baets, B., Goethals, P.L.M., 2010. Ecological relevance of performance
533 criteria for species distribution models. Ecol. Model. 221(16), 1995–2002.

534 Mussury, R.M. e Fernandes, W., 2000. Studies of the floral biology and reproductive system
535 of *Brassica napus* L. (Cruciferae). Braz. Arch. Biol. Technol. 43, 111-117.

536 Nogueira-Neto, P., 1997. Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão, Nogueirapis, São
537 Paulo.

538 Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by
539 animals? Oikos 120, 321–326.

540 Parmesan, C., e Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts
541 across natural systems. Nature 421, 37–42.

542 Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species
543 geographic distributions. Ecol. Modell., 190, 231–259.

544 Phillips, S.J., Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new
545 extensions and a comprehensive evaluation. Ecography 31(2), 161–175.

546 Pinto, D.M., Himanen, S.J., Nissinen, A., Nerg, A.M., Holopainen, J.K., 2008. Host
547 location behavior of *Cotesia plutellae* Kurdjumov (Hymenoptera: Braconidae) in ambient
548 and moderately elevated ozone in field conditions. *Environ. Pollut.* 156, 227–231.

549 Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., et al., 2010. Global pollinator declines: Trends,
550 impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.* 25, 345–353.

551 Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, T.H., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze,
552 T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., 2016. safeguarding
553 pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632), 220–229.

554 R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. The R
555 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

556 Rosa, A.S.B., Blochtein, B., Lima, K., 2011. Honey bee contribution to canola pollination
557 in Southern Brazil. *Sci. Agric.* 68, 255-259.

558 Stockwell, D.R.B., Peters, D., 1999. The GARP Modeling System: problems and solutions
559 to automated spatial prediction. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 13, 143-158.

560 Stockwell, D.R., Peterson, A.T., 2002. Effects of sample size on accuracy of species
561 distribution models. *Ecol. Modell.* 148, 1–13.

562 Tingley, M.W., Monahan, W.B., Beissinger, S.R., Moritz, C., 2009. Birds track their
563 Grinnellian niche through a century of climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106,
564 19637–19643.

565 Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., 2013. Ensemble platform for species distribution
566 modeling—Package "biomod2". <http://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/biomod2.pdf>.

568 Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araújo, M.B., 2009. BIOMOD—A platform for
569 ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32, 369–373.

570 United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN), 2015.
571 <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html>. (Accessed in:
572 17.09.2016)

573 Villas-Bôas, J., 2012. Manual Tecnológico: Mel de Abelhas sem Ferrão. Instituto
574 Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasília, DF, pp. 96.

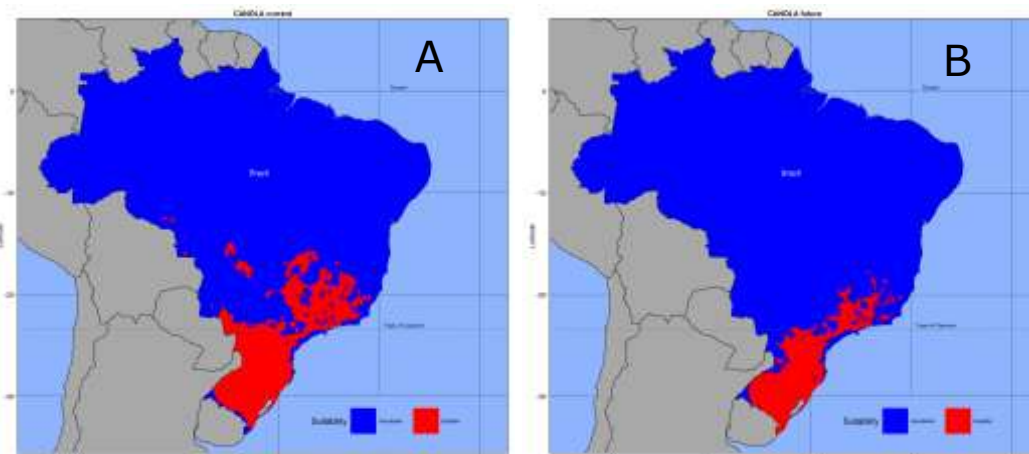
575 Williams, I.H., Martin, A.P., White, R.P., 1986. The pollination requirements of oil-seed
576 rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci.* 106, 27–30.

577 Witter, S., Blochtein, B., Nunes-Silva, P., Tirelli, F.P., Lisboa, B.B., Bremm, C., Lanzer,
578 R., 2014. The bee community and its relationship to canola seed production in homogenous
579 agricultural areas. *J. Pollinat.Ecol.* 12(3), 15-21.

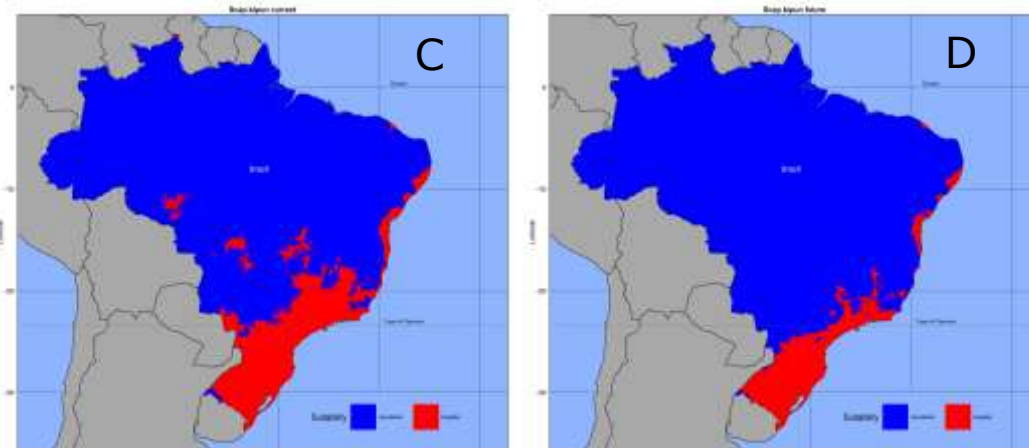
580 Witter, S., Nunes-Silva, P., Lisboa, B.B., Tirelli, F.P., Sattler, A., Hilgert-Moreira, S.B.,
581 Blochtein, B., 2015. Stingless bees as alternative pollinators of canola. *J. Econ. Entomol.*,
582 1–7.
583

584 Material Suplementar 1 – Mapa de adequabilidade de habitat para canola, *Scaptotrigona*
585 *bipunctata* e *Tetragonisca fiebrigi* no Brasil nos cenários atuais e futuro (projeção
586 pessimista para o ano de 2050). A) Cenário atual de canola; B) Cenário futuro de Canola;
587 C) Cenário atual de *Scaptotrigona bipunctata*; D) Cenário futuro de *Scaptotrigona*
588 *bipunctata*; E) Cenário atual de *Tetragonisca fiebrigi* e F) Cenário futuro de *Tetragonisca*
589 *fiebrigi*.
590

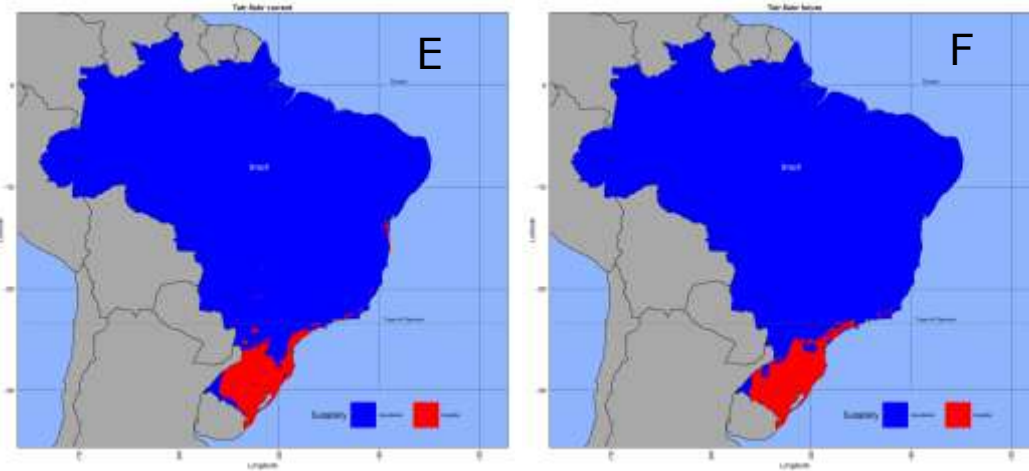
591



592



593



594 Material Suplementar 2 – Quantidade de modelos utilizados cada algoritmo do pacote
 595 biomod2 para *Scaptotrigona bipunctata*, *Tetragonisca fiebrigi* e *Brassica napus*.
 596

ALGORITMOS	<i>Scaptotrigona bipunctata</i> <i>Tetragonisca fiebrigi</i> <i>Brassica napus</i>		
	Quantidade de modelos		
GAM	4	7	9
CTA	3	6	9
RF	9	9	9
GLM	7	9	9
GBM	7	9	9
ANN	3	7	9
FDA	4	8	8
MARS	5	9	9
MAXENT	3	3	9
SER	2	1	0
Total selecionado	47	68	80

597

598 **Considerações finais**

599

600 Com esta tese pretendi contribuir com três lacunas acerca da cultura da canola no
601 RS: diversidade de polinizadores, produtividade e mudanças climáticas. Na diversidade de
602 polinizadores, encontrei que as vespas sociais *Brachygastra lecheguana* e *Protonectarina*
603 *sylveirae* (Polistinae) e as solitárias *Campsomeris* spp., *Eucyrtothygnus* spp. e *Tiphia* spp.
604 (*Tiphidae*) são potenciais polinizadoras de canola. Também observei que *Campsomeris*
605 *quadrifasciata* foi a mais abundante das vespas caçadoras no agroecossistema de canola,
606 enquanto que *Tiphia* spp. foi a mais abundante da guilda dos visitantes florais. O taxon
607 mais abundante do grupo das vespas foi *Microhymentoptera*, sendo este grupo bioindicador
608 de distúrbios ambientais. Outro aspecto interessante a respeito das vespas foi que a maior
609 abundância destes insetos foi encontrada na vegetação campestre quando comparada às
610 lavouras de canola e ao remanescente florestal, que corrobora com os achados para as
611 abelhas.

612 Em relação aos coleópteros encontrados no agroecossistema de canola pode-se
613 destacar as seguintes famílias: Melyridae, Curculionidae, Nitidulidae, Chrysomelidae e
614 Scarabaeidae. A espécie mais coletada, *Astylus variegatus*, popularmente conhecida como
615 vaquinha, é uma espécie polínifiga e apresenta-se como potencial polinizador de canola,
616 apesar da baixa abundância no período da floração da cultura. Pode-se observar também
617 que a abundância e riqueza de coleópteros não foi relacionada aos fatores abióticos,
618 revelando-se “polinizadores seguros” quando comparados a abelhas que são influenciadas
619 pelo clima.

620 A produtividade de canola foi positivamente influenciada pela diversidade de
621 abelhas na cultura. Foram encontradas tanto abelhas nativas, quanto exótica, *Apis mellifera*,
622 que demonstraram contribuir significativamente para a produção de grãos. Também pode-
623 se registrar que o tamanho corporal das abelhas coletadas na canola influenciou na distância
624 de vôo percorrida no interior da lavoura de canola e, conseqüentemente, na taxa de
625 polinização. Do ponto de vista prático, a inclusão de colmeias deve ser planejada de acordo
626 com a capacidade de voo da espécie e escolhido um local apropriado para que se tenha uma
627 taxa de polinização elevada em toda a lavoura. Além disso, destaco a necessidade de se
628 estreitar relações entre apicultores/meliponicultores com agricultores, pois é uma relação
629 benéfica para ambos tanto para fortalecimento de colônias de abelhas no período do

630 inverno e produção do mel de canola como para aumento da produtividade da cultura e,
631 consequentemente, do lucro para o produtor. Um fato que me alegra é que no início da
632 Rede Canola em 2009 não haviam colônias de abelhas de nenhuma espécie nas lavouras de
633 canola e agora em 2017 faltam colônias para as lavouras, pois já houve uma difusão desse
634 conhecimento acerca da importância dos polinizadores. Espero continuar contribuindo para
635 o desenvolvimento da cultura e da manutenção e conservação dos polinizadores nativos.

636 Também pude concluir que a manutenção das abelhas silvestres, sociais e solitárias,
637 é diretamente dependente das práticas adotadas no meio rural, seja nas lavouras de canola
638 ou nos fragmentos florestais adjacentes à cultura. Tradicionalmente no Sul do país quando
639 se quer aumentar a produtividade agrícola se desmata mais para ter maior área de plantio, o
640 que para a canola pode-se comprovar com as minhas pesquisas que tanto do ponto de vista
641 ambiental (presença de insetos polinizadores) quanto econômico (redução da quantidade de
642 grãos produzidos) esta estratégia é falha, ou seja, o remanescente florestal é importante para
643 manutenção dos polinizadores e do lucro.

644 Em cada um dos municípios estudados pode-se ver que a composição de insetos
645 polinizadores associados ao agroecossistema de canola respondeu a fatores ecológicos e
646 históricos de cada região, diretamente associados a qualidade dos habitats para as espécies e
647 afetaram a produtividade de grãos. Guarani das Missões é o município com a maior área de
648 monocultura, proporcionalmente, fato que ressalta a maior quantidade de espécies
649 subsociais e solitárias, que nidificam no solo e que não dependem de remanescentes
650 florestais. Já o município de Estrela situa-se em uma região com maior influência urbana,
651 com presença de jardins e mosaicos agrícolas, o que permite a conectividade de
652 polinizadores nas áreas. Em Esmeralda, na serra gaúcha, numa altitude de cerca de 900m,
653 pode-se encontrar espécies características da região e distintas das outras áreas estudadas.

654 Ao analisar a adequabilidade de habitat para as espécies de abelhas sem ferrão,
655 projetou-se em cenários futuros a predominância de *Scaptotrigona bipunctata* (tubuna) nos
656 estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, se estendendo pela região litorânea. Esta
657 abrangência está relacionada à Mata Atlântica, um dos *hotspots* mundiais mais afetados
658 com perda e fragmentação de habitat. Já nos cenários futuros de *Tetragonisca fiebrigi*
659 (jataí) indicam predominância no Estado do Rio Grande do Sul, incluindo novas áreas em
660 Santa Catarina. A área com adequabilidade climática para canola e a espécie polinizadora

661 *Scaptotrigona bipunctata* é de 11% do território brasileiro nos cenários futuros,
662 predominando nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, enquanto que a adequabilidade para
663 canola e *T. fiebrigi* é mais restrita, de 4,5%, majoritariamente no RS. Também pode-se
664 estimar nas projeções futuras para 2050, a partir deste estudo o RS permanecerá líder na
665 produção de canola no Brasil. No entanto, demanda-se novas pesquisas com espécies de
666 abelhas nativas visto que há 10% de áreas adequadas para canola no território brasileiro que
667 não são adequadas para as abelhas *Scaptotrigona bipunctata* e *Tetragonisca fiebrigi*.

668 Também no âmbito deste doutorado realizei diversas palestras e capacitações a
669 respeito da canola, sendo que algumas contribuições geraram dois capítulos (Capítulo 3:
670 Importância de *Apis mellifera* na polinização e produtividade de canola e Capítulo 5: Valor
671 dos serviços ambientais de polinização) do livro “Abelhas na Polinização de Canola:
672 benefícios ambientais e econômicos” disponível em ebook para download no site:
673 <http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/Ebooks/Pdf/978-85-397-0591-7.pdf> e o “Plano de Manejo
674 para Polinização da Cultura da Canola” disponível em:
675 [http://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/57-polinizadores?download=](http://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/57-polinizadores?download=1220:plano-de-manejo-para-poliniza%C3%A7%C3%A3o-da-cultura-da-canola)
676 [1220:plano-de-manejo-para-poliniza%C3%A7%C3%A3o-da-cultura-da-canola](http://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/57-polinizadores?download=1220:plano-de-manejo-para-poliniza%C3%A7%C3%A3o-da-cultura-da-canola). Além
677 disso, outros 13 trabalhos foram apresentados em congressos, simpósios e Encontro Sobre
678 Abelhas (<http://lattes.cnpq.br/4747811905911498>).