



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA
(UFC/UFPB/UFRPE)

ANTONIO DIEGO DE MELO BEZERRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RELAÇÃO POLINIZADOR-
CULTURA AGRÍCOLA E ALTERNATIVAS PARA MITIGAR SEUS EFEITOS: O
CASO DAS ABELHAS *Xylocopa spp.* E O MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis*)**

FORTALEZA

2018

ANTONIO DIEGO DE MELO BEZERRA

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RELAÇÃO POLINIZADOR-
CULTURA AGRÍCOLA E ALTERNATIVAS PARA MITIGAR SEUS EFEITOS: O CASO
DAS ABELHAS *Xylocopa spp.* E O MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis*)

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Orientador: Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B469i Bezerra, Antonio Diego de Melo.
Impactos das mudanças climáticas na relação polinizador-cultura agrícola e alternativas para mitigar seus efeitos : O caso das abelhas *Xylocopa* spp. e o maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) / Antonio Diego de Melo Bezerra. – 2018.
127 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas.
1. Abelhas mamangavas. 2. desencontro espacial. 3. maracujazeiro. 4. *Xylocopa frontalis*. 5. *Xylocopa grisescens*. I. Título.

CDD 636.08

ANTONIO DIEGO DE MELO BEZERRA

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RELAÇÃO POLINIZADOR-
CULTURA AGRÍCOLA E ALTERNATIVAS PARA MITIGAR SEUS EFEITOS: O CASO
DAS ABELHAS *Xylocopa spp.* E O MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis*)

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Júlio Otávio Portela Pereira
Instituto Federal do Estado do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Luciano Pinheiro da Silva (UFC)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino (UFC)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Alípio José de Sousa Pacheco Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A **Deus**, que quando me sentia, desacreditado e perdido em meio a objetivos e ideais, me deu forças e me fez apreciar a delícia de viver.

À **família e aos amigos** que me incentivaram e apoiaram, e cujos conselhos, julgo, tiveram grande importância na minha formação acadêmica e pessoal.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A realização da presente tese não seria possível sem a participação de várias pessoas e instituições, às quais agradeço:

À Deus, pela realização do presente trabalho e pelas oportunidades e experiências que foram dadas a mim.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia – UFC/UFPB/UFRPE, pela possibilidade de realização dessa tese.

A Capes, pela bolsa de estudos concedida durante o curso de doutorado.

Aos Doutores, professores e pesquisadores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado:

Professor e orientador Dr. Breno Magalhães Freitas, pela oportunidade, incentivo, confiança, apoio, orientação criteriosa com seus conhecimentos científicos, bons conselhos e amizade, os quais foram de grande importância para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao amigo e professor do IFCE-SOBRAL Dr. Júlio Otávio Portela Pereira, pelo apoio, prontidão e por suas contribuições na tarefa de qualificação, cujo esforço contribuiu para a melhoria também deste trabalho.

Ao amigo Dr. Luciano Pinheiro da Silva, pela ajuda nos desenvolvimentos das análises de sobrevivência utilizada.

Ao amigo, Dr. Isac Gabriel Abrahão Bomfim, pelo o apoio, prontidão, ajuda sem medir esforços, e sugestões.

Ao amigo Dr. Alípio José de Souza Pacheco Filho, pela ajuda com a estatística dos dados, elaboração de gráficos e aplicação dos métodos para o estudo de modelagem.

Ao Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino, sempre apoiando e incentivando o meu desenvolvimento pessoal, técnico e científico e por suas avaliações criteriosas tanto na tarefa de qualificação, como também como membro da banca examinadora de Doutorado.

Ao Prof. Ph.D. Guy Smagghe, Universidade de Ghent, Bélgica, que contribuiu para melhoria do trabalho.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Francisca das Chagas Beserra Gomes, pela prontidão e disponibilidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em especial Maria Socorro Carneiro, Arlindo Moura, Ednardo Rodrigues e Luciano Pinheiro pelo incentivo durante o curso de Doutorado.

Aos técnicos do Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia, Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino, Francisco José Carneiro da Silva e Hélio Rocha Lima, pelo apoio, amizade e companheirismo e disposição em ajudar sempre quando necessário.

Aos amigos do curso de Doutorado em Zootecnia, em especial, Leonardo Gurgel e Jânio Felix, Victor Monteiro, Dra. Nayanny Fernandes, Gercy Pinto e Dra. Epifânia Macedo, pela amizade, companheirismo, incentivo e bons momentos.

Ao amigo Dr. Luiz Wilson Lima-Verde por suas sugestões para construção do material bibliográfico.

Aos amigos que participaram e participam do Grupo de Pesquisas com Abelhas da UFC, em especial a Dr. Antônio Abreu Neto, Camila Lemos, David Nogueira, Leonardo Gurgel, Natalia Oliveira, Dr. Mikail Oliveira, Dr. Rômulo Rizzardo, Dra. Patricia Barreto e Dr. Valdenio Macenas, pela a amizade e companheirismo.

A todos os voluntários do Grupo de Pesquisa com Abelhas da UFC.

À minha grande e sincera amiga Dr. Michelle de Oliveira Guimarães, pelo o apoio, amizade, incentivo, e conselhos dados desde o início da graduação que influenciaram diretamente nas minhas escolhas e na realização deste grande sonho.

Aos amigos da Pós-Graduação em Zootecnia, Ana Luísa Cazaux, Fágner Cavalcante, Taciane Alves, Verónica Hoyos, e Danilo Camilo, pelo companheirismo e bons momentos durante a pós-graduação.

A minha família, em especial, a minha mãe Luzimary de Melo, padastro Etevaldo Portela, minha tia Hercilia de Melo e avó Luzia de Melo, pela ajuda, educação e formação nos últimos anos.

E, finalmente, aos amigos que participaram direta e indiretamente na construção e excito desse trabalho, assim como também aos que tiveram paciência e me deram bons conselhos para a minha formação acadêmica e pessoal.

*Sucesso não é o final, falhar não é fatal: é a
coragem para continuar que conta.*

Winston Churchill

RESUMO

As abelhas mamangava de toco (*Xylocopa* spp.) são importantes polinizadores agrícolas e fortemente associados como polinizadores do maracujá (*Passiflora* spp.). Portanto, essa é uma relação planta-polinizador bastante conhecida e tentativas de criação de abelhas mamangavas vêm sendo feitas para mitigar o déficit de polinização da cultura. Por outro lado, as mudanças climáticas põem em risco tanto os polinizadores quanto a cultura, sendo necessário o desenvolvimento de estratégias e criatórios de abelhas para amenizar os riscos do desencontro de polinizadores com a cultura agrícola. Dessa forma, o presente estudo investigou os efeitos das mudanças climáticas concomitantemente no maracujazeiro (*Passiflora edulis*) e duas espécies de abelhas (*Xylocopa frontalis* and *X. grisescens*), considerando dois cenários ambientais de mudanças climáticas do IPCC, RCP 4.5 e RCP 8.5, nos anos de 2060 e 2080, e, também, a utilização de barrotes de madeira *Pinus* sp. como alternativa de substrato de nidificação para abelhas mamangavas, visando seu criatório e introdução nas áreas de cultivo onde essas abelhas já não ocorram mais naturalmente. Os resultados mostraram que as mudanças climáticas podem levar a modificações nas áreas de ocorrência natural e perda de área adequada para as abelhas *Xylocopa* e a cultura do maracujazeiro. As predições apontam também uma potencial redução na sobreposição de áreas adequadas remanescentes para abelhas e maracujazeiro, aumentando potencialmente o desencontro espacial entre a cultura e os polinizadores. Os barrotes de madeira obtiveram sucesso na atração de fêmeas de mamangava, as quais foram capazes de construir seus ninhos, produzir e desenvolver suas crias e conseqüentemente foram utilizados por seus descendentes. Portanto, conclui-se que as áreas adequadas para coocorrência da cultura do maracujá e seus polinizadores efetivos poderá ser amplamente afetada na região neotropical e a adoção de práticas amigáveis a polinizadores juntamente com a implementação de criatórios de abelhas mamangavas utilizando barrotes de madeira como substrato de nidificação poderá contribuir para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, garantido populações de polinizadores viáveis nas áreas adequadas remanescentes para as abelhas e a cultura agrícola.

Palavras-chave: Abelhas mamangavas. Desencontro espacial. Maracujazeiro. *Xylocopa frontalis*. *Xylocopa grisescens*.

ABSTRACT

Carpenter bees (*Xylocopa* spp.) are important agricultural pollinators strongly associated with passion fruit (*Passiflora* spp.) crop. Therefore, this is a well-known plant-pollinator relationship and attempts for rearing breeding carpenter bees done aiming to mitigate pollination deficits in this crop. In the other hand, climate changes endanger both pollinators and crops, and it is necessary to develop strategies and to rear bees mitigate the risks caused by the climate changes through the spatial mismatch between pollinators and crop. Thereby, in this study, I investigated the concomitant effect of climate changes on passion fruit (*Passiflora edulis*) and its two main pollinator bee species (*Xylocopa frontalis* and *X. grisescens*), considering two of the IPCC environmental scenarios, RCP 4.5; RCP 8.5 in the years 2060 and 2080, and also, the use of wooden bars of *Pinus* sp. as an alternative substrate for carpenter bees ro nest aiming their captivity breeding and introduction in agricultural areas where they no longer occur naturally. I have shown that the climate changes may lead to changes in the natural occurrence areas with considerable losses of area adequate for *Xylocopa* bees as well as for cropping passion fruit. I also predicted a potential reduction in the overlapping of the remaining suitable areas for the bees and passion fruit, increasing the potential spatial mismatch between the crop and its pollinators. The wooden bars were successful in attracting females of carpenter bees, whose were able to build their nest, rear new brood and these nests were consequently used by their offspring. Therefore, we conclude that suitable areas to co-occurrence of passion fruit crop and its effective pollinators will be largely affected in the Neotropic and adoption of pollinator-friendly practices along with the breeding of carpenter bees using wooden bars as nesting substrate may contribute to mitigate the effects of the climate changes by ensuring viable population of pollinators in the remaining suitable areas for both bees and the crop.

Key words: Carpenter bees. Spatial mismatch. Passion fruit crop. *Xylocopa frontalis*. *Xylocopa grisescens*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapas dos modelos de predição para as espécies de abelhas *Xylocopa frontalis* (A, B, C), *Xylocopa grisescens* (D, E, F) e cultura do maracujá nas projeções do RCP 4.5 nos anos de 2060 e 2080 52
- Figura 2 – Mapas dos modelos de previsão para as espécies de abelhas *Xylocopa frontalis* (A, B, C), *Xylocopa grisescens* (D, E, F) e cultura do maracujazeiro nas projeções do RCP 8.5 nos anos de 2060 e 2080 54
- Figura 3 – Mapas de sobreposição das espécies de abelhas *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa grisescens* e cultura do maracujazeiro nos cenários atuais, moderado (RCP 4.5) e pessimistas (RCP8.5) nos anos de 2060 e 2080. Legenda: 0 – indica nenhuma ocorrência de espécie; 1 – área de ocorrência de uma da espécie; 2 – área de ocorrência de duas das espécies. 3 – área de ocorrência das três espécies 55
- Figura 4 – Localização do estudo com abelhas *Xylocopa frontalis*. A) Imagem de satélite do local do estudo (Em destaque com alfinete vermelho); B) Galpão utilizado para criação e manejo de abelhas mamangavas (*Xylocopa* sp.) 71
- Figura 5 – Substratos de madeira para nidificação de abelhas *Xylocopa frontalis*; A) Desenho esquemático do barrote de madeira com cavidade de 11 cm de profundidade utilizado para nidificação de abelhas mamangavas; B) Blocos de barrotes de madeira; B) Bambus utilizados com ninhos armadilhas; C) Tocos de madeira nidificados naturalmente mamangavas 72
- Figura 6 – Corte, abertura e aferição de parâmetros dos ninhos em barrotes de madeira. A) Corte e abertura dos ninhos de *Xylocopa frontalis* com serra tico-tico; B) Aferição de medidas com paquímetro digital 74
- Figura 7 – Relação dos barrotes (substratos de madeira) vazios e ocupados em relação a profundidade da cavidade ofertada para a nidificação de fêmeas de *Xylocopa frontalis* e reutilização dos substratos com cavidades de 11 cm. A) Número de barrotes de madeiras ocupados e vazios em relação a profundidade da

	cavidade ofertada; B) Número mínimo, máximo e média de barrotes de madeira vazios e ocupados por abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> ; C) Percentagem dos barrotes de madeira reutilizados com cavidade de 11 cm de profundidade (Legenda: 50% - Reutilizado uma única vez; 38% - Reutilizado duas vezes; 12% - Reutilizado mais de duas vezes)	77
Figura 8	– Número de novos ninhos ocupados de fêmeas de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> com cavidades ofertadas na profundidades de 3, 6 e 11 cm, Bambus e tocos de madeira. A) Número de abelhas de <i>Xylocopa frontalis</i> em ninhos com cavidades de profundidades de 3, 6 e 11 cm; B) Número de abelhas ocupando os barrotes de madeira, bambus e tocos de madeira	78
Figura 9	– Ninho efetivos de fêmeas de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> . A) Número de ninhos efetivos de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> com cavidades de profundidade 3 cm, 6 cm e 11 cm ofertadas inicialmente; B) Total de ninhos efetivos de <i>X. frontalis</i> e ninhos abandonados e taxa de abandono	79
Figura 10	– Curva de permanência (Modelo de Kaplan-Meyer) de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> em ninhos de madeira	81
Figura 11	– Curvas de comparação (<i>Randon Forest Model</i> , <i>Kapler-Meyer model</i> , <i>Cox Proportional Hazard Model</i>) de permanência de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> em ninhos de madeira com cavidades ofertadas com profundidades de 3, 6 e 11 cm	81
Figura 12	– Ninhos de abelhas mamangavas em barrotes de madeira. A) Barrote com galerias e câmara interna (em destaque) nidificado por <i>Xylocopa frontalis</i> ; B) Barrotes de madeira escavados por <i>Xylocopa frontalis</i> além dos limites do tamanho do substrato ofertado e com as galerias visíveis; C) Ninho de <i>Xylocopa frontalis</i> e galeria escavada para o barrote acima do ocupado	83
Figura 13	– Ninhos de <i>Xylocopa frontalis</i> em barrotes de madeira, parasitas e outras particularidades. A) Bloco de ninhos de <i>Xylocopa frontalis</i> em barrotes de madeira; B) Lascas de madeira fora na entrada do ninho; C) Fêmea de <i>Xylocopa frontalis</i> guardando o ninho; D) Macho de mamangava guardando o ninho e impedindo a entrada de outras abelhas; E) Fêmea retornando aos ninhos após voo de coleta de recursos; F) Massa de pólen compactada ao	

fundo do ninho, fêmea imatura e cria imaturo. G) Besouro (*Cissites maculata*) aguardando oportunidade para atacar o ninho; H) Besouros (*Cissites maculata*) em barrotes de madeira usados para nidificação de abelhas mamangavas; I) Retirada dos besouros parasitas de *Xylocopa* spp para coleta; J) Fêmea com asa deformada; K) Fêmea com massa de pólen na cabeça; L) Ninho de fêmea de *Xylocopa cearenses* construído nos barrotes de madeira; M) Célula de cria de *Xylocopa cearense* dentro de ninho de *Xylocopa frontalis* 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Sobreposição das áreas de potencial ocorrência de espécies nos cenários atuais e futuros (RCP 4.5, 2060; 2080 and RCP 8.5, 2060; 2080) para as espécies de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> , <i>Xylocopa grisescens</i> e cultura do maracujazeiro na região neotropical	56
Tabela 2	– Áreas potenciais (Km ²) de sobreposição entre a cultura do maracujazeiro e suas abelhas polinizadoras, <i>Xylocopa frontalis</i> and <i>X. grisescens</i> , no cenários atuais e cenários futuros na região neotropical	57
Tabela 3	– Relação entre a profundidade da cavidade de ninhos ofertados e o número de ninhos ocupados com fêmeas de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i>	76
Tabela 4	– Relação dos ninhos efetivos de abelhas <i>Xylocopa frontalis</i> com cavidades ofertadas com profundidade 3, 6 e 11 cm	80
Tabela 5	– Dimensões das principais estruturas dos ninhos das fêmeas de <i>Xylcopa frontalis</i> em barrotes de madeira	82

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3	PERDA DE ÁREA AGRÍCOLA E DESENCONTRO ESPACIAL DE POLINIZADORES DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PÕEM EM RISCO A PRODUÇÃO DO MARACUJÁ NA REGIÃO NEOTROPICAL.....	42
4	DINÂMICA DE OCUPAÇÃO E NIDIFICAÇÃO DE <i>XYLOCOPA FRONTALIS</i> EM BARROTES DE MADEIRA: ALTERNATIVA DE CRIATÓRIO RACIONAL PARA O SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO DO MARACUJAZEIRO.....	66
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A - BASE DE DADOS E VALORES DE AUC DOS MODELOS DE <i>XYLOCOPA</i> SPP. <i>PASSIFLORA EDULIS</i> MODELS	103
	APÊNDICE B - MAPAS DE PRESENÇA, AUSÊNCIA E DE SOBREPOSIÇÃO DE ABELHAS <i>XYLOCOPA FRONTALIS</i> , <i>XYLOCOPA GRISESCENS</i> E CULTURA DO MARACUJAZEIRO (<i>PASSIFLORA EDULIS</i> SIMS F. <i>FLAVICARPA</i>) NOS CENÁRIOS ATUAIS, MODERADOS (RCP 4.5) E PESSIMISTAS (RCP 8.5) NOS ANOS DE 2060 E 2080	119

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A polinização é um dos serviços ecossistêmicos de grande importância para manutenção e conservação de espécies vegetais com flores e também de culturas agrícola. Os polinizadores silvestres e manejados possuem papel fundamental, assim contribuindo para manutenção e reprodução das plantas silvestres, como também na produção agrícolas de diversas culturas (POTTS *et al.*, 2016; IPBES, 2016).

No entanto, a abundância e riquezas de espécies estão diminuindo ao longo dos últimos anos, especialmente dentro das paisagens agrícolas (BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; OLIVER *et al.*, 2015). Essa redução tanto pode ser influenciada por fatores antropomórficos, bem como por fatores ambientais (POTTS *et al.*, 2016). De todo modo, pesquisas de modelagem com previsões futuras enfatizam que um dos principais efeitos e impactos das mudanças climáticas ocorre especialmente sobre distribuição espacial dos polinizadores nas suas áreas atuais em relação ao futuro (SETELLE *et al.*, 2016; GIANNINI *et al.*, 2017). Contudo, poucas pesquisas apontam a mudança das distribuições espaciais, em decorrência das mudanças climáticas, podem influenciar na coexistência das culturas agrícolas e dos polinizadores concomitantemente.

Estudos como estes são importantes, pois apontam que tais condições futuras podem ameaçar não somente os polinizadores como também as culturas, sendo assim, necessário o desenvolvimento de técnicas para que, funcionem como estratégias e alternativas para mitigação dos efeitos das mudanças climática sobre a população desses agentes bióticos. Essas alternativas são particularmente interessantes para espécies agrícolas vulneráveis ao declínio de polinizadores como a cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis*; *P. alata*).

As flores do maracujá dependem diretamente das escassas abelhas de grande porte, especialmente as abelhas *Xylocopa* spp. e o uso adequado de manejo das paisagens agrícolas, como também, a criação, manejo e introdução de abelhas podem mitigar os riscos das mudanças climáticas na relação cultura-polinizador que é fundamental para a produção agrícola (SILVA *et al.*, 2014; FREITAS *et al.* 2017). As flores de maracujazeiro possuem uma diversidade de barreiras que impedem a autopolinização e tornam uma planta de alta dependência de abelhas grandes para tocar os órgãos reprodutivos da flor durante uma visita (FREITAS *et al.*, 2003; AUGUSTO *et al.*, 2012; YAMAMOTO *et al.*, 2012).

Nestas condições, as abelhas de grande porte *Xylocopa* spp. são polinizadores efetivos da cultura do maracujazeiro (JUNQUEIRA *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2017).

Assim, a criação e manejo de abelhas deve ser implementada para mitigar os déficits de polinização nos pomares de culturas agrícolas que não possui seus polinizadores silvestres próximos aos cultivos (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003), cujos efeitos das mudanças climáticas podem ser responsáveis por essas perdas de biodiversidade.

Portanto, as práticas amigáveis aos polinizadores podem particularmente atuar como importantes meios para construção de sistemas de produção agrícolas mais robustos as mudanças climáticas, garantido e suprimindo as necessidades das culturas agrícolas em relação aos seus polinizadores (SETELLE *et al.*, 2016).

Dessa forma, o presente estudo utiliza das técnicas de modelagem ecológica preditivas para determinar as mudanças das áreas potencialmente adequadas para duas espécies de abelhas mamangavas (*Xylocopa frontalis* e *X. grisescens*), dois importantes polinizadores efetivos das flores do maracujazeiro (*P. edulis*), e áreas adequadas para o cultivos de pomares de maracujá, como também, os efeitos das mudanças climáticas em relação a sobreposição das áreas adequadas para polinizadores e os cultivos agrícolas do maracujazeiro em condições futuras, baseadas nos cenários do IPCC (2013), RCP 4.5 (cenário moderado) e RCP 8.5 (cenário pessimista) para os anos 2060 e 2080. Ainda assim, diante dos cenários apontados, o estudo também utiliza o desenvolvimento de um método de criatório para as abelhas mamangavas para desenvolver estratégias que venha mitigar efeitos das mudanças climáticas, a fim de ampliar e melhorar as paisagens agrícolas em relação ao declínio de polinizadores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ameaça aos polinizadores e ao serviço de polinização

Ameaças aos polinizadores

Os polinizadores silvestres e manejados realizam o serviço de polinização e possuem papel fundamental para a realização de um dos mais importantes serviços ecossistêmicos do planeta (IPBES, 2016). Dessa forma, esses agentes bióticos contribuem para manutenção e reprodução de espécies de plantas silvestres com flores, como também, são importantes para a produção agrícola de diversas culturas (KLEIN *et al.*, 2007; POTTS *et al.*, 2016). Assim, em algum momento, 87,5% das plantas silvestres com flores e 35% da produção agrícola no mundo, dependem de um polinizador (BROWN *et al.*, 2016; IPBES, 2016).

Contudo, os polinizadores estão ameaçados em decorrência às ações antrópicas e outros fatores que comprometem as estruturas da dinâmica populacional destes agentes bióticos (POTTS *et al.*, 2016). Assim, entre os mais diversos fatores que ameaçam os polinizadores, encontram-se: 1) A perda e fragmentação de habitats; 2) Os desmatamentos de áreas nativas para expansão agrícola; 3) O uso de pesticidas; 4) Parasitas; 5) Doenças; 6) Espécies invasoras e; 7) As mudanças climáticas. A comunidade científica tem concentrado esforços para entender como esses fatores podem afetar diretamente os polinizadores silvestres e manejados, atuando como promotores da diminuição populacional de polinizadores de forma específica, local e/ou regional (FREITAS *et al.*, 2009; POTTS *et al.*, 2010; CAMERON *et al.* 2012; MEUUS *et al.*, 2012; BROWN *et al.*, 2016).

Neste sentido, a estrutura populacional dos polinizadores vem se alterando aos longos dos anos, consequentemente afetando a sua riqueza e abundância, especialmente nas paisagens agrícolas, e afetando diretamente o serviço de polinização (BIESMEIJER *et al.*, 2006; POTTS *et al.*, 2010). Tal fato é conhecido como declínio de polinizadores e pode afetar significativamente a manutenção e reprodução de espécies de plantas silvestres, a estabilidade dos ecossistemas, a produção agrícola, a segurança alimentar e o bem-estar humano (POTTS *et al.*, 2016).

As mudanças climáticas como promotor de declínio de polinizadores

Baseado no 5th *Assessment Report* IPCC (2013), recentemente publicado, em todos os cenários do RCPs (*the Representative Concentration Pathway*), a temperatura média global deverá aumentar de 0.3 a 4.8°C no final do século XXI. (IPCC - AR5, 2013). Diante de tal situação, fica evidente que as mudanças climáticas estão atuando em um processo contínuo que envolve alterações dos padrões climáticos nos regimes de precipitação e temperatura pelo mundo (IPCC, 2013).

Dessa forma, as mudanças climáticas tornam-se uma ameaça aos polinizadores e ao serviço de polinização por apresentarem efeitos e impactos de forma progressiva, os quais já são bem caracterizados, ou sob forma de eventos extremos, cujas consequências ainda são mal compreendidas (BROWN *et al.*, 2016). Porém, eventos extremos já vêm sendo reportados em diversas regiões do globo (IPCC, 2013). O aumento de queimadas naturais, furacões e tornados, chuvas torrenciais, bem como as ondas de seca e calor estão se tornando mais frequentes e intensos na região neotropical (FREITAS *et al.*, 2009). Além disso, os efeitos de eventos como ondas de calor e secas sobre polinizadores já podem ser observados, inclusive com consequências potenciais e extremas como a extinção de polinizadores locais (RASMONT; ISERBYT, 2012; OLIVER *et al.*, 2015).

As mudanças climáticas podem atuar potencialmente colocando em declínio os polinizadores; já foi sugerido que as alterações dos padrões do clima podem atingir abelhas melífera (*Apis mellifera*) (BECHER, *et al.*, 2013; POLCE *et al.*, 2014; IMBACH *et al.*, 2017), abelhas do gênero *Bombus* (KERR *et al.*, 2015), *Xylocopa* (GIANNINI *et al.*, 2013) e espécies de abelhas solitárias como *Exomalopsis analis*, *Centris tarsata*, *Eulaema nigrata*, e *Augochloropsis callichroa* (ELIAS *et al.*, 2017). Além disso, estudos mostram que as espécies de abelhas podem também se deslocar para novas regiões buscando condições mais adequadas (POTTS *et al.*, 2010; GIANNINI *et al.*, 2013; Giannini *et al.*, 2017).

Dessa forma, As mudanças climáticas têm gerado preocupação em relação ao seu efeito sobre o serviço de polinização de culturas agrícolas e a biodiversidade (POTTS *et al.*, 2016; BROWN *et al.*, 2016; SETTELE *et al.*, 2016). Ao longo dos anos, os efeitos das mudanças climáticas nos polinizadores podem não ser completamente evidentes. No entanto, as atividades sazonais, abundância e a amplitude de distribuição espacial de algumas espécies de polinizadores silvestres foram correlacionadas com as mudanças dos padrões climáticos observados (VANBERGEN *et al.*, 2013; POTTS *et al.*, 2016).

Recentemente, alguns estudos têm tentado entender quais os efeitos dessas alterações sobre as culturas agrícolas (LOBELL *et al.*, 2011, CHALLINOR *et al.*, 2014, ROSENZWEIG *et al.*, 2014), enquanto outros focaram nos polinizadores (RASMONT; ISERBYT, 2012; BURKLE *et al.*, 2013; GIANNINI *et al.*, 2017; ELIAS *et al.*, 2017). As alterações dos padrões climáticos podem acarretar o desencontro espacial e temporal das espécies vegetais e seus polinizadores (KJØHL *et al.*, 2011; SETTELE *et al.*, 2016). Estas mudanças afetam diretamente as redes de interação planta-polinizador, podendo até resultar em extinção de polinizadores locais, tornando as redes menos robustas (RASMONT; ISERBYT, 2012; BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; OLIVER *et al.*, 2015). Logo, a taxa de mudança do clima nas paisagens agrícolas deve exceder a velocidade com que muitos grupos de polinizadores conseguem conquistar novas áreas (POTTS *et al.*, 2016), uma vez que os plantios que substituí a vegetação anteriormente rica em espécies representa severa troca entre a regulação climática e a proteção da biodiversidade (SCHOLE, 2016).

Assim, de acordo com Settele *et al.* (2016), o desencontro espacial e temporal entre polinizadores e cultivos agrícolas representa um potencial risco para produção agrícola. Existem diversos estudos consistentes mostrando os efeitos das mudanças climáticas sobre polinizadores e possíveis implicações ao serviço de polinização (BARTOMEUS *et al.* 2013; BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; GIANNINI *et al.*, 2013; ELIAS *et al.*, 2017; IMBACH *et al.*, 2017).

Efeitos das mudanças climáticas sobre o serviço de polinização de culturas agrícolas.

As alterações dos padrões climáticos podem atuar tanto sobre os polinizadores quanto nas culturas agrícolas, atuando diretamente na interação das espécies (SETELLE *et al.*, 2016; GIANNINI *et al.*, 2017). Essas alterações são responsáveis por mudanças na sincronização fenológica, agindo em um desajuste temporal, e, também, levando a mudança na distribuição geográfica e desencontro espacial entre as espécies (KJØHL *et al.*, 2011; GIANNINI *et al.*, 2013; KERR *et al.*, 2015; SETTELE *et al.*, 2016; GIANNINI *et al.*, 2017). Isso pode resultar na perda de área de coocorrência (POLCE *et al.*, 2014; IMBACH *et al.*, 2017), alterando as estruturas das redes de interação tornando-as menos robustas as novas condições (BURKLE *et al.*, 2013).

As mudanças climáticas podem atuar também com efeitos indiretos, por exemplo, o aumento da aplicação de pesticidas, devido ao aumento da incidência de pragas e doenças de culturas agrícolas, em regiões que tendem a tornarem-se mais úmidas ao longo dos anos e

alteração da susceptibilidade de polinizadores a doenças ou aumentando a transmissão de agentes patogênicos, que poderão por em risco o serviço de polinização (BROWN *et al.*, 2016). Do mesmo modo, as mudanças dos fatores climáticos que levam a incompatibilidade fenológica afetam especialmente os polinizadores mais especializados, mas atuando também na redução da amplitude da dieta de abelhas generalistas, conseqüentemente provontando um efeito em cascata que comprometeria a disponibilidade dos recursos e afetaria a sazonalidade, a abundância e riqueza de espécies locais (VANBERGEN *et al.*, 2013; POTTS *et al.*, 2016). Igualmente, essas mudanças poderão implicar diretamente na mudança da fenologia, morfologia floral, razão sexual e química do néctar, o que afetará a atratividade para as abelhas (HOOVER *et al.*, 2012).

Além disso, a atuação destes efeitos de desencontro espacial e temporal sobre os polinizadores ameaçaria o serviço de polinização natural de espécies vegetais que dependem diretamente de escassos polinizadores grandes o suficiente para tocar os estigmas e anteras (i.e. Interação planta-polinizador de flores de maracujazeiro e abelhas *Xylocopa* spp.), ameaça esta já reportada por Giannini *et al.* (2013) e Giannini *et al.* (2017). Neste caso, os pomares, nos quais a presença de polinizadores efetivos é insuficiente devem ser compensados com a polinização manual, embora tal recurso resulte no aumento dos custos de produção (JUNQUEIRA *et al.*, 2013) e também seja escassa a mão de obra no campo para a realização do trabalho.

Da mesma forma, o aumento da temperatura e alterações nos período de precipitação até o final do século XXI, como prevê o IPCC (2013), resultaria em novos desafios aos melhoristas vegetais, em selecionar e desenvolver variedades capazes de serem produtivas nas novas condições e compensar as áreas, as quais as variedades atuais não seriam mais adequadas para cultivo. Contudo, não há certeza de que tais objetivos de adequar as variedades às novas condições climáticas sejam possíveis, devido ao limite fisiológico natural das espécies vegetais. Logo, seria necessário o uso de praticas que pudessem mitigar os efeitos das mudanças climáticas (GIANNINI *et al.*, 2013; BROWN *et al.*, 2016), evitando o comprometimento do serviço de polinização e tornando as atividades agrícolas ainda produtivas, mitigando os déficits de polinização que futuramente possam vir a existir (KREMEN *et al.*, 2002; POLCE *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2017).

Alternativas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas sobre os polinizadores.

As ameaças ao serviço de polinização, não somente compromete a manutenção e conservação de espécies vegetais, como também, a manutenção da produção agrícola (KLEIN *et al.*, 2007; OLLERTON *et al.*, 2011; IPBES, 2016). As mudanças nas paisagens agrícolas comprometem o equilíbrio da relação climática ao ponto de ameaçar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (KREMEN *et al.*, 2002; POTTS *et al.*, 2010; GIANNINI *et al.*, 2013; SCHOLE, 2016). Assim, a adoção de estratégias para que possam mitigar os efeitos futuros das mudanças climáticas como as práticas amigáveis aos polinizadores, podem contribuir para aumento da abundância de polinizadores nas áreas agrícolas remanescentes.

As práticas amigáveis aos polinizadores que são benéficas aos polinizadores incluem: 1) A redução de uso de pesticidas, remoção parcial de ervas daninhas; 2) A introdução de cercas vivas e trilhas de flores; 3) Uso de Áreas de Reserva legal (ARL) e Áreas de Preservação Permanente (APP) como corredores ecológicos; 4) Uma ampla diversificação de culturas agrícolas; 5) A conservação e/ou restauração de áreas naturais no entorno dos cultivos, e 6) A introdução de colmeias, ninhos e colônias especialmente de abelhas nativas (PYWELL *et al.*, 2015; VIANA *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2016). Portanto, essas práticas não implicam somente no aumento da diversidade de visitantes, como também na manutenção de polinizadores próximos aos cultivos agrícolas (FREITAS *et al.*, 2014a).

Os fragmentos são reservatórios para os polinizadores, os quais dão continuidade aos seus ciclos de vida, usando os recursos e realizando os serviços ecossistêmicos. Portanto, a manutenção de áreas naturais e fragmentos de entorno funcionam como refúgios e abrigos para os polinizadores, assim, beneficiam as culturas agrícolas e mitigam o déficit de polinização (FREITAS *et al.*, 2014a). Contudo, a falta de matas nos entornos dos cultivos faz com que o número de polinizadores efetivos para as culturas decresça, devido à falta de locais de refugio durante o período de escassez de recursos (FREITAS *et al.*, 2014b). Por exemplo, os fragmentos de entorno aos cultivos de maracujazeiro (*Passiflora edulis*, *P. edulis* Sims f. *flavicarpa* e *P. alata*.) muitas vezes são utilizadas na obtenção de espaladeiras e latadas. Apesar disso, com a redução dos fragmentos nas áreas de entorno da cultura compreende-se que as reservas de mata são de fundamental importância para polinização e produção da cultura, uma vez que diminui o número de sítios de nidificação para as espécies de abelhas *Xylocopa* spp. afetando diretamente na produtividade (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001, YAMAMOTO *et al.*, 2012; JUNQUEIRA *et al.*, 2013).

A disponibilidade de flores que forneçam recursos, como pólen e néctar é de fundamental importância para manutenção de espécies polinizadoras nas áreas agrícolas. Com isso, é necessário o manejo das paisagens agrícolas, uma vez que a quantidade das flores pode ser insuficiente para atrair e manter as abelhas nas áreas de cultivos, o que contribui para redução durante períodos os quais não existem a presença de flores (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; SILVA *et al.*, 2014).

As práticas amigáveis aos polinizadores oferecem aos agricultores paisagens vantajosas que tanto conservam a biodiversidade como melhoram os rendimentos das culturas agrícolas (SOUSA *et al.*, 2016). Assim, as estratégias devem atuar com efeitos múltiplos em vez de ações limitadas e pontuais que não possuem medidas sustentáveis (GUTZLER *et al.*, 2015). Para isso, é necessário buscar o uso de plantas que venha atrair os polinizadores mantendo, assim o equilíbrio ecossistêmico e garantir heterogeneidade das paisagens. Portanto, o uso de Áreas de Reserva legal (ARL) e Áreas de Preservação Permanente (APP) são dois dos instrumentos legais podem ser utilizados para manter as áreas com cobertura de vegetação nativa, cuja função é de manter e conservar a biodiversidade (VIANA *et al.*, 2015).

Dessa forma, o uso desses instrumentos legalmente protegidos, podem reduzir os riscos de futuras ameaças como das mudanças climáticas e também podem ser utilizadas como corredores ecológicos, para promover o fluxo de material genético entre as populações existentes entre os fragmentos. Do mesmo modo, por possuírem localização estrategicamente definida, e cujas delimitações e composição florística podem atender e ser compatíveis com polinizadores silvestres, portanto, aumentam a estabilidade do serviço de polinização e também possibilitam que as culturas estejam funcionalmente conectadas através dos fragmentos (VIANA *et al.*, 2015; GAGLIANONE *et al.*, 2015).

As culturas agrícolas com dependência de seus polinizadores precisam que seus polinizadores estejam presentes nas paisagens agrícolas para atingir a boa produtividade. Contudo, a população de polinizadores muitas vezes não atendem as reais necessidades que essas áreas possuem, assim, a falta de polinizadores compromete a polinização das culturas agrícolas, resultando em um déficit de polinização (FREITAS *et al.*, 2014a).

Em estudo recente foi observado que 24% da perda de produtividade de áreas agrícolas menores estavam relacionados déficit de polinização, mesmo com uma maior diversidade de visitantes florais (GARIBALDI *et al.* 2016). Por outro lado, a criação, manejo e introdução de abelhas pode ser uma alternativa para mitigar a perda de produtividade das áreas agrícolas, uma vez que a criação, manejo e introdução podem atuar positivamente no

aumento de polinizadores efetivos das culturas agrícolas (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003).

Essas alternativas são particularmente interessantes para espécies agrícolas vulneráveis ao declínio de polinizadores como a cultura do maracujazeiro. As flores do maracujá dependem diretamente das escassas abelhas de grande porte, especialmente as abelhas *Xylocopa* spp. e o uso adequado de manejo das paisagens agrícolas, como também, a criação, manejo e introdução de abelhas podem mitigar os riscos das mudanças climáticas na relação cultura-polinizador que é crucial para a produção agrícola (SILVA *et al.*, 2014; FREITAS *et al.* 2017). As flores de maracujazeiro possuem uma diversidade de barreiras que impedem a autopolinização e tornam uma planta de alta dependência de abelhas grandes para tocar os órgãos reprodutivos da flor durante uma visita (FREITAS *et al.*, 2003; AUGUSTO *et al.*, 2012; YAMAMOTO *et al.*, 2012).

Nestas condições, as abelhas de grande porte *Xylocopa* spp. são polinizadores efetivos da cultura do maracujazeiro (SIQUEIRA *et al.*, 2009; JUNQUEIRA *et al.*, 2013). Assim, a criação e manejo de abelhas poderá ser implementado para mitigar os déficits de polinização nos pomares de culturas agrícolas que não possui seus polinizadores silvestres (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003), cujos efeitos das mudanças climáticas foram responsáveis por essas perdas de biodiversidade.

Portanto, as práticas amigáveis aos polinizadores podem particularmente atuar como importantes meios para construção de sistemas de produção agrícolas mais robustos as mudanças climáticas, garantido e suprindo as necessidades das culturas agrícolas em relação aos seus polinizadores (SETELLE *et al.*, 2016).

As abelhas mamangavas, criação e manejo para polinização

As abelhas mamangavas e hábitos de nidificação

Entre as mais de 20 mil espécies de abelhas conhecidas no mundo existem as espécies da tribo Xilocopini, subfamília Xylocopinae (Apidae) (MICHENER, 2007) que, devido ao seu hábito de escavar ninhos em madeira morta são chamadas de abelhas mamangavas, mamangavas, mamangá e/ou mamangavas de toco, havendo a exceção do subgênero *Xylocopa* (Proxylocopa) cujas abelhas fazem seus ninhos no chão (AUGUSTO *et al.*, 2011; LUCIA *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2014). As espécies da tribo Bombini são também comumente chamadas de abelhas mamangavas, particularmente pelo seu tamanho e semelhança com as abelhas do gênero *Xylocopa*.

As mamangavas, do gênero *Xylocopa* são abelhas de grande porte e importantes polinizadores de espécies vegetais de flores grandes, como as flores da cultura do maracujá (*Passiflora edulis*) (OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003; MARTINS *et al.*, 2014). Essas abelhas estão presentes na maioria dos continentes, predominantemente nas regiões tropicais, subtropicais e áreas mais quentes das regiões temperadas do globo terrestre (MARCHI; ALVES-DOS-SANTOS, 2013). Mais de 700 espécies são conhecidas, das quais 50 espécies ocorrem no Brasil (MOURE *et al.*, 2007; MARCHI; ALVES-DOS-SANTOS, 2013).

A maioria das espécies do gênero tem comportamento solitário ou facultativamente social, construindo os ninhos em ramos e cavidades de bambus, com o uso de suas mandíbulas que escavam a madeira morta (MARCHI; MELO 2010, PEREIRA; GARÓFALO 2010). Outras espécies nidificam também em escapos florais e partes vivas de árvores (VIANA *et al.* 2002; MARCHI; ALVES-DOS-SANTOS, 2013).

As fêmeas iniciam a formação do ninho sozinha, escavando a madeira e construindo as galerias. Essas abelhas, após construírem as galerias, provisionam a célula de cria com pólen e néctar, e por fim, misturam formando uma massa, cujo objetivo é alimentar a larva durante todo o seu desenvolvimento. O período de desenvolvimento pode variar de 45 a 65 dias, e depois que emergem os adultos a fêmea que fundou o ninho alimenta esses indivíduos que permanecem por cerca de 30 dias no ninho (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; SILVA *et al.*, 2014).

Quando ocorre a presença de mais de uma fêmea no ninho, a mãe realiza voos para coletar recursos alimentares e a postura de novos ovos, já as outras fêmeas atuam como guardas (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001, SILVA *et al.*, 2014). Em algumas situações a filha mais velha poderá tomar o ninho da mãe (FREITAS *et al.*, 2017). Os machos também realizam a atividade de guarda, mas, quando são capazes de voar e alimentar-se, passam a ocupar ninhos abandonados e, também, a buscar por fêmeas para o acasalamento (SILVA *et al.*, 2014; FREITAS *et al.*, 2017).

Essas abelhas, na sua maioria, possuem uma dieta generalista e visitam um grande número de espécies pertencentes a diversas famílias botânicas (SILVA *et al.*, 2014). Devido ao seu tamanho e comportamento de pastejo são importantes polinizadores de um grande número de flores de grande porte. Além disso, possuem capacidade de utilizar a vibração do seu corpo para extrair o pólen das flores com anteras poricidas quando as visitam (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; SILVA *et al.*, 2010, MARCHI; ALVES-DOS-SANTOS, 2013).

O raio de forrageamento dessas abelhas é relativamente grande podendo cobrir extensas áreas (~12Km) a partir do seu ninho e possibilitando, assim, a polinização de espécies cujos indivíduos encontram-se a centenas de metros uns dos outros (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). Dessa forma, as abelhas mamangavas são de grande importância econômica e ecológica por serem agentes de destacada eficiência nos processos de polinização.

Além disso, as mamangavas são abelhas que estão sempre associadas à cultura do maracujazeiro devido à boa adequação de seu tamanho e comportamento de forrageio nas flores de maracujazeiro (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003; SILVA *et al.* 2010, MARTINS *et al.*, 2014, FREITAS *et al.*, 2017). Essas espécies são encontradas nos mais variados biomas e por quase todo território brasileiros (MOURE *et al.*, 2007, GIANINNI *et al.*, 2015).

Abelhas mamangavas como agentes polinizadores

As abelhas mamangavas (*Xylocopa* spp.) são as únicas abelhas nativas capazes de polinizar uma grande diversidade de flores de grande porte da flora brasileira, devido ao seu tamanho e comportamento de forrageio (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). Do mesmo modo, essas abelhas são capazes de realizar a vibração do seu corpo, comportamento esse necessário para a polinização de plantas com anteras poricidas (e.g. Tomate – *Solanum lycopersicum*) e comumente conhecido como “*Buzz pollination*”, elas também são utilizadas para polinização da cultura do tomateiro em casas de vegetação na Austrália (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; KEASAR, 2010; HOGENDORN *et al.*, 2000; HOGENDORN, 2004).

Portanto, comumente associada como a abelha da flor do maracujá, as abelhas mamangavas possuem uma grande importância econômica para a cultura do maracujazeiro, já sendo relatado em alguns estudos (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003; CAMILLO, 2003), sendo mais relevantes para a cultura no Brasil, as espécies *X. frontalis*, *X. grisescens* e *X. suspecta*.

Contudo, apesar de serem bastante associadas como importantes polinizadores da cultura do maracujá, as espécies de abelhas *Xylocopa* polinizam uma grande diversidade de espécies de culturas de importância econômica, como Abacate (*Persea americana*), Abóbora (*Curcubita moschata*), Alfafa (*Medicago sativa*) Algodão (*Gossypium hirsutum*), Ameixa (*Prunus domestica*), Amêndoas (*Prunus dulcis*), Berinjela (*Solanum melongena*), Castanha-

do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), Feijão (*Phaseolus vulgaris*), Feijão Caupi (*Vigna unguiculata*), Girassol (*Helianthus annuus*), Laranja (*Citrus sinensis*), Melancia (*Citrullus lanatus*), Melão (*Cucumis melo*), Moranga (*Curcubita pepo*), Urucum (*Bixa orellana*) e uva (*Vitis vinifera*), podendo ser criadas e manejadas para polinização dessas culturas (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; GIANNINI *et al.*, 2015).

Importância das abelhas mamangavas para a cultura do maracujá

A cultura do maracujazeiro possui uma grande diversidade de visitantes, porém, algumas das abelhas não possuem papel de polinizador e agem como pilhadores dos recursos florais. As abelhas do gênero *Xylocopa* se destacam por serem os visitantes efetivos mais frequentes (YAMAMOTO *et al.*, 2012).

As abelhas do gênero *Xylocopa*, especialmente as espécies de *Xylocopa frontalis*, *X. grisescens*, são polinizadores efetivos do maracujazeiro (SIQUEIRA *et al.*, 2009; JUNQUEIRA *et al.*, 2013). Devido ao seu comportamento de forrageio e tamanho, essas abelhas, ao buscarem os nectários das flores de maracujá tocam nos estames transferindo o pólen e realizando a polinização cruzada (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; AUGUSTO *et al.*, 2011; YAMAMOTO *et al.*, 2012). Essas espécies também são relatadas por apresentarem potencial para o manejo e para a criação, a fim de incrementar a população de abelhas no cultivo de maracujá e, ao mesmo tempo, reduzir o déficit de polinização e promover o aumento da produção do maracujazeiro (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; SIQUEIRA *et al.*, 2009; YAMAMOTO *et al.*, 2012; JUNQUEIRA *et al.*, 2013; FREITAS *et al.*, 2017).

Por se tratar de uma planta com alta dependência de polinizadores (GIANNINI *et al.*, 2015), o maracujazeiro necessita de abelhas de grande porte, como as abelhas mamangavas, para que estas toquem as partes reprodutivas das flores as quais, dependendo do horário da visita, podem estar tanto com as anteras e os estigmas flexionados ou não (COBERT; WILLMER, 1980; FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). As barreiras existentes na flor do maracujazeiro dificultam o processo de polinização sendo essencial a presença dessas abelhas nos cultivos ou o uso de mão de obra para a realização dessa tarefa, a qual onera o custo de produção (JUNQUEIRA *et al.*, 2013).

Portanto, a introdução de ninhos de *Xylocopa* pode mitigar o déficit de polinização nas áreas agrícolas de maracujá e os entraves que limitam a produção da cultura podem ser solucionados de forma viável e com baixo custo. Estudos de polinização com a

cultura do maracujá no Nordeste (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001) e no Sudeste (CAMILLO, 1996; 2003) do Brasil, após a introdução de ninhos manejados de abelhas *Xylocopa frontalis* aumentaram a produção em faixas que variaram entre 92% a 700%. Dessa forma, o manejo de ninhos dessas abelhas deve ser estimulado para diminuição do déficit de polinização em áreas de maracujá.

Métodos de criatório de abelhas para polinização do maracujá

O maracujazeiro possui uma diversidade de visitantes florais, que vai desde os polinizadores efetivos (e.g. *Xylocopa frontalis*) aos insetos pilhadores (e.g. *Trigona spinipes*). A presença dos visitantes, especialmente os polinizadores efetivos contribuirá significativamente para o aumento da produtividade da cultura (FREITAS *et al.*, 2014b). Dessa forma, sabendo-se sobre os principais polinizadores efetivos, alternativas para o manejo dessas abelhas nos cultivos poderão ser utilizadas para aumentar significativamente a produtividade.

A respeito dos principais polinizadores efetivos, alguns estudos mostram uma grande diversidade em diferentes biomas (CAMILLO, 2003; FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; BENEVIDES *et al.*, 2009; MARCHI; MELO, 2010; PEREIRA; GARÓFALO, 2010; YAMAMOTO *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2014). A identificação dessas abelhas e o conhecimento de sua biologia ajudarão na escolha do manejo ideal para cada polinizador.

Para se conhecer os potenciais polinizadores é necessário à realização de uma ampla observação nas flores da cultura e observar quem são os visitantes florais que tocam nas partes reprodutivas das flores e conseguem transferir o pólen do androceu para o estigma. Para isso, é necessário que o produtor nomeie as abelhas por espécie, colete um espécime de cada visitante para uma futura identificação e assim, definir os melhores manejos para cada abelha encontrada nos pomares de maracujazeiro (SILVA *et al.*, 2014).

Quanto à proposta de manejos dos polinizadores nas áreas agrícolas do maracujazeiro, esta deve estar relacionada principalmente com o tipo e local de nidificação de cada espécie. Necessariamente, os polinizadores efetivos possuem hábitos solitários, parassocial e primitivamente eussocial (SILVA *et al.* 2014). Grande parte das abelhas é solitária e, dessa forma, seus hábitos de nidificação são em cavidades no solo, formando agregação isolada ou dispersa (Freitas *et al.*, 2014b). Outras espécies, como por exemplo, as abelhas do gênero *Bombus* constroem seus ninhos diretamente no chão em meios a detritos e resto de palhadas (GARÓFALO, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Já as espécies do gênero

Xylocopa, na sua grande maioria escavam seus ninhos em troncos de madeira morta e em estado de putrefação (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

Assim, os produtores devem estar atentos para instalarem os ninhos, preferencialmente próximos a possíveis fontes de alimento. O comportamento de nidificação também é importante, pois, para as mamangavas, os ninhos racionais devem ser colocados, de preferência, na horizontal entre 1 a 2 m de alturas. Sempre que possível o uso de alguma instalação ou cobertura para proteção contra chuvas e sombreamento faz-se necessário (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

Portanto, podemos definir o manejo ideal para cada espécie de abelha. Entre as espécies que nidificam em cavidades no solo, as áreas devem ser abertas e limpas. Dessa forma, pode se incentivar a presença desses polinizadores próximos ou dentro das áreas de cultivo, contudo, o solo deve possuir características ideais de nidificação das espécies que ocorrem em cada local (FREITAS *et al.*, 2014b).

Já para as demais espécies pode-se disponibilizar substratos de madeira para o processo de nidificação. Essas espécies podem utilizar esses substratos para escavar ou usar as cavidades já existentes nas madeiras para construir seus ninhos. As abelhas do gênero *Xylocopa*, escavam seus ninhos, e as abelhas do gênero *Eulaema*, utilizam cavidades preexistentes para nidificação. Assim, a presença desses substratos dentro ou próximo às áreas de cultivo poderá assegurar que os polinizadores estejam presentes nas áreas cultivadas (FREITAS *et al.*, 2014b).

O fornecimento de ninhos armadilhas é importante para que seja feita a introdução desses polinizadores como também o povoamento desses ninhos. A utilização de substratos de nidificação para polinizadores da cultura auxilia na melhoria da diversidade de visitantes para a cultura (FREITAS *et al.*, 2014b; FREITAS *et al.*, 2017). Dessa forma, o produtor deve dispor de troncos e galhos secos, colmos de bambu e madeira perfurada e espalhar próximo dos cultivos, como também, colocar pequenas caixas de madeiras com orifícios para as abelhas do gênero *Eulaema*, sempre preferindo os locais sombreados e protegidos do sol e das chuvas, como também próximos a fontes de água (SILVA *et al.*, 2014).

As mamangavas também podem ser criadas em ninhos racionais, os quais utilizam uma colmeia de *Apis mellifera*, contudo com mudanças estruturais dos quadros, que ao invés da cera, são colocadas madeira morta de algumas espécies botânicas, entre elas: *Araucaria angustifolia*, *Euphorbia pulcherrima*, *Spathodea campanulata*, *Anacardium occidentale*, *Cedrela fissilis*, *Eucalyptus spp.*, *Cajanus cajan*, *Cordia trichotoma*, *Ficus adhatodifolia*,

Pinus sp. *Psidium guajava*, *Croton blanchetianus*, *Combretum leprosum*, *Enterolobium contortisiliquum* (SILVA *et al.*, 2014; ALMEIDA, 2016), para atender às necessidades das *Xylocopa*. Neste caso, a utilização de um quadro é composto por uma tabua de madeira com a 38 cm de largura, 2 cm de espessura e 44 cm de comprimento, o qual poderá ser colonizado por uma fêmea e o ninho racional completo atender até 9 fêmeas (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003; SILVA *et al.*, 2014).

A cultura do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*)

Origem e importância econômica

O maracujá era popularmente conhecido pelos nativos do continente americano, no período anterior ao descobrimento das Américas e, posteriormente, tornou-se popular entre os colonizadores europeus que se estabeleceram na região neotropical (INGLEZ-SOUZA; BERNACCI *et al.*, 2005). O espanhol Cieza de León fez a primeira referência na Europa, em 1553, de uma planta do grupo do maracujazeiro, chamando o fruto de “granadilla”. No Brasil, o maracujá foi mencionado pela primeira vez em 1587, no Tratado Descritivo do Brasil, como “erva que dá frutos” (CANÇADO-JÚNIOR *et al.*, 2000). Posteriormente, o grupo recebeu o nome de *Passiflora* que foi também usado por Linnaeus (1753) para denominar o gênero do maracujazeiro quando lançou as bases para nomenclaturas botânicas (KUNGLER; KING, 2004; BERNACCI *et al.*, 2005).

O gênero *Passiflora*, atualmente possui cerca de 500 espécies distribuídas pelos trópicos, sendo o Brasil o centro de origem de mais de 150 das espécies de *Passiflora* (BERNACCI, 2003; GANGA *et al.*, 2004). Embora exista grande variabilidade genética, representada amplamente pela biodiversidade de espécies nativas, nos cultivos comerciais predomina a espécie *P. edulis* Sims f. *flavicarpa*, popularmente conhecida como maracujá-amarelo, e corresponde a 95% das áreas de cultivos de maracujá no Brasil (GANGA *et al.*, 2004; BERNACCI *et al.*, 2005).

Atualmente, o Brasil destaca-se na produção mundial de maracujá (~60%) com produção de 703 489 toneladas agregando o valor econômico de 1,028 bilhões de reais no ano de 2016, e os estados da Bahia e do Ceará (48,72% e 13,9% da produção nacional de maracujá, respectivamente) são os maiores produtores do país (USAID, 2014; IBGE, 2016). A área plantada no ano de 2014 correspondeu a 50 204 hectares em todo o Brasil e a produtividade média foi de 14,1 toneladas/ha. O estado da Bahia concentra a maior área

cultivada com 27 330 hectares, contudo, possui a menor produtividade média (12,5 toneladas/ha).

Durante muitos anos a fruta da cultura do maracujazeiro era considerada uma fruta de pomar doméstico, em razão de suas propriedades medicinais. A cultura começou a ser explorada inicialmente no final dos anos 60, em pomares instalados no estado de São Paulo (MELETTI, 2011). A cultura ocupa lugar de destaque na fruticultura tropical, e adquiriu expressão econômica em 1986, quando aconteceu a ampliação significativa de áreas de cultivos, devido à comercialização e a produção oferecer retorno econômico rápido, bem como, a disponibilidade de ser produzida durante todo o ano (RIZZI *et al.*, 1998; MELETTI, 2011).

A fruta tem importância econômica elevada sendo consumida, principalmente, como suco concentrado, fruta fresca e/ou industrializada para produção de medicamentos fitoterápicos, sendo um dos mais utilizados pela população brasileira. O maracujá possui potencial como alimento funcional, em relação à sua ação antioxidante, sendo esta atribuída aos polifenóis, principalmente flavonoides, bem como, aos altos níveis de potássio e cálcio.

A fruta é exportada, principalmente, como sucos concentrados, embora a fruta fresca seja também comercializada no mercado externo, sendo a sua participação correspondente a 1,5% das exportações, porque o mercado interno absorve a maioria da produção. Os sucos concentrados representam a maior parcela da exportação e países como Holanda, Alemanha, Estados Unidos e Japão importam 76% desse produto produzido no Brasil (MELETTI, 2011).

Morfologia, biologia floral e Requerimento de polinização

O maracujazeiro possui flores atrativas, perfumadas e grandes: 5,08 a 7,62 cm de diâmetro (MCGREGOR, 1976); 7,5 a 10 cm de diâmetro (FREE, 1993). As flores são completas, ou seja, hermafroditas, actinomorfas, composta por três brácteas, um cálice tubular de cinco lóbulos, cinco pétalas, uma corona filamentosa colorida, cinco estames com grandes anteras dorsofixas, um estilo triplo-ramificado, cada ramo com um estigma, o ovário é súpero, globoso e multiovular (MCGREGOR, 1976; SIQUEIRA *et al.*, 2009). O nectário está localizado abaixo do androginóforo, o néctar é abundante e sua concentração pode variar de 39 a 51% (MCGREGOR, 1976; FREE, 1993; SIQUEIRA *et al.*, 2009).

A abertura das flores ocorre ao meio-dia e de forma sincrônica, o estilo fica em posição vertical, contudo, iniciam um movimento de curvatura, nesta mesma fase, também

ocorre à movimentação das anteras já deiscientes e voltadas para coroa, com os grãos de pólen disponíveis (COBERT; WILLMER, 1980; FREE, 1993; SIQUEIRA *et al.*, 2009). Quando cada ramo do estilo completa o movimento de curvatura até a altura das anteras, neste momento, os estigmas estão na posição mais provável de serem polinizados, e o fluido estigmático está presente para adesão dos grãos de pólen (COBERT; WILLMER, 1980; MCGREGOR, 1976; FREE, 1993). A receptividade do estigma ocorre somente no dia da abertura da flor e o pólen perde sua viabilidade após 24 horas (FREE, 1993).

Além disso, algumas espécies de maracujazeiro possuem mecanismos para que o pólen seja auto incompatível (BRUCKNER *et al.*, 1993). Entre elas pode-se destacar a espécie do maracujá-amarelo que é variedade autoestéril, dependendo da polinização cruzada entre flores de plantas diferentes para o vingamento dos frutos (COBERT; WILLMER, 1980; FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

Assim, tomando as características morfológicas e fisiológicas do maracujazeiro, conclui-se que para atingir os requerimentos de polinização da cultura, é necessário que as abelhas de grande porte ao visitar as suas flores e seguir para os nectários, possam também tocar também as anteras e os estigmas (COBERT; WILLMER, 1980; FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003).

Conservação e manejo da vegetação nativa no entorno de áreas de cultivo de maracujazeiro

A intensificação e expansão agrícola tem levado a agricultura a outro patamar em termos de produção. Contudo, muitas das práticas convencionais usadas na agricultura ameaçam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos relacionados (KREMEN *et al.*, 2002). Dessa forma, a expansão agrícola, em especial, é uma das principais razões de desmatamento junto com a exploração de madeira, reduzindo e dizimando os recursos alimentares e matando larvas e adultos de espécies polinizadoras (FREITAS *et al.*, 2009).

Tais ações devem ser reduzidas devido ao fato de que, os fragmentos de mata servem de locais principalmente para a nidificação e a alimentação dos polinizadores próximos às áreas de cultivos. Portanto, esses fragmentos funcionam como refúgio e abrigo para espécies de polinizadores que vão beneficiar as culturas, mitigando, assim, o déficit de polinização (FREITAS *et al.*, 2014a).

A conservação das matas nativas nas áreas de entorno aos cultivos de maracujá (*Passiflora edulis*, *P. edulis* Sims f. *flavicarpa* e *P. alata*.) muitas vezes são utilizadas na obtenção de espaldeiras e latadas. Dessa forma, à medida que a queda da produtividade foi

perceptível para os produtores de maracujazeiro, compreendeu-se a importância das reservas de mata próximas aos cultivos, e, também, foi de fundamental importância para constatação das mamangavas (*Xylocopa* spp.) na polinização e produção do maracujazeiro (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

As abelhas *Xylocopa*, por usarem madeira morta como locais de nidificação contribuem para o incremento da produção em áreas agrícolas do maracujazeiro próximas aos fragmentos de mata (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; YAMAMOTO *et al.*, 2012; JUNQUEIRA *et al.*, 2013). Em diferentes estudos de polinização do maracujazeiro (*P. edulis* f. *flavicarpa*) foram evidenciadas diferenças no aumento da produção da cultura, fato este que pode estar relacionado ao número de abelhas *X. frontalis* não manejadas ocorrendo, ainda, em locais com condições apropriadas para nidificação dessas abelhas (FREITAS *et al.*, 2009).

Existem diversos estudos que relacionam o aumento da produção agrícola com paisagens de cultivo próximas a áreas de matas mais conservadas (RICKETTS, 2004; FLORES *et al.*, 2012; FREITAS *et al.*, 2014a; PYWELL *et al.*, 2015). Ainda assim, áreas agrícolas com bordas de fragmentos garantem não somente um maior incremento de produção, como também, maior abundância e riqueza de visitantes florais, aumentando, portanto, as chances de visitas efetivas dos polinizadores. Em cultivo de maracujá, Benevides *et al.* (2009) mostraram que os índices de diversidade de Shannon são maiores para as áreas mais próximas a fragmentos florestais, pois ocorre um aumento da diversidade dos visitantes e potenciais polinizadores desta cultura do maracujazeiro.

Outro ponto importante refere-se aos tamanhos das áreas agrícolas e também ao tamanho dos fragmentos próximos a essas áreas. Em recente estudo, Garibaldi *et al.*, (2016) relatam que 24% das lacunas na produtividade, em áreas agrícolas menores, está diretamente relacionada com o déficit de polinização, mesmo com uma maior diversidade de visitantes florais. Por outro lado, as áreas maiores somente poderiam ser beneficiadas em um mesmo nível, com uma alta riqueza de visitantes florais.

Pesquisas apontam, ainda, que os efeitos dos visitantes florais sobre a produtividade da cultura são influenciados, em grande parte, pelo tamanho das áreas agrícolas e pela riqueza em espécies de polinizadores (RICKETTS, 2004; FLORES *et al.*, 2012; PYWELL *et al.*, 2015; GARIBALDI *et al.*, 2016). Neste sentido, Freitas *et al.* (2014a) mostraram que áreas agrícolas podem ter um aumento significativo na produção quando estão próximas a pequenos fragmentos, por outro lado, áreas que estejam mais próximas de um

grande fragmento de mata, mesmo que esta se ache sob efeitos antrópicos, podem apresentar maiores taxas de visitas de abelhas silvestres do que as aquelas que não possuíam fragmento.

A conservação e a recuperação da vegetação nativa de entorno das áreas cultivadas não implicam somente no aumento da diversidade de visitantes, mas também na manutenção das espécies polinizadoras próximas dos cultivos (FREITAS *et al.*, 2014a). Os fragmentos são reservatórios para os polinizadores, os quais dão continuidade aos seus ciclos de vida, usando os recursos e realizando os serviços ecossistêmicos. Contudo, a falta de matas nos entornos dos cultivos faz com que o número de polinizadores efetivos para as culturas decresça, devido à falta de locais de refugio durante o período de escassez de recursos (FREITAS *et al.*, 2014b).

A disponibilidade de flores que forneçam recursos, como o pólen, para as abelhas mamangavas é de fundamental importância, uma vez que, as abelhas visitam a cultura do maracujazeiro, principalmente, para a coleta do néctar (SILVA *et al.*, 2010). Em algumas regiões do Brasil, a cultura floresce em períodos diferentes do ano, e, assim, fazem-se necessárias flores que sejam alternativas como fonte de néctar para essas abelhas, principalmente nos períodos de maior atividade de nidificação das fêmeas (SILVA *et al.*, 2014).

Os cultivos de maracujazeiro nem sempre oferecem uma quantidade suficiente de flores para atrair e manter as mamangavas nas áreas de cultivo, ainda, há períodos os quais não existem a presença de flores, o que contribui para a redução da população de abelhas mamangavas durante esses períodos (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). Dessa forma, algumas plantas nativas podem ser mantidas no entorno dos cultivos para que haja uma ampla diversidade de fontes de recursos para a dieta das mamangavas (SILVA *et al.*, 2010). Essas abelhas coletam recursos alimentares, principalmente pólen, de muitas espécies cultiváveis das famílias solanáceas e leguminosas, como também, do girassol, da abóbora, do quiabo, da goiaba, da castanha do Brasil, e da canola (colza) (SILVA *et al.*, 2014).

Dentre as espécies nativas e exóticas mais comuns, nas quais essas abelhas coletam seus recursos, destacam-se as seguintes: *Bauhinia brevipes*, *Bauhinia forficata*, *Bauhinia variegata*, *Byrsonima chrysophylla*, *Cassia ferrugínea*, *Centrolobium tomentosum*, *Cochlospermum vitifolium*, *Diplusodon lanceolatus*, *Eriotheca gracilipes*, *Handroanthus chrysotricus*, *H. impetiginous*, *H. roseoalba*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Libidibia ferrea*, *Miconia fallax*, *Senna rugosa*, *Senna spectabilis*, *Senna velutina*, *Serjania reticulata*, *Solanum lycocarpum*, *Solanum mauritianum*, *Solanum paniculatum*, *Tecoma stans*, *Thunbergia*

grandiflora. Essas espécies são importantes fontes de recursos para as abelhas *Xylocopa* e devem ser plantadas nos entornos dos cultivos das áreas agrícolas (SILVA *et al.*, 2014).

As práticas amigáveis para os polinizadores possuem o potencial de gerar paisagens vantajosas para todos, além de ajudar os agricultores e os tomadores de decisão política a conservar a biodiversidade e a melhorar o rendimento das culturas agrícolas (SOUSA *et al.*, 2016). Assim, as estratégias devem atuar com efeitos múltiplos em vez de ações únicas que não possuem efeitos sustentáveis (GUTZLER *et al.*, 2015).

Dessa forma, as práticas amigáveis que são benéficas aos polinizadores incluem a introdução de colmeias, ninhos e colônias especialmente de abelhas nativas, a redução de uso de pesticidas, remoção parcial de ervas daninhas, introdução de cercas vivas e trilhas de flores, uma ampla diversificação de culturas agrícolas e a conservação e/ou restauração de áreas naturais no entorno dos cultivos (PYWELL *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2016). A prática de conservação e restauração de áreas naturais no entorno dos cultivos pode levar em conta dois instrumentos legais: as Áreas de Reserva Legal (ARL) e as Áreas de Preservação Permanentes (APP). Assim, todos os imóveis rurais devem atender a legislação para manter áreas com cobertura de vegetação nativa, que devem ser conservadas, a título de reserva legal (VIANA, *et al.*, 2015).

Dessa forma, as práticas agrícolas que sejam comprometidas com função dos instrumentos legais, serão compatíveis com a manutenção da biodiversidade. Além disso, ao promover a recomposição de APP e ARL, sempre é necessário buscar por plantas nativas que venham atrair os polinizadores mantendo, assim, o equilíbrio ecossistêmico e garantindo a heterogeneidade das paisagens. Essas áreas legalmente protegidas, potencialmente têm condição de serem utilizadas como corredores ecológicos, uma vez que as suas localizações são estrategicamente definidas e cujas delimitações e composição florística podem atender e ser compatíveis com os polinizadores silvestres. Assim, para aumentar a estabilidade do serviço de polinização é necessário que as culturas possam estar funcionalmente conectadas através dos fragmentos de vegetação que também servirão de corredores entre os cultivos (VIANA *et al.*, 2015; GAGLIANONE *et al.*, 2015).

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, S.C. *et al.* Microsatellite loci for the carpenter bee *Xylocopa frontalis* (Apidae, Xylocopini). **Conserv. Genet. Resour.** 4(2), 315-317, 2012.
- BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Entomologia**, 53(3), 415-421, 2009.
- BERNACCI, L.C. Passifloraceae. In: Wanderley, M.G.L.; Shepherd, G.J.; Giuliatti, A.M.; Melhem, T.S. (Ed.). **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: RiMa, FAPESP, v.3, p. 247-248, 2003.
- BERNACCI, L.C. *et al.* Espécies de maracujá: caracterização e conservação da biodiversidade. In: Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V.; Braga, M.F. **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.559-586, 2005.
- BARTOMEUS, I. *et al.* Biodiversity ensures plant–pollinator phenological synchrony against climate change. **Ecol. Lett.** 16(11), 1331-1338, 2013.
- BECHER, M.A. *et al.* Towards a systems approach for understanding honeybee decline: a stocktaking and synthesis of existing models. **Journal of Applied Ecology** 50: 868 – 880, 2013. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12112>
- BIESMEIJER, J.C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science** 313(5785), 351-354, 2006. doi:10.1126/science.1127863
- BROWN, M.J.F. *et al.* A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. **PeerJ** 4:e2249. 2016 doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.2249>
- BRUCKNER, C.H. *et al.* Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Acta Hort.** 370, 45-58, 1993. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.370.7
- BURKLE, L.A., MARLIN, J.C., KNIGHT, T.M. Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. **Science** 339(6127), 1611-1615. 2013.
- CANÇADO JÚNIOR, F. L., ESTANISLAU, M. L. L., PAIVA, B. D. **Aspectos econômicos da cultura do maracujá**. Informe Agropecuário, 21(206), 10-17, 2000.
- CHALLINOR, A.J. *et al.* A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nat. Clim. Change**. 4(4), 287-291, 2014.

CAMERON, S. A. *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, 108(2): 662-667, 2014. doi:10.1073/pnas.1014743108_

CAMILLO, E. Utilização de espécies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Anthophoridae) na polinização do maracujá amarelo. In: II ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 1996, Ribeirão Preto. **Anais... Ribeirão Preto**: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto. p. 141-146, 1996.

CAMILLO, E. **Polinização de maracujá**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003.

CORBET, S.A., WILLMER, P.G. Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and carpenter bees. **J. Agric. Sci.** 95(3), 655-666, 1980.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. *et al.* Hybridization among wild passionflower species. **Brazilian Journal of Botany**, 34(2), 237-240, 2011.

ELIAS, M.A. *et al.* Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. **Agr. Ecosyst. Environ.** 239, 257-264, 2017

FREE, J. B. **Insect pollination of crops** (No. Ed. 2). Academic press. 1993.

FLORES, L. *et al.* The importance of natural habitats in the surroundings of dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation for its reproductive success. **Iheringia**, Serie Botanica, 67(2), 189-197, 2012.

FREITAS, B.M, Silva, C.I., Bezerra, A. D. M.. **The illustrated natural history of a pollinator: the Carpenter bee *Xylocopa frontalis***. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 72 p. 2017.

FREITAS, B. M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, 40(3), 332-346, 2009.
doi:<https://doi.org/10.1051/apido/2009012>

FREITAS, B. M., OLIVEIRA-FILHO, J. H. **Criação racional de mamangavas: para polinização em áreas agrícolas**. Fortaleza: Banco do Nordeste. 96 p. 2001.

FREITAS, B. M., OLIVEIRA-FILHO, J. H. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, 33(6), 1135-1139, 2003.

FREITAS, B. M. *et al.* **Identifying and assessing pollination deficits in crops. Pollination services to agriculture**. New York: FAO, Routledge, 17-33, 2016.

FREITAS, B. M., *et al.* Forest remnants enhance wild pollinator visits to cashew flowers and mitigate pollination deficit in NE Brazil. **Journal of Pollination Ecology**, 12. 2014a

FREITAS, B.M. *et al.* **Plano de manejo para polinização da cultura do cajueiro: conservação e manejo de polinizadores para agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica.** Rio de Janeiro: Funbio. 52p. 2014b.

GAGLIANONE, M. C. *et al.* **Plano de manejo para os polinizadores do tomateiro.** Rio de Janeiro: FUNBIO. 2015.

GANGA, R. M. D. *et al.* Diversidade genética em maracujazeiro-amarelo utilizando marcadores moleculares fAFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 494-498, 2004.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms, **Science**, 351, 388-391, 2016.

GIANNINI, T.C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. **Agr. Ecosyst. Environ.** 171, 39-46. 2013

GIANNINI, T. C. *et al.* Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie**, 46(2), 209-223. 2015.

GIANNINI, T.C. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PloS one**, 12(8), e0182274, 2017.

Gutzler, C. *et al.* Agricultural land use changes—a scenario-based sustainability impact assessment for brandenburg, germany. **Ecological Indicators**, 48, 505-517, 2015.

HOGENDOORN, K.; STEEN, Z.; SCHWARZ, M. P. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses. **Journal of Apicultural Research**, vol. 39, no. 1-2, pp. 67–74, 2000.

HOGENDOORN, K. On promoting solitary bee species for use as crop pollinators in greenhouses. In Freitas, B.M.; Pereira, J. O. P. (Ed.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination.** Editora UFC, Fortaleza – Ceará. 213-221, 2004.

HOOVER, S. E. *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology Letters**, 15(3), 227-234, 2012.

SOUSA, J.H., VIANA, B. F., GARIBALDI, L. A. The value of pollinator-friendly practices: Synergies between natural and anthropogenic assets. **Basic and Applied Ecology**, 17(8), 659-667, 2016.

INGLEZ-SOUZA, J. D., MELETTI, L. M. M. **Maracujá: espécies, variedades, cultivo.** Piracicaba: Fealq, 179p. 1997.

IMBACH, P. *et al.* Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, 114(39), 10438-10442, 2017.

IBGE, 2017. Brazilian Institute of Geography and Statistics, produção agrícola municipal, 2016 data 2017: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=106&z=t&o=11> (accessed 28 November 2017).

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. 2013.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPBES. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovács-Hostyánszki, P.K. Kwapong, J. Li, X. Li, D. J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader, and B.F. Viana (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 p. 2016.

JUNQUEIRA, C.N. *et al.* Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. **Apidologie**, 44(6), 729-737, 2013.

KERR, J.T., Climate change impacts on bumblebees converge across continents. **Science**, 349(6244), 177-180, 2015.

KLEIN, A.M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proc. R. Soc. B** 274(1608), 303-313. 2007 doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

KJØHL, M., ANDERS, N., STENSETH, N.C. Potential effects of climate change on crop pollination. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011.
http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Biodiversity-pollination/Climate_Pollination_17_web__2_.pdf (acessado em 11 de novembro de 2017).

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M., THORP, R.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 99(26), 16812-16816, 2002.

- KUGLER, E. E., KING, L. A. **A brief history of the passionflower**. *Passiflora: passionflowers of the world*, 15-26, 2004.
- LOBELL, D.B., SCHLENKER, W., COSTA-ROBERTS, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, 333(6042), 616-620, 2011.
- LUCIA, M., ALVAREZ, L. J. ABRAHAMOVICH, A. H. Large carpenter bees in Argentina: systematics and notes on the biology of *Xylocopa* subgenus *Neoxylocopa* (Hymenoptera: Apidae). **Zootaxa**, 3754(3), 201-238, 2014.
- MARCHI, P., MELO, G. R. Biologia de nidificação de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *frontalis* (Olivier) (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini). *Oecologia Australis*, 14(1), 210-231, 2010.
- MARCHI, P., ALVES-DOS-SANTOS, I. As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (Xylocopini, Apidae) do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, 13(2). 2013.
- MARTINS, C. F. *et al.* Density and Distribution of *Xylocopa* Nests (Hymenoptera: Apidae) in Caatinga Areas in the Surroundings of Passion Fruit Crops. **Neotropical entomology**, 43(4), 314-321, 2014.
- MCGREGOR, S. E. ***Insect pollination of cultivated crop plants*** (Vol. 496). Washington (DC): Agricultural Research Service, US Department of Agriculture. 1976.
- MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 33(SPE1), 83-91. 2011.
- MICHENER, C. D. **The Bees of the World**. 2nd. Ed. *Johns Hopkins, Baltimore*. 2007.
- MEEUS, I., VERCRUYSSSE, V., SMAGGHE G. Molecular detection of *Spiroplasma apis* and *Spiroplasma melliferum* in bees. **J. Invertebr. Pathol.** 109(1):172-174. 2012.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.006>
- MOURE, J. S., URBAN, D., MELO, G. A. R. **Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region** (p. 1058). Curitiba: Sociedade Brasileira de Entomologia. 2007.
- OLIVER, T.H. *et al.* Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. *Nat. Clim Change*, 5(10), 941-945. 2015.
doi:10.1038/nclimate2746
- OLIVEIRA-FILHO, J. H.; FREITAS, B. M. Colonização e biologia reprodutiva de mamangavas (*Xylocopa frontalis*) em um modelo de ninho racional. *Ciência Rural*, 33(4), 693-697, 2003.

OLLERTON, J., WINFREE, R., TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals?. **Oikos**, 120(3), 321-326, 2011. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

PEREIRA, M., GARÓFALO, C. A. Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. **Oecologia Australis**, 14(1), 193-209, 2010.

POLCE, C. *et al.* Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. *Glob. Change Biol.* 20(9), 2815-2828, 2014.

POTTS, S.G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends. Ecol. Evol.** 25(6), 345-353, 2010 doi:<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

POTTS, S.G. *et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, 540(7632), 220-229, 2016. doi:10.1038/nature20588

PYWELL, R. F. *et al.* Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. **Proc. R. Soc. B** v282, 1816, p. 20151740, 2015.

RASMONT, P., ISERBYT, S. The Bumblebees Scarcity Syndrome: Are heat waves leading to local extinctions of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombus)? **Ann. Soc. Entomol. Fr.** 48(3-4) 275-280, 2012. doi:10.1080/00379271.2012.10697776

RICKETTS, T. H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation biology*, 18(5), 1262-1271, 2004.

RIZZI, L.C. **Cultura do maracujá azedo**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, SAA, 23p. 1998.

ROSENZWEIG, C. *et al.* Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 111(9), 3268-3273, 2014.

SCHOLES, R.J. Climate change and ecosystem services. **Wiley Interdiscip Rev Clim Change**, 7(4), 537-550, 2016.

SETTELE, J., BISHOP, J., POTTS, S.G. Climate change impacts on pollination. **Nat. Plants.** 2, 16092, 2016. doi: 10.1038/nplants.2016.92

SILVA, C.I. *et al.* Manejo dos polinizadores e polinização de flores do maracujazeiro. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo/Ministério do

Meio Ambiente, São Paulo. 60p. 2014.

http://www.iea.usp.br/pesquisa/grupos/servecosystemas/publicacoes/manejo-dos-polinizadores-e-polinizacao-de-flores-do-maracujazeiro/at_download/file

SILVA, C.I., MELLO, M.A.R., OLIVEIRA, P.O. A palinologia como uma ferramenta importante nos estudos das interações entre *Xylocopa* spp. e plantas no Cerrado, p. 72-79. In **Anais do IX Encontro Sobre Abelhas**, FUNPEC, Ribeirão Preto, Brazil. 2010.

SIQUEIRA, K. M. M. D. Ecology of pollination of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), in the region of São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 31(1), 1-12, 2009.

USAID, **The US market for passion fruit.**

2014. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KP21.pdf (acessado em 28 de nov. 2017).

VIANA, B. F., KLEINERT, A. M., SILVA, F. O. Ecology of *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *cearensis* (Hymenoptera, Anthophoridae) in Abaeté sand dunes, Salvador, Bahia. **Iheringia**. Série Zoologia, 92(4), 47-57, 2002.

VIANA, B. F., *et al.* **Plano de manejo para polinização de macieira variedade Eva: Conservação e manejo de polinizadores para a agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica.** Rio de Janeiro: FUNBIO. 2015

VANBERGEN, A.J. and INITIATIVE, t. I.P. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. **Front. Ecol. Environ.** 11: 251–259, 2013. doi:10.1890/120126

YAMAMOTO, M. *et al.* The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. **Apidologie** 43(5), 515-526, 2012.

3 PERDA DE ÁREA AGRÍCOLA E DESENCONTRO ESPACIAL DE POLINIZADORES DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS PÕEM EM RISCO A PRODUÇÃO DO MARACUJÁ NA REGIÃO NEOTROPICAL

RESUMO

A diversidade e abundância de polinizadores estão declinando nas paisagens agrícolas em algumas partes do mundo, juntamente com o serviço de polinização que eles promovem. Em meio a uma série de razões, as mudanças climáticas têm sido apontadas como um fator principal e estudos sugerem fortes impactos negativos para polinização agrícola até o final do século XXI. O estudo investigou pela primeira vez o efeito das mudanças climáticas concomitantemente em uma cultura tropical, maracujazeiro (*Passiflora edulis*) e duas espécies de abelhas (*Xylocopa frontalis* and *X. grisescens*) importantes de polinizador da cultura do maracujazeiro na região Neotropical, considerando dois cenários ambientais de mudanças climáticas do IPCC, RCP 4.5 e RCP 8.5, nos anos de 2060 e 2080. Os resultados mostram que as mudanças climáticas podem levar a modificações nas áreas de ocorrência natural com considerável perda de área adequada para abelhas *Xylocopa* (*X. frontalis*, RCP 4.5 = -27,3 a -15,4%; RCP 8.5 = -57,7 a -47,9%; *X. grisescens*, RCP 4.5 = -15,4 a -27,81%; RCP 8.5 = -23,5 a -35,3%), bem como para a cultura do maracujazeiro (RCP 4.5 = -44,9 a -51,3%; RCP 8.5 = -42,9 a -64,8%), para os anos de 2060 e 2080, respectivamente. As predições também apontam uma potencial redução de 31,9 a 54,9% na sobreposição de áreas adequadas remanescentes para abelhas e maracujazeiro, aumentando potencialmente o desencontro espacial entre cultura e seus polinizadores. Com base nos modelos de predições de mudanças climáticas, conclui-se que as áreas adequadas para co-ocorrência da cultura do maracujá e seus polinizadores efetivos poderá ser amplamente afetada na região neotropical e medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas devem ser tomadas para garantir populações de polinizadores viáveis nas áreas adequadas remanescentes para as abelhas e cultura agrícola.

Palavras-chave: Abelhas mamangavas. MaxEnt. *Passiflora*. Polinização tropical. Serviço de polinização. *Xylocopa*

ABSTRACT

Pollinator diversity and abundance are declining in the agricultural landscapes of some parts of the world along with the pollination service they provide. Among an array of reasons, the climate changes have been pointed out as a major player and studies suggest strong negative impacts on agricultural pollination towards the end of the 21st century. In this study, we investigated for the first time the concomitant effect of climate changes to a tropical crop, passion fruit (*Passiflora edulis*), and its two main pollinator bee species (*Xylocopa frontalis* and *X. grisescens*) in the Neotropics considering two of the IPCC environmental scenarios, RCP 4.5; RCP 8.5, and in the years 2060 and 2080. We have shown that the climate changes may lead to changes in the natural occurrence areas with considerable losses of area adequate for *Xylocopa* bees (*X. frontalis*, RCP 4.5 = -27.3 to -15.4%; RCP 8.5 = -57.7 to -47.9%; *X. grisescens*, RCP 4.5 = -15.4 to -27.81%; RCP 8.5 = -23.5 to -35.3%), as well as for cropping passion fruit (RCP 4.5 = -44.9 to -51.3%; RCP 8.5 = -42.9 to -64.8%), for years 2060 and 2080, respectively. We also predicted a potential reduction from 31.9 to 54.9% in the overlapping of the remaining suitable areas for the bees and passion fruit, increasing the potential spatial mismatch between the crop and its pollinators. Based on the models forecast of climate changes, we conclude that the suitable areas to co-occurrence of passion fruit crop and its effective pollinators will be largely affected in the Neotropic and steps to mitigate the effects of the climate changes should be taken to ensure viable population of pollinators in the remaining suitable areas for both bees and the crop.

Keywords: Carpenter bees. MaxEnt. *Passiflora*. Pollination services. Tropical pollination. *Xylocopa*.

Introdução

O serviço de polinização pode ser considerado entre os mais importantes serviços ecossistêmicos do mundo. Os polinizadores são peças chaves para a reprodução de espécies de plantas silvestres, além disso, garantem a produção de diversas culturas agrícolas (KLEIN *et al.*, 2007; POTTS *et al.*, 2016; Pufal *et al.*, 2017). Estima-se que 35% da produção agrícola (KLEIN *et al.*, 2007) e 87,5% das plantas com flores no mundo (OLLERTON *et al.*, 2011) em algum momento depende de um polinizador (BROWN *et al.*, 2016; IPBES, 2016).

No entanto, os polinizadores têm diminuído consideravelmente nas paisagens agrícolas de diversas partes do mundo, e como consequência, o serviço de polinização que eles promovem também será afetado (BIESMEIJER *et al.*, 2006; POTTS *et al.*, 2010). Este fato é conhecido como declínio de polinizadores e pode afetar significativamente a manutenção e reprodução de espécies de plantas, a estabilidade dos ecossistemas, produção de culturas agrícolas, segurança alimentar e bem-estar humano (POTTS *et al.*, 2010).

As evidências apontam várias causas para o declínio dos polinizadores, como a perda e a fragmentação do habitat, as pragas, as doenças, “spillover” de patógenos (i.e. Contaminação de patógenos entre espécies distintas), as espécies invasoras e as mudanças climáticas (FREITAS *et al.*, 2009; POTTS *et al.*, 2010; CAMERON *et al.* 2012; MEEUS *et al.*, 2012; POTTS *et al.*, 2016; BROWN *et al.*, 2016). Entre elas, as mudanças climáticas podem ter impactos sobre os polinizadores de forma progressiva, o que já é bem caracterizado, ou na forma de eventos extremos, os quais ainda são pouco compreendidos (Brown *et al.*, 2016), embora já ocorram em várias regiões do globo (IPCC 2013). As queimadas naturais, furacões e tornados, chuvas torrenciais fora da estação, bem como ondas de calor e secas estão se tornando mais frequentes e intensas na região Neotropical (FREITAS *et al.*, 2009). Além disso, ondas de calor e secas pode já ser responsáveis pela forte redução observadas em populações de algumas espécies de abelhas *Bombus* e borborletas em partes da Europa e do Reino Unido, com potencial ameaça à extinção local destes polinizadores (RASMONT; ISERBYT, 2012; OLIVER *et al.*, 2015).

As mudanças climáticas têm gerado preocupações sobre o seu efeito na biodiversidade de plantas e animais, bem como no serviço de polinização na agricultura (POTTS *et al.*, 2016; BROWN *et al.*, 2016; SETTELE *et al.*, 2016). Por exemplo, sabe-se que as mudanças dos padrões climáticos podem acarretar em um desencontro espacial e temporal de espécies de plantas e seus polinizadores (KJØHL *et al.*, 2011; SETTELE *et al.*, 2016), afetando diretamente as interações planta-polinizador com a extinção de polinizadores locais e

tornando as redes de interações menos robustas (RASMONT; ISERBYT, 2012; BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; OLIVER *et al.*, 2015). Portanto, o desencontro espacial e temporal entre polinizadores e culturas agrícolas representa um potencial risco para a produção agrícola (Settele *et al.*, 2016).

Vários estudos consistentes mostram os efeitos das mudanças climáticas nas culturas agrícolas (LOBELL *et al.*, 2011, CHALLINOR *et al.*, 2014, ROSENZWEIG *et al.*, 2014) e nos polinizadores (BARTOMEUS *et al.* 2013; BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; GIANNINI *et al.*, 2013; ELIAS *et al.*, 2017), mas poucos estudos investigam como a alteração dos padrões climáticos podem atuar concomitantemente nas culturas agrícolas e seus polinizadores (RADER *et al.*, 2013; POLCE *et al.*, 2014; IMBACH *et al.*, 2017).

Estudos como estes são particularmente interessantes para espécies agrícolas vulneráveis ao declínio dos polinizadores como a cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*). O maracujazeiro é uma importante cultura agrícola nativa da América do Sul que gera produção agrícola durante a maior parte do ano, tanto para pequenos agricultores quanto para empresas agrícolas. O Brasil é um maior produtor de maracujá no mundo (~60% da produção mundial), seguido por Indonésia (~10%), Índia (~9%) e Colômbia (~5%) (USAID, 2014). Atualmente o valor da produção agrícola do maracujá no Brasil é entorno de US\$ 340 milhões e sua produção diversifica-se em frutos e suco fresco (IBGE, 2017; FAOSTAT, 2017). A polinização adequada é um problema para as flores do maracujá que dependem das escassas abelhas de grande porte e a compreensão de potenciais futuras ameaças para a relação cultura-polinizador é crucial para produção agrícola (SILVA *et al.*, 2014; FREITAS *et al.* 2017).

As flores do maracujazeiro são isoladas, grandes, hermafroditas, que apresentam uma estrutura colunar no centro chamado de androginóforo, elevando os órgãos reprodutivos da flor em diferentes alturas (heterostilia). O androceu é composto por cinco estames com anteras grandes que se projetam para fora da porção mediana do androginóforo, enquanto o estigma e tripartido está localizado na porção terminal superior do androginóforo acima das anteras (HOFFMANN *et al.*, 2000). A antese é sincrônica e, quando aberta, as flores mostram as anteras e os lóbulos do estigma voltados para cima. A flor apresenta protrandria, assim, logo depois de abertas, as anteras iniciam o movimento de se afastar do eixo central do androginóforo, declinando com a face voltada para baixo e liberando o pólen, enquanto os lóbulos do estigma permanecem voltados para cima e inacessíveis para a polinização. Após

cerca de uma hora depois da abertura da flora, os estigmas iniciam o movimento de deflexão, os quais pode ser parcial ou total e quando assumem a posição de 90° em relação ao eixo central do androginóforo podem ser tocados pelos visitantes florais e tornam-se receptíveis (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; COBERT; WILLMER, 1980). Além disso, o maracujazeiro é auto incompatível, requerendo pólen proveniente de outra planta para a polinização produza sementes e frutos (BRUCKNER *et al.*, 1993)

Todas essas barreiras impedem a autopolinização e tornam uma planta dependente de abelhas grandes para tocar os órgãos reprodutivos da flor durante a visita, adquirindo pólen em seus corpos e distribuindo o pólen para os estigmas receptivos de flores mais distantes pertencentes a outras plantas (FREITAS *et al.*, 2003; AUGUSTO *et al.*, 2012; YAMAMOTO *et al.*, 2012). Nestas condições, as abelhas de grande porte do gênero *Xylocopa* são polinizadores efetivos da cultura do maracujazeiro (SIQUEIRA *et al.*, 2009; JUNQUEIRA *et al.*, 2013).

A alta dependência dessas espécies de planta com os poucos polinizadores nativos especializados torna a cultura do maracujá um bom modelo para estudos dos impactos de mudanças climáticas no serviço de polinização agrícola. Logo, as mudanças na ocorrência de abelhas do gênero *Xylocopa* em um bioma brasileiro, cuja cultura do maracujá é importante foi investigado por Giannini *et al.* (2013). No presente trabalho, a modelagem da distribuição espacial de espécies foi utilizada para avaliar as potenciais consequências das mudanças climáticas na adequabilidade de ocorrência de duas importantes espécies de abelhas polinizadoras da cultura do maracujazeiro, *Xylocopa frontalis* e *X. friscens* e da cultura do maracujá (*P. edulis*) e sobreposição de abelhas e cultura em toda a região neotropical, considerando dos cenários ambientais do IPCC (2013), RCP=4.5; RCP=8.5, nos anos de 2060 e 2080.

Material e Métodos

Dados bióticos

A ocorrência de duas espécies de abelhas mamangavas *X. frontalis* Oliver, 1789 e *X. grisescens* Lepeletier, 1841 foram analisadas. O critério de escolha dessas abelhas está relacionado com o fato de serem consideradas polinizadores efetivos dessa cultura (Freitas & Oliveira-Filho, 2003; Siqueira *et al.*, 2009; Yamamoto *et al.*, 2012), e o potencial nível de técnicas de criatório e manejo para incrementar sua população em cultivos de maracujá (Freitas & Oliveira-Filho, 2001; Junqueira *et al.*, 2013).

As ocorrências das espécies de *Xylocopa* estudadas foram obtidas através de revisão de literatura, além de portais de dados disponibilizados pelo *SpecieLink* e *Global Biodiversity Information Facility* - GIBF. Esses dados geraram 371 pontos de ocorrência para *X. frontalis* e 188 pontos de ocorrência para *X. grisescens*. Observamos que alguns registros possuíam erros relacionados à posição das coordenadas (Ver apêndice A). Assim, nós fizemos uma limpeza e extração desses pontos que não representavam a posição real das espécies.

Para determinar as coordenadas dos cultivos de maracujá, nós utilizamos a base de dados de produção agrícola disponível no site do IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics). Assim, 1195 municípios onde foi cultivado o maracujazeiro, nos últimos dez anos, foram tomados como base para as coordenadas (Ver apêndice A).

Dados climáticos

Um total de 19 camadas de variáveis bioclimáticas (Ver anexo A) para os cenários atuais foram obtidos através do *Worldclim* (Hijmans et al. 2005), cada camada possuía resolução espacial de 2,5 minutos de arco (células com tamanho de ~4.5 km). Para os cenários futuros também foram utilizadas 19 camadas de variáveis de mesma resolução (Ver anexo A). As projeções para as condições futuras foram obtidas com base nas mudanças climáticas para os anos 2060 e 2080, considerando os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways; IPCC AR5, 2013), desenvolvidos pelo Hadley Center Global Environmental Model (HadGEM2-ES). Assim, baseado no *5th Assessment Report IPCC* (2013), recentemente publicado, os cenários do *the Representative Concentration Pathway*, RCP 4.5 e 8.5 *Wm⁻² radioactive forcing level*, correspondem aos cenários moderado e pessimista, respectivamente. Em outras palavras, a projeção de aumento da temperatura média global no cenário moderado é de 1.4 a 1.8 °C e no cenário pessimista é de 2.0 a 3.7 °C (IPCC - AR5, 2013).

Os níveis de correlação entre as variáveis bioclimáticas foram avaliados por meio do coeficiente de correlação de Pearson e análise de componentes principais (PCA) para comparação das 19 variáveis climáticas. Quando duas ou mais variáveis apresentaram forte correlação ($r \geq |0.75|$), então somente a variável mais explicativa foi selecionada. As variáveis de menor contribuição foram excluídas do modelo final de todas as espécies.

Construção dos modelos

A modelagem de distribuição espacial de espécies foi realizada utilizando o pacote Dismo versão 1.1-4 (Hijmans *et al.*, 2016), através de linguagem R (R Development Core Team). Para isso, a modelagem de nicho ecológico é realizada através da aplicação do algoritmo de máxima entropia, o MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006).

A calibração e validação dos modelos foram realizadas com 10 replicações com combinações de características do MaxEnt (*QPTH* (*quadratic + product + threshold + hinge*) e *QPH* (*quadratic + product + hinge*)), com o nível de regularização igual a 1.0, no total de três calibrações para cada modelo e um máximo de 500 interações para cada modelo. Um total de 20% dos pontos de ocorrência foi usado como teste, e escolhidos ao acaso para cada espécie. No entanto, os menores valores de taxa de omissão foram aplicados (*10 percentile omission rate*, ou OR10%) ao calcular a previsibilidade de recuperação destes 20% no modelo construído foram confrontados com os maiores e respectivos valores de *Area Under the Curve* (AUC) que denota adequabilidade (Soley-Guardia *et al.* 2014). Altos índices de AUC indicam que o modelo está baseado em informação (i.e. mais explicativo), se comparado a um modelo aleatório, sem informação, cujo valor de AUC seria 0,50. O alto valor de AUC (próximos a 1,0) indica um bom desempenho do modelo utilizado (Ver Apêndice A).

Sobreposição dos mapas

Para a realização da sobreposição dos mapas, um conjunto aleatório de dados para pseudo-ausência foi gerado por espécie para toda a área de estudo (Latitudes, - 60° Oeste a 32° Leste; Longitude, 24° Norte a -125° Sul). As pseudo-ausências aleatórias foram agrupadas em cinco grupos por espécies com um total de 200 pontos para cada grupo (1 grupo teste e 4 grupos *training*). Dessa forma, determinamos o ponto de corte (cutoff) com o auxílio do pacote Dismo versão 1.1-4 (Hijmans *et al.*, 2016), e através do pacote biomod2 versão 3.3-7 (Thuiller *et al.*, 2016), em linguagem R (R Development Core Team), realizamos uma transformação binária dos modelos, para que fossem comparados *a posteriori*.

Depois da transformação binária para cada modelo, cada mapa foi comparado entre o cenário atual e cenário futuro. Os mapas de cada cenário da cultura do maracujá com os respectivos cenários de cada espécie de abelha em separado e para as duas abelhas atuando de forma conjunta também foram comparados. Desse modo, foi possível estimar a área (Km²) adequada a cada espécie no cenário atual e a mudança na amplitude de ocorrência das espécies nos cenários futuros, bem como a sobreposição em área (km²) que são adequadas para a cultura, para cada espécie e para todas as espécies de forma conjunta.

Resultados

*Ocorrência das espécies de abelhas *Xylocopa* e cultura do maracujazeiro*

No cenário atual o número de pontos de ocorrência registrados na Região Neotropical para as espécies de abelhas mamangavas analisadas foram de 271 pontos, sendo 199 pontos para *X. frontalis* e 72 pontos para *X. grisescens*, enquanto que foram registrados 1195 municípios com cultivos de maracujazeiro (*P. edulis*) de 2006 a 2015.

De acordo com os pontos de ocorrência amostrados, a abelha *X. frontalis* tem uma ampla distribuição espacial em relação a abelha *X. grisescens*, cujos pontos de ocorrências estavam restritos ao Brasil. Para a cultura do maracujazeiro, os pontos de ocorrência mostraram uma alta concentração de áreas cultivadas no Nordeste, Sudeste e Sul do Brasil (Ver apêndice A).

Modelagem dos cenários atuais e cenários futuros

A previsão dos modelos para a distribuição espacial atual da espécie de abelha *X. frontalis* sugere que a região central do Brasil apresenta áreas inadequadas e com baixo potencial de ocorrência, seguidos por Chile, Colômbia, Venezuela, Peru, Bolívia e Paraguai (abaixo de 20%) e regiões as quais a presença da espécie não era esperada (e.g. Patagônia). Por outro lado, as áreas adequadas com alto potencial para a ocorrência das espécies (acima de 60%) estão concentradas no Brasil, embora algumas áreas adequadas, porém, fragmentadas possam ser observadas em outros países (Fig. 1A).

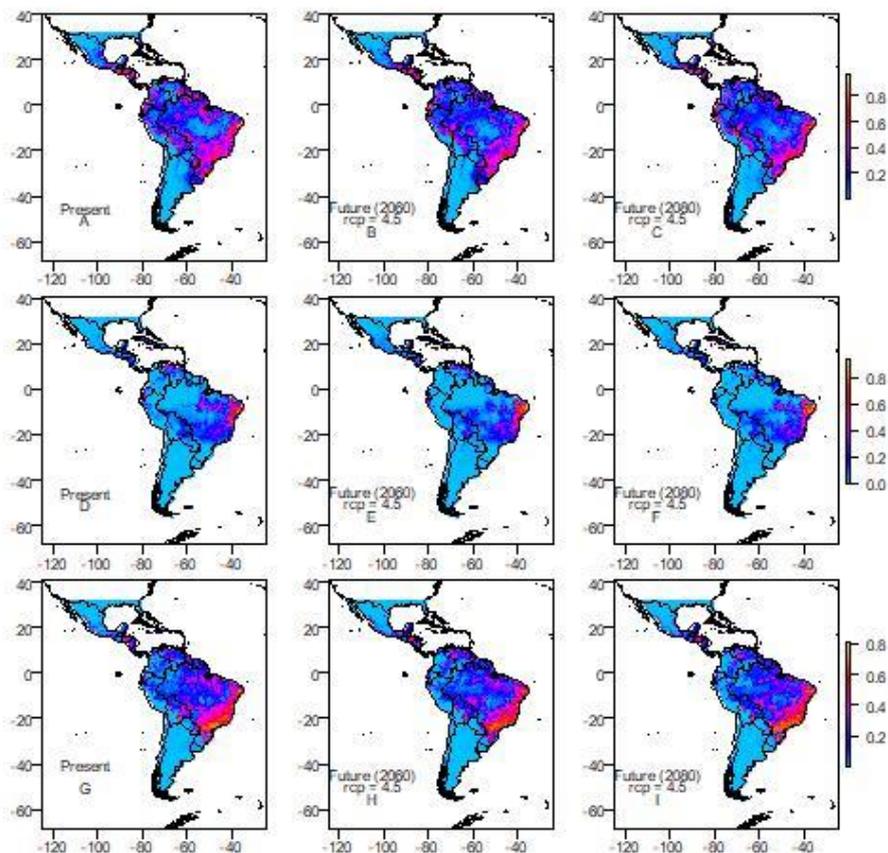
Os modelos de predição atual para a distribuição espacial da espécie de abelha *X. grisescens* mostraram que o potencial de adequação das áreas de ocorrência (acima de 60%) estavam concentrados predominantemente na Floresta da Mata Atlântica, no semiárido brasileiro e algumas áreas na região da costa do Equador, embora, nenhum dos registros da espécies tenham sido encontrados neste países. Outras regiões (e.g. Amazônia e sul do Brasil) tem um baixo potencial de ocorrência (menor que 10%), bem como poucas áreas adequadas da região neotropical, com prevalência de áreas sem adequabilidade para essa espécie (Fig. 1D). Os mapas obtidos através da previsão dos modelos apresenta uma distribuição espacial compatível com o que se conhece na literatura para amplitude de distribuição de ambas as espécies de abelhas, exceto para as áreas do litoral do Equador para abelhas *X. grisescens*.

De acordo com a distribuição espacial atual da cultura do maracujazeiro, os modelos de previsão sugerem uma extensa área adequada para o cultivo do maracujá no Brasil. Também, existem áreas em algumas regiões da Bolívia e dos países América Central

(adequabilidade potencial acima de 60%), cujas condições ecológicas e climáticas são adequadas para o cultivo do maracujá. No entanto, os mapas mostram que em algumas partes da região neotropical apresenta áreas com menor potencial e também áreas inadequadas para o cultivo do maracujazeiro (menor que 20%), entre elas a Amazônia e a maioria dos países da América do Sul (Fig. 1G). Os mapas, obtidos através da modelagem de distribuição espacial da cultura para o período atual, cobriram a maior parte da sua área já apresentada pelo IBGE (IBGE, 2017).

A maioria dos modelos obtidos, tanto para as espécies de abelhas quanto para a cultura do maracujazeiro, obtiveram os valores de AUC iguais ou maiores que 0.90, com exceção os modelos RCP 4.5 (2060) da cultura do maracujazeiro, cuja o valor foi igual a 0,8981. Os modelos com AUC maiores que 0.90 podem ser considerados precisos e os modelos maiores que AUC 0.89 podem ser considerados de boa predição (Ver Apêndice A).

Figura 1 – Mapas dos modelos de predição para as espécies de abelhas *Xylocopa frontalis* (A, B, C), *Xylocopa grisescens* (D, E, F) e cultura do maracujá nas projeções do RCP 4.5 nos anos de 2060 e 2080.



Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com os resultados, as áreas de potencial ocorrência para ambas as espécies de abelhas e cultura do maracujá no cenário moderado (RCP 4.5; 2060 e 2080) sofrerão mudanças consideráveis na distribuição espacial dessas espécies na região neotropical (Fig. 1). No geral, as áreas de potencial ocorrência para *X. frontalis*, *X. grisescens* e *P. edulis*, cujas no cenário atual tem potencial de ocorrência menor de 40%, sofrerão uma redução ainda maior nos cenários futuros. No entanto, apesar da redução de tamanho, as áreas que possuem no cenário atual uma probabilidade de adequação de 60% irão aumentar esse potencial para cerca de 80%. Em outras palavras, as áreas adequadas para a cultura do maracujazeiro e seus polinizadores irão reduzir de tamanho, mas poderão se tornar mais adequadas a presença das três espécies (Fig. 1; Ver Apêndice B).

Da mesma forma, as mudanças na amplitude da distribuição espacial foram observadas para o cenário pessimistas (RCP 8.5; 2060 e 2080). Os modelos de previsão apresentaram uma redução na adequação de habitat para ambas às espécies de abelhas e cultura do maracujá em várias partes da região neotropical, particularmente na floresta Amazonica. No entanto, um elevado potencial de áreas adequadas para a ocorrência de *X. frontalis*, *X. grisescens* e *P. edulis* permanecem contínuos na costa leste da América do Sul cobrindo grandes áreas do nordeste e sudeste do Brasil. (Fig. 2; Ver Apêndice B).

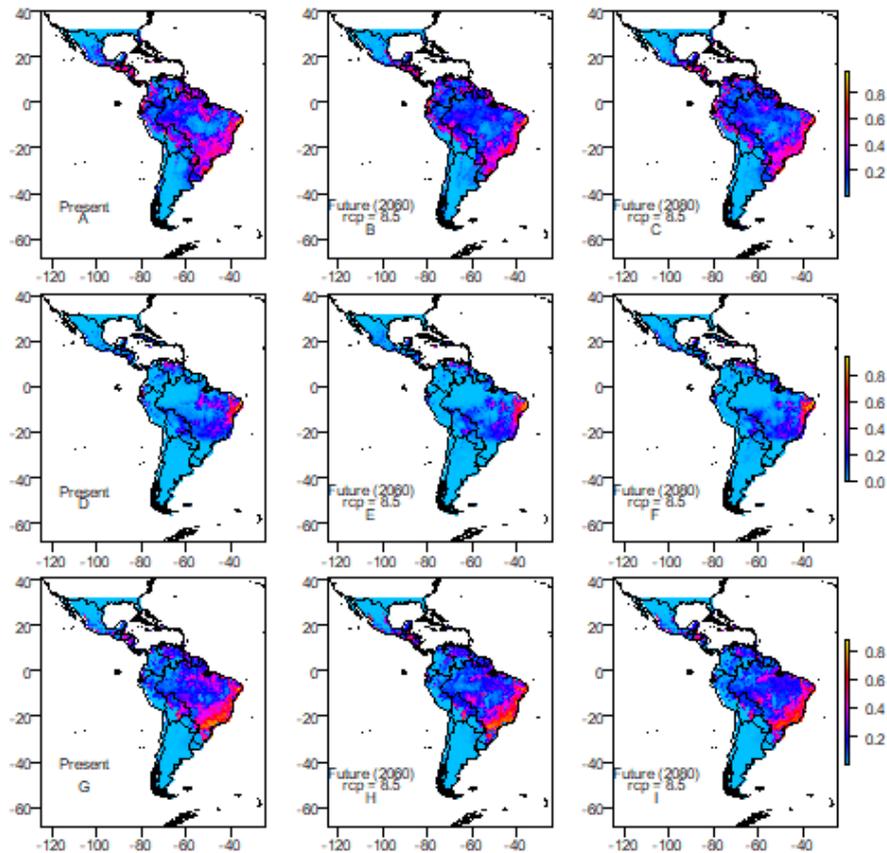
Observa-se também que as áreas da região Centro-Sul das Cordilheiras dos Andes, entre Peru e Bolívia, serão adequadas para a ocorrência de *X. frontalis*. Por sua vez, as áreas de potencial ocorrência para *X. grisescens* irão continuar restritas ao Brasil. Além disso, outras áreas na região neotropical tornar-se-ão adequadas para a ocorrência dessas abelhas, apesar da ausência de registros para as espécies nessas áreas nos dias atuais (Fig. 2).

Quanto ao cultivo do maracujazeiro, a ampla distribuição espacial permanecerá concentrada no Brasil, apesar de reduções nas condições adequadas para os pomares da cultura. As áreas adequadas no presente na Amazonia tenderão a reduzir seu potencial de adequabilidade nos cenários futuros moderados e pessimista. No entanto, poderá haver um aumento de novas áreas com condições adequadas para os pomares de maracujá em locais específicos da região Neotropical (Fig. 2; Ver Apêndice B).

Os modelos de previsão sugerem que as espécies podem mudar suas áreas de ocorrência presentes para novas áreas adequadas na região neotropical. Os mapas de sobreposição para os cenários futuros mostram que as abelhas *X. frontalis* ganharão novas áreas potencialmente adequadas e apresentam, também, um potencial deslocamento para novas áreas nos modelos de previsão RCP 4.5 (2060; 2080). Esses modelos predizem

potenciais perdas de área em relação aos dias atuais de 27,3 e 15,4%, respectivamente, mas um aumento potencial geral em áreas adequadas para as abelhas da espécie *X. frontalis* de 35,6 a 75,1%. No entanto, os modelos do RCP 8.5, nos anos de 2060 e 2080 predizem reduções de 57,7 e 47,9% nas áreas de ocorrência de *X. frontalis*, respectivamente (Tabela 1).

Figura 2 – Mapas dos modelos de previsão para as espécies de abelhas *Xylocopa frontalis* (A, B, C), *Xylocopa grisescens* (D, E, F) e cultura do maracujazeiro nas projeções do RCP 8.5 nos anos de 2060 e 2080.



Fonte: elaborado pelo autor

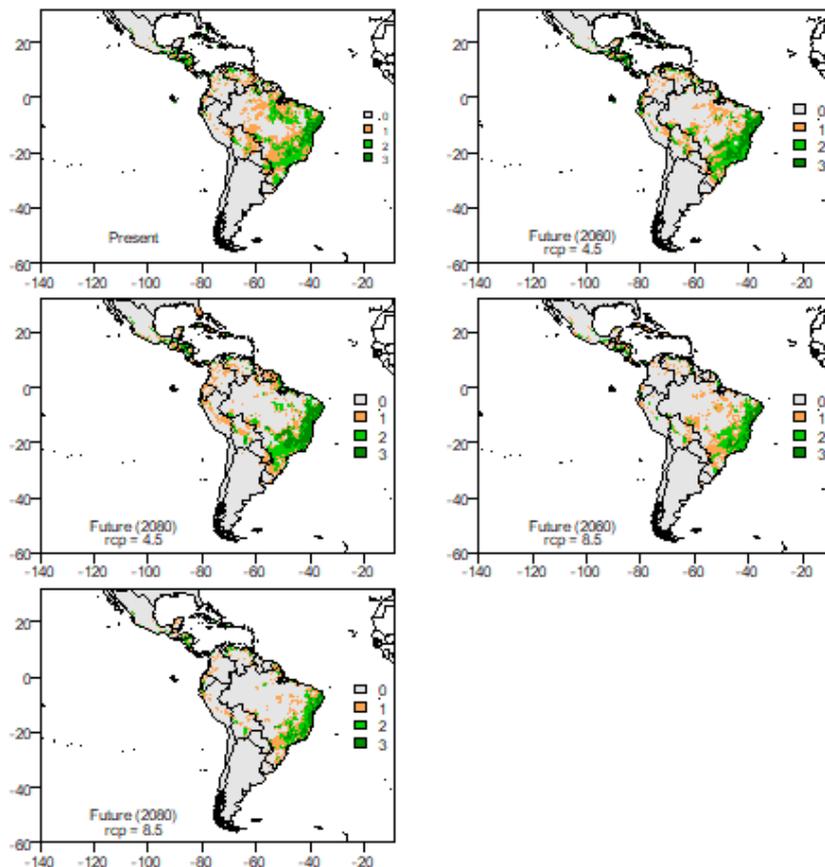
As abelhas *Xylocopa grisescens* poderão ter um potencial deslocamento para novas áreas no cenário moderado (RCP 4.5, 2060) de até 130,4%. Contudo, os modelos mostram reduções nas áreas adequadas de até 35,3% no cenário pessimista (RCP 8.5) em 2080 e nos outros cenários a redução será de 15,4, 27,8 e 23,5% no cenários moderado (RCP 4.5; 2060 e 2080) e cenários pessimista (RCP 8.5; 2060), respectivamente.

A cultura do maracujá será a espécie mais afetada pelas mudanças climáticas em todos os cenários futuros. De acordo com os modelos de predições, poderá haver uma redução crítica das áreas adequadas para os cultivos de maracujazeiro, a redução da área adequada

para o cultivo da cultura nos modelos RCP 4.5 e RCP 8.5 quando comparados os dias atuais será de -44,8 a -51,3% e -42,9 a -64,8% para os anos de 2060 e 2080, respectivamente. Essa situação poderá causar redução na produtividade e adequação das áreas de cultivo do maracujazeiro (Tabela 1).

Quanto a comparação dos mapas de sobreposição da amplitude espacial das espécies de abelhas e cultura (Fig. 3), observa-se um desencontro espacial de polinizadores e cultura, de até 42,8% nos modelos RCP 8.5 (2060). Observou-se também uma potencial redução nas áreas de potenciais adequadas para coexistência de todas as espécies de 34,1 a 38,2% nos cenários moderados (RCP 4.5; 2060 e 2080, respectivamente) e 31,9% a 54,9% nos cenários pessimista (RCP 8.5; 2060 e 2080) (Tabela 2).

Figura 3 – Mapas de sobreposição das espécies de abelhas *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa grisescens* e cultura do maracujazeiro nos cenários atuais, moderado (RCP 4.5) e pessimistas (RCP8.5) nos anos de 2060 e 2080. Legenda: 0 – indica nenhuma ocorrência de espécie; 1 – área de ocorrência de uma das espécie; 2 – área de ocorrência de duas das espécies. 3 – área de ocorrência das três espécies.



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 1 – Sobreposição das áreas de potencial ocorrência de espécies nos cenários atuais e futuros (RCP 4.5, 2060; 2080 and RCP 8.5, 2060; 2080) para as espécies de abelhas *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa grisescens* e cultura do maracujazeiro na região neotropical.

Espécies	Cenários	Área atual	Área de potencial perda		Área inauterada	Área de potencial ganho		Área futura	Área auterada
		Km ²	Km ²	(%)	Km ²	Km ²	(%)	Km ²	%
<i>Xylocopa frontalis</i>	Atual x RCP 4.5 (2060)	761755,5	208305,0	(27,34)	553450,5	291582,0	(35,68)	825264,0	8,34
	Atual x RCP 4.5 (2080)	761755,5	117904,5	(15,48)	643851,0	438547,5	(75,18)	1216566,0	59,70
	Atual x RCP 8.5 (2060)	761755,5	439663,5	(57,71)	322092,0	351576,0	(9,77)	396499,5	-47,95
	Atual x RCP 8.5 (2080)	761755,5	358479,0	(47,06)	403276,5	211396,5	(18,03)	540616,5	-29,03
<i>Xylocopa grisescens</i>	Atual x RCP 4.5 (2060)	410148,0	63229,5	(15,41)	346918,5	27666,0	(130,43)	881883,0	115,02
	Atual x RCP 4.5 (2080)	410148,0	114066,0	(27,81)	296082,0	127485,0	(69,37)	580590,0	41,56
	Atual x RCP 8.5 (2060)	410148,0	96475,5	(23,52)	313672,5	103455,0	(69,11)	597145,5	45,59
	Atual x RCP 8.5 (2080)	410148,0	144859,5	(35,32)	265288,5	373099,5	(55,65)	493533,0	20,33
<i>Passiflora edulis</i>	Atual x RCP 4.5 (2060)	1469151,0	659808,0	(44,91)	809343,0	344542,5	(5,882)	895765,5	-39,03
	Atual x RCP 4.5 (2080)	1469151,0	754276,5	(51,34)	714874,5	638239,5	(3,436)	765355,5	-47,90
	Atual x RCP 8.5 (2060)	1469151,0	630288,0	(42,90)	838863,0	213462,0	(6,343)	932044,5	-36,56
	Atual x RCP 8.5 (2080)	1469151,0	952965,0	(64,86)	516186,0	455674,5	(1,192)	533700,0	-63,67

Tabela 2 – Áreas potenciais (Km²) de sobreposição entre a cultura do maracujazeiro e suas abelhas polinizadoras, *Xylocopa frontalis* and *X. grisescens*, no cenários atuais e cenários futuros na região neotropical.

Cultura agrícola	Abelhas	Cenários	Área					
			Somente abelhas presentes		Abelhas e cultura presentes		Somente a cultura presente	
			Km ²	(%)	Km ²	(%)	Km ²	(%)
<i>Passiflora edulis</i>	<i>Xylocopa frontalis</i>	Atual	195669,0	(100)	566086,5	(100)	903064,5	(100)
		RCP 4.5 (2060)	314671,5	(60,82)	510592,5	(-9,80)	385173,0	(-57,35)
		RCP 4.5 (2080)	609484,5	(211,49)	607081,5	(7,24)	158274,0	(-82,47)
		RCP 8.5 (2060)	114574,5	(-41,44)	281925,0	(-50,20)	650119,5	(-28,01)
		RCP 8.5 (2080)	270117,0	(38,05)	270499,5	(-52,22)	263200,5	(-70,85)
	<i>Xylocopa grisescens</i>	Atual	56380,5	(100)	353767,5	(100)	1115384	(100)
		RCP 4.5 (2060)	365431,5	(548,15)	516451,5	(45,99)	379314,0	(-65,99)
		RCP 4.5 (2080)	222403,5	(294,47)	358186,5	(1,25)	407169,0	(-63,50)
		RCP 8.5 (2060)	185026,5	(228,17)	412119,0	(16,49)	519925,5	(-53,39)
		RCP 8.5 (2080)	251176,5	(345,50)	242356,5	(-31,49)	291343,5	(-73,88)
Abelhas mamangavas (<i>X. frontalis</i> and <i>X. grisescens</i>)	Atual	222934,5	(100)	545481,0	(100)	736483,5	(100)	
	RCP 4.5 (2060)	520632,0	(133,54)	359064,0	(-34,17)	202711,5	(-72,48)	
	RCP 4.5 (2080)	623340,0	(179,61)	336996,0	(-38,22)	114223,5	(-84,49)	
	RCP 8.5 (2060)	271116,0	(21,61)	371061,0	(-31,98)	399492,0	(-45,76)	
		RCP 8.5 (2080)	396949,5	(78,06)	245655,0	(-54,97)	154444,5	(-79,03)

Área de potencial ocorrência da cultura do maracujá, Atual = 1469151,0 km²; RCP 4,5 (2060) = 895765,5 km²; RCP 4,5 (2080) = 765355,5 km²; RCP 8,5 (2060) = 932044,5 km²; RCP 8,5 (2080) = 533700,0 km²; Área de potencial ocorrência de *X. frontalis*, Atual = 761755,5 km²; RCP 4,5 (2060) = 825264,0 km²; RCP 4,5 (2080) = 1216566,0 km²; RCP 8,5 (2060) = 396499,5 km²; RCP 8,5 (2080) = 540616,5 km²; Área de potencial ocorrência de *X. grisescens*, Atual = 410148,0 km²; RCP 4,5 (2060) = 881883,0 km²; RCP 4,5 (2080) = 580590,0 km²; RCP 8,5 (2060) = 597145,5 km²; RCP 8,5 (2080) = 493533,0 km²,

Discussão

Os efeitos das mudanças climáticas têm sido estudados para os polinizadores e para as culturas agrícolas de forma separada (HEGLAND *et al.*, 2009; LOBELL *et al.*, 2011; VANBERGEN *et al.*, 2013; CHALLINOR *et al.*, 2014; KERR *et al.*, 2015; SCHOLE, 2016). Contudo, poucos esforços têm sido concentrados para entender como os efeitos das mudanças climáticas agem concomitantemente (RADER *et al.*, 2013; POLCE *et al.*, 2014; ELIAS *et al.*, 2017; IMBACH *et al.*, 2017). Este estudo mostra que as mudanças climáticas podem levar a mudanças nas áreas de ocorrência natural de abelhas *Xylocopa*, bem como nas áreas adequadas ao cultivo de maracujá e uma redução potencial nas áreas de sobreposição adequadas pelas espécies de abelhas e adequadas para a cultura do maracujazeiro.

Os resultados mostraram mudanças na distribuição espacial de abelhas *Xylocopa* e redução nas áreas de potenciais ocorrências nos dias atuais, o que representa perda de adequabilidade dessas áreas até o final do século XXI. Assim, um aumento de áreas não adequadas pode levar a um declínio na abundância dessas espécies de abelhas nas regiões afetadas. Alterações e fragmentação das áreas adequadas para populações de abelhas causadas pelas mudanças climáticas tem sido também previstas por Giannini *et al.* (2013) em um estudo restrito ao cerrado Brasileiro.

Além disso, observa-se que as regiões com alta abundância de *X. frontalis* e *X. grisescens* e alto potencial de ocorrência nos dias atuais tendem a reduzir em tamanho e aumentar no potencial de ocorrência de espécies nos cenários futuros. Do mesmo modo, as espécies de abelhas poderão mudar para áreas atualmente inadequadas (e.g. Centro-Sul da cordilheira dos Andes) e essa é uma das razões para o aumento da amplitude de distribuição espacial em alguns dos modelos observados. No entanto, é importante notar que áreas adequadas no futuro poderão vir a ser potenciais refúgios para espécies capazes de chegar a essas áreas (POTTS *et al.*, 2010). Essas espécies terão que ultrapassar matrizes (barreiras) existentes entre as áreas de ocorrência atual e as novas áreas adequadas no futuro. Porém, entende-se que muitas dessas áreas não poderiam ser alcançadas naturalmente por essas abelhas. Outra forma dessas espécies chegarem essas regiões seria através de uma introdução deliberada.

No entanto, estudos recentes mostram que as mudanças climáticas já estão alterando a fenologia de espécies, abundância e distribuição espacial de alguns polinizadores nas últimas décadas (HEGLAND *et al.*, 2009; KERR *et al.*, 2015; OLIVER *et al.*, 2015). Neste sentido, alguns polinizadores estão mudando a sua amplitude de distribuição espacial de

locais previamente adequados para novas áreas anteriormente inadequadas a sobrevivência, porém, tornando-se espécies adequadas as novas áreas, enquanto, outras espécies de polinizadores parecem ser menos capazes de adaptarem-se as mudanças (POTTS *et al.*, 2010; POTTS *et al.*, 2016).

No mesmo sentido, Giannini *et al.* (2017) apontam que as mudanças climáticas em um cenário pessimista, prejudicaria a produção agrícola no Brasil, incluindo a cultura do maracujazeiro. Neste mesmo cenário, uma diminuição na população de espécies de polinizadores em vários municípios brasileiros e que o declínio dessas populações poderia reduzir as áreas de sobreposição entre culturas e seus polinizadores. Contudo, este estudo concentrou-se apenas nos efeitos das mudanças climáticas nos polinizadores, assumindo que as áreas agrícolas no futuro seriam as mesmas que as atuais. Aqui, as áreas adequadas para a cultura do maracujazeiro nos cenários futuros foram estimadas e observou-se redução nas áreas adequadas para o cultivo de pomares de maracujá em todos os cenários. Além disso, estima-se uma redução na sobreposição de áreas adequadas para as abelhas polinizadoras e a cultura do maracujá no futuro, potencialmente aumentando em mais de 50% do desencontro dos polinizadores com a cultura, o que sugere que os efeitos sobre o cultivo do maracujazeiro poderão ser maiores que os projetados por Giannini *et al.* (2017).

As reduções das áreas adequadas para o cultivo da cultura do maracujá poderão não somente prejudicar a produção agrícola, mas também afetar regiões nas quais os pomares de maracujazeiro são economicamente importantes. Este desencontro na distribuição espacial de espécies poderá tornar o serviço de polinização mais vulnerável, o qual conseqüentemente pode afetar diretamente a produção agrícola (SETTELE *et al.*, 2016). Desajustes espaciais entre culturas agrícolas e seus polinizadores já têm sido estimados para culturas agrícolas de clima temperado como é o caso da maçã (*Malus domestica*), pera (*Pyrus communis*) e ameixa (*Prunus domestica*), e as projeções dos modelos indicam que as mudanças climáticas irão levar a perda de áreas sobrepostas devido a falta de condições climáticas adequadas para a coexistência da cultura e dos seus polinizadores (POLCE *et al.*, 2014).

Este estudo é o primeiro conduzido com uma cultura e abelha tipicamente de clima tropical que consideram potenciais mudanças nas áreas adequadas para ambas as espécies de abelhas polinizadoras e a espécie de planta. Revela-se aqui não somente uma redução nas áreas adequadas aos pomares de maracujazeiro, mas também nas áreas de coocorrência das três espécies as quais irão acentuar o desajuste espacial entre a cultura e seus principais polinizadores na região neotropical.

Além disso, efeitos indiretos poderão ainda mais impactar os cenários para as espécies estudadas (BROWN *et al.*, 2016). Por exemplo, estudos sugerem que o aquecimento global pode também levar a desencontros temporais levando a perdas de coocorrência espacial, os quais poderão afetar diretamente a fenologia de algumas espécies de plantas e a interação planta-polinização, o que tornaria menos robustas as paisagens modificadas (KJØHL, *et al.*, 2011; BURKLE *et al.*, 2013; VANBERGEN *et al.*, 2013; POLCE *et al.*, 2014, SETTELE *et al.*, 2016). As mudanças dos fatores climáticos levam a incompatibilidade fenológicas que afetam principalmente os polinizadores especializados, mas também reduzem a amplitude da dieta de abelhas generalistas (e.g. abelhas *Xylocopa*), conseqüentemente, diminuem a disponibilidade dos recursos para as espécies (VANBERGEN *et al.*, 2013). Ao mesmo tempo, as alterações dos fatores climáticos poderá também atuar diretamente nas culturas agrícolas mudando sua fenologia, morfologia floral, razões sexual e química do néctar, afetando a atratividade para as abelhas (HOOVER *et al.*, 2012).

As mudanças climáticas ameaçam o serviço de polinização natural da cultura do maracujazeiro, sendo necessário o desenvolvimento de estratégias para mitigar esses efeitos. De acordo com o IPCC (2013), em todos os cenários do RCP, a temperatura média global irá aumentar de 0,3 a 4,8°C até o final do século XXI. Embora a cultura do maracujazeiro seja uma espécie que naturalmente possa habitar ambientes fitogeográficos heterogêneos, devido a um limite fisiológico natural da espécie, não há certeza que os melhoristas vegetais possam selecionar e desenvolver variedades capazes de sobreviver e ser produtivas sob os novos cenários ambientais para compensar as áreas perdidas. Neste caso, a falta de polinizadores nos pomares de maracujá pode ser compensada pela polinização manual, embora esse trabalho resulte no aumento dos custos de produção (JUNQUEIRA *et al.*, 2012) e atualmente há escassez de mão de obra no campo para a realização deste trabalho.

Além disso, o uso de práticas amigáveis aos polinizadores em áreas onde há perda de densidade populacional de abelhas, por exemplo, a conservação de florestas e fragmentos no entorno dos pomares de maracujá, pode resultar na conservação de populações de abelhas *Xylocopa* perto da cultura, especialmente porque essas abelhas podem usar madeira morta como substrato de nidificação e podem usar os recursos florais dessas áreas (KREMEN *et al.*, 2002; Giannini *et al.*, 2013). Finalmente, a criação e manejo de abelhas *Xylocopa* poderá ser implementado para mitigar os déficits de polinização nos pomares de maracujá que não possui seus polinizadores silvestres (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003).

Conclusão

Baseado nos modelos de predição das mudanças climáticas, nos cenários futuros moderados e pessimistas, podemos concluir que as áreas adequadas de coocorrência da cultura do maracujá e seus polinizadores efetivos será amplamente afetada na região tropical. Embora, as abelhas *Xylocopa* estudadas no presente estudos possam ocupar novas áreas, bem como permanecer em locais que estão atualmente presentes, haverá uma redução significativa nas áreas adequadas para a sobreposição da cultura do maracujá e seus polinizadores, em partes devido a muitas dessas áreas se tornarem inadequadas para os pomares de maracujá. Do mesmo modo, novas áreas adequadas para o cultivo não serão para uma ou para ambas as espécies de abelhas polinizadoras. Medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas devem ser tomadas para garantir uma população viável de polinizadores nas áreas adequadas para a cultura do maracujá, tanto para o manejo das áreas agrícolas e paisagens ao entorno. A criação e manejo de abelhas *Xylocopa* deve ser também implementados.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, S. C. *et al.* Microsatellite loci for the carpenter bee *Xylocopa frontalis* (Apidae, Xylocopini). **Conservation Genetics Resources**, v. 4, n. 2, p. 315-317, 2012.
- BARTOMEUS, I. *et al.* Biodiversity ensures plant–pollinator phenological synchrony against climate change. **Ecology letters**, v. 16, n. 11, p. 1331-1338, 2013.
- BIESMEIJER, J. C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**, v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.doi:10.1126/science.1127863
- BROWN, M. J. F. *et al.* A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. **PeerJ**, v. 4, p. e2249, 2016.doi:https://doi.org/10.7717/peerj.2249
- BRUCKNER, C. H. *et al.* Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Acta Hort.** 370, 45-58 1993. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.370.7
- BURKLE, L. A.; MARLIN, J. C.; KNIGHT, T. M. Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1611-1615, 2013.
- CAMERON, S.A. *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 108(2): 662-667, 2011. doi:10.1073/pnas.1014743108
- CHALLINOR, A.J. *et al.* A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nat. Clim. Change.** 4(4), 287-291, 2014.
- CORBET, S.A., WILLMER, P.G. Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and carpenter bees. **J. Agric. Sci.** 95(3), 655-666, 1980.
- ELIAS, M.A. *et al.* Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. **Agr. Ecosyst. Environ.** 239, 257-264. 2017.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT statistics database. [Rome, FAO] disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 28 nov. 2017
- FREITAS, B.M, SILVA, C.I., BEZERRA, A. D. M. **The illustrated natural history of a pollinator: the Carpenter bee *Xylocopa frontalis***. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 72 p. 2017.

FREITAS, B.M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40(3), 332-346, 2009. doi:<https://doi.org/10.1051/apido/2009012>

FREITAS, B.M., OLIVEIRA-FILHO, J.H. **Criação racional de mamangavas: para polinização em áreas agrícolas.** Fortaleza: Banco do Nordeste. 96 p. 2001.

FREITAS, B.M., OLIVEIRA-FILHO, J.H. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). *Cienc. Rural*, 33(6), 1135-1139, 2003.

GIANNINI, T.C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. *Agr. Ecosyst. Environ.* 171, 39-46, 2013.

GIANNINI, T.C. *et al.*, Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PloS one*, 12(8), e0182274. 2017.

HOOVER, S. E., *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. *Ecol. Lett.*, 15(3), 227-234, 2012.

HEGLAND, S.J., *et al.* How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecol. Lett.* 12(2), 184-195, 2009.

HIJMANS, R.J. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25(15), 1965-1978. 2005.

HIJMANS, R.J. *et al.* **dismo**: Species Distribution Modeling. 2016. R package version 1.1-1. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>

HOFFMANN, M., *et al.* Pollination of *Passiflora edulis f. flavicarpa* (Passiflorales, Passifloraceae) by bees (Hymenoptera, Anthophoridae) in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. *Iheringia*, Sér. Zool. (89), 149-152, 2000.

IMBACH, P. *et al.* Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 114(39), 10438-10442. 2017.

IBGE, 2017. Brazilian Institute of Geography and Statistics, produção agrícola municipal, 2016 data 2017: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=106&z=t&o=11> (accessed 28 November 2017).

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex

and P.M. Midgley (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. 2013. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPBES. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovács-Hostyánszki, P.K. Kwapong, J. Li, X. Li, D. J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader, and B.F. Viana (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 p. 2016.

JUNQUEIRA, C.N. *et al.* Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. **Apidologie**, 44(6), 729-737, 2013.

KERR, J.T. *et al.* Climate change impacts on bumblebees converge across continents. **Science**, 349(6244), 177-180, 2015.

KLEIN, A.M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proc. R. Soc. B** 274(1608), 303-313, 2007. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

KJØHL, M., ANDERS, N., STENSETH, N.C. **Potential effects of climate change on crop pollination.** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Biodiversity-pollination/Climate_Pollination_17_web__2_.pdf (Accessed, 11 November 2017).

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M., THORP, R.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 99(26), 16812-16816, 2002.

LOBELL, D.B., SCHLENKER, W., COSTA-ROBERTS, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, 333(6042), 616-620, 2011.

HOOVER, S. E. *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology Letters**, 15(3), 227-234. 2012.

HORIKOSHI, M., TANG, Y. **ggfortify: Data Visualization Tools for Statistical Analysis Results.** 2016. R package version 0.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ggfortify>

MEEUS, I., VERCRUYSSSE, V., SMAGGHE G. Molecular detection of *Spiroplasma apis* and *Spiroplasma melliferum* in bees. **J. Invertebr. Pathol.** 109(1):172-174, 2012. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.006>

OLIVER, T.H. *et al.* Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. **Nat. Clim Change**, 5(10), 941-945, 2015. doi:10.1038/nclimate2746

OLIVEIRA FILHO, J.H., FREITAS, B.M. Colonização e biologia reprodutiva de mamangavas (*Xylocopa frontalis*) em um modelo de ninho racional. **Cienc. Rural**. 33(4), 693-697, 2003.

OLLERTON, J. WINFREE, R. TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals?. **Oikos**, 120(3), 321-326, 2011. doi:https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

PEBESMA, E.J., BIVAND, R.S. **Classes and methods for spatial data in R**. R News 5 (2), 2005. <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.

PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P., SCHAPIRE, R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecol. Model.** 190: 231-259, 2006.

POLCE, C., *et al.* Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. **Glob. Change Biol.** 20(9), 2815-2828, 2014.

POTTS, S.G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends. Ecol. Evol.** 25(6), 345-353. 2010. doi:https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007

POTTS, S.G. *et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, 540(7632), 220-229, 2016. doi:10.1038/nature20588

PUFAL, G., STEFFAN-DEWENTER, I., KLEIN, A.M., Crop pollination services at the landscape scale. **Curr. Opin. Insect. Sci.** 21, 91-97, 2017. doi:https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.05.021

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2016. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

RADER, R., *et al.* Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. **Glob. Change Bio.** 19(10), 3103-3110, 2013.

RASMONT, P., ISERBYT, S. The Bumblebees Scarcity Syndrome: Are heat waves leading to local extinctions of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombus)? **Ann. Soc. Entomol. Fr.** 48(3-4) 275-280, 2012. doi:10.1080/00379271.2012.10697776

ROSENZWEIG, C. *et al.* Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 111(9), 3268-3273, 2014.

SCHOLES, R.J. Climate change and ecosystem services. **Wiley Interdiscip Rev Clim Change**, 7(4), 537-550, 2016.

SETTELE, J., BISHOP, J., POTTS, S.G. Climate change impacts on pollination. **Nat. Plants.** 2, 16092, 2016 doi: 10.1038/nplants.2016.92

URBANEK, S. **rJava: Low-Level R to Java Interface.** R package version 0.9-8. 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=rJava>

SILVA, C.I. *et al.* **Manejo dos polinizadores e polinização de flores do maracujazeiro.** Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo/Ministério do Meio Ambiente, São Paulo. 60p. 2014. http://www.iea.usp.br/pesquisa/grupos/servecosystemas/publicacoes/manejo-dos-polinizadores-e-polinizacao-de-flores-do-maracujazeiro/at_download/file

SIQUEIRA, K.M.M.D. *et al.* Ecology of pollination of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), in the region of São Francisco Valley. **Rev. Bras. Frutic.** 31(1), 1-12, 2009.

SOLEY-GUARDIA, M. *et al.* The effect of spatially marginal localities in modelling species niches and distributions. **J. biogeography**, 41(7), 1390-1401, 2014.

THUILLER, W.; GEORGES, D.; ENGLER, R. **biomod2: Ensemble platform for species distribution modeling.** 2014. R package version 3.3-7. Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=biomod2>.

SAID. The US market for passion fruit. 2014. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KP21.pdf (accessed 28 November 2017).

VANBERGEN, A.J. Initiative, t. I.P. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. **Front. Ecol. Environ.** 11: 251–259, 2013. doi:10.1890/120126

YAMAMOTO, M. *et al.* The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. *Apidologie* 43(5), 515-526, 2012.

4 DINÂMICA DE OCUPAÇÃO E NIDIFICAÇÃO DE *XYLOCOPA FRONTALIS* EM BARROTES DE MADEIRA: ALTERNATIVA DE CRIATÓRIO RACIONAL PARA O SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO DO MARACUJAZEIRO

RESUMO

O declínio de polinizadores em áreas agrícolas tem levado preocupação para a comunidade científica. Por outro lado, estudos vêm buscando espécies de abelhas com potencial para a criação e manejo com aplicação para o serviço de polinização. Dessa forma, seria possível mitigar os efeitos do declínio de polinizadores, déficit de polinização e perdas na produtividade, assegurando a conservação de espécies, estabilidade ecológica e segurança alimentar. O presente estudo, a partir do conhecimento do comportamento de nidificação de abelhas mamangavas (*Xylocopa* spp), pretendeu avaliar barrotes de madeira *Pinus* sp. ofertados com cavidades pré-escavadas de diferentes profundidades (3, 6 e 11 cm) no criatório de *X. frontalis*. Os resultados encontrados mostram que as abelhas ocuparam 35,9% dos barrotes ofertados (83 barrotes), e as fêmeas de *X. frontalis* nidificaram em 55 barrotes (23,80%). Além disso, os barrotes ofertados com cavidades de 11 cm de profundidade foram significativamente preferidos em relação aos demais, com 68 ocupações (88,31%; $\chi^2=137,2$, $p < 0,05$), dos quais houve nidificação em 47 barrotes (85,45%, $\chi^2= 29,48$; $p < 0,05$). De todo modo, 50% das fêmeas de *X. frontalis* permaneceram nos ninhos por um período médio de 39 dias, enquanto que 25% das fêmeas de mamangavas permaneceram por 122 dias. Os modelos de análise de sobrevivência (*Kaplan-Meyer Model* e *Randon Forest Model*) não apontaram diferenças estatísticas entre as profundidades dos ninhos, e quando comparados, não houve diferenças. Ainda assim, a curva de risco de Cox (*Model Proportional Hazard Cox*), aponta que o período crítico para o abandono dos barrotes por fêmeas de mamangavas acontece nos primeiros 30 dias, após esse período, as chances de abandono diminuem. Dessa forma, os barrotes mostraram ser bons substratos para nidificação das fêmeas de mamangavas, uma vez que, esse material atraiu as fêmeas, levaram-nas a construir seus ninhos em arquitetura e forma tridimensional, em produzir e desenvolver suas crias e, posteriormente, foram utilizados por outras gerações. Portanto, concluiu-se que barrotes com cavidades pré-escavadas de 11cm são alternativas viáveis para a nidificação, criação e manejo de abelhas *X. frontalis* em criatórios. Testes em cultivos agrícolas devem ser realizados para avaliar a efetividade do seu uso em serviços de polinização.

Palavras-chave: abelhas mamangavas, análise de sobrevivência, ninhos armadilhas, substrato de nidificação, polinizadores

ABSTRACT

The decline of pollinators in agricultural areas has been of concern to the scientific community. On the other hand, studies have looked for bee species that could potentially be bred and managed for pollination services. That way, it would be possible to mitigate the effects of pollinator decline, pollination deficits and productivity losses, ensuring species conservation, ecological stability and food security. The present study, based on knowledge about the nesting behavior of carpenter bees (*Xylocopa* spp), sought to evaluate *Pinus* sp. wooden bars with pre-excavated cavities of different depths (3, 6 and 11 cm) for the rearing of *X. frontalis*. Results showed that the bees occupied 35.9% of the wooden bars made available (83 bars) and females *X. frontalis* nested 55 wooden bars (23.80%). In addition, the wooden bars with 11 cm pre-excavated cavities were significantly preferred by the bees, reaching 68 occupations (88.31%, $\chi^2 = 137.2$, $p < 0.05$), out of which they nested in 47 wooden bars (85.45%, $\chi^2 = 29.48$, $p < 0.05$). Nevertheless, 50% of the *X. frontalis* females remained in the nests for a mean period of 39 days, while 25% of them remained for 122 days. Survival analysis models (Kaplan-Meyer Model and Random Forest Model) did not show statistical differences between nest depths, and when compared, there were no differences among them. Even so, the Cox (Model Proportional Hazard Cox) risk curve indicates that the critical period for the wooden bar abandonment by female carpenter bees occurs in the first 30 days, after that period, the chances of abandonment decrease. Thus, wooden bars proved to be good substrates for carpenter bee nesting, since this material attracted females, led them to build their nests in architecture and three-dimensional shape, to produce and develop their offspring, and later, they were used by other generations. Therefore, it was concluded that the bars with pre-excavated cavities of 11cm are viable alternatives for nesting, breeding and managing *X. frontalis* bees in nurseries. However, tests on agricultural crops should be performed to evaluate the effectiveness of their use for pollination service.

Keywords: carpenter bees, nesting substrate, nests traps, survival analysis, pollinators.

Introdução

As abelhas são importantes agentes bióticos e peças chaves para o serviço de polinização de diversas culturas agrícolas (POTTS *et al.*, 2016; IPBES, 2016). No entanto, as paisagens agrícolas estão sendo modificadas em função de fatores antrópicos e ambientais (KREMEN *et al.*, 2002). Consequentemente, esses fatores atuam na redução da abundância e riqueza de espécies de abelhas polinizadoras dentro dessas áreas, ano após ano (FREITAS *et al.*, 2009; BECHER *et al.*, 2013; GARIBALDI *et al.*, 2016; POTTS *et al.*, 2016). A redução de polinizadores silvestres e manejados pode gerar resultados negativos para a balança econômica dos países, devido as perdas de produtividade das áreas agrícolas e segurança alimentar (MEEUS *et al.*, 2012, BROWN *et al.*, 2016; IPBES, 2016).

Como parte desse cenário, áreas agrícolas de maracujazeiro (*Passiflora edulis*) podem ser prejudicadas em decorrência do declínio de polinizadores provocado pelas mudanças climáticas (GIANNINI *et al.*, 2017). A redução de polinizadores eficientes da cultura do maracujá nas áreas agrícolas já é uma realidade (FREITAS; OLIVEIRA-FREITAS; 2003; GIANINNI *et al.*, 2013). De todo modo, esse fenômeno pode comprometer e pôr em risco a produção da cultura do maracujazeiro na região neotropical se nenhuma alternativa para aumentar a população de polinizadores nestas áreas for tomada (GIANINNI *et al.*, 2013; GIANNINI *et al.*, 2017).

A criação e manejo racional de espécies de abelhas de interesse para uso no serviço de polinização agrícola vêm sendo desenvolvida em diversos estudos (OLIVEIRA-FILHO, FREITAS, 2003; FREITAS; PEREIRA, 2004; IMPERATRIZ-FONSECA *et al.*, 2012) e têm obtido sucessos ao longo das décadas na utilização de espécies de abelhas as quais culturas agrícolas são essencialmente dependentes (KLEIN *et al.*, 2007). Contudo, poucas espécies são diretamente utilizadas para o serviço de polinização agrícola no mundo, e os agricultores dependem de polinizadores que estão nas matas próximas das áreas agrícolas (IMPERATRIZ-FONSECA *et al.*, 2012).

Diante da necessidade de criar e manejar polinizadores efetivos, estudos vêm buscando soluções para a criação de abelhas mamangavas com a finalidade de sua introdução em cultivos agrícolas usando métodos de ninhos armadilhas e criatório racional (HOGENDOORN *et al.*, 2000, CAMILLO, 2003; MARCHI; MELO, 2010; PEREIRA; GAROFALO, 2010; JUNQUEIRA *et al.*, 2013). Dessa forma, por se tratar de uma espécie de abelha cujo hábito de nidificação consiste em escavar madeira morta para a construção de seus ninhos, possibilita a utilização de criatórios racionais com madeira morta disponível

dentro das áreas de culturas agrícolas que dependem dessas abelhas. Assim, as abelhas mamangavas tornam-se potenciais para a criação e manejo direcionado para aplicação do serviço de polinização (OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003).

De todo modo, essas abelhas nidificam normalmente em madeiras mortas e secas em estágio inicial de decomposição, entre eles, os troncos de madeira secos e galhos mortos de árvores (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). Contudo, diante do crescimento da urbanização tem se observado as abelhas mamangavas nidificando naturalmente em vigotes, palets e barrotes de madeira *Pinus* sp., materiais estes que são muito utilizados na construção civil.

Assim, barrotes de *Pinus* sp., por se tratarem de um material de fácil aquisição, de baixo custo em relação a modelos de ninho mais sofisticados, e que permitem a padronização de tamanho, e diâmetro e profundidade da cavidade ofertada às abelhas, apresentam bom potencial para uso em criatórios de larga escala de mamangavas. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a ocupação e nidificação de *X. frontalis* em barrotes de madeira *Pinus* sp. ofertados com cavidades pré-escavadas de diferentes profundidades (3, 6 e 11 cm) para o criatório racional dessas abelhas.

Materiais e Métodos

Área e instalação do estudo

O estudo foi conduzido em galpão de madeira coberto localizado no Setor de Abelha do Departamento de Zootecnia na Universidade Federal do Ceará (3°44'32.8" S 38° 34' 44.1" O) em Fortaleza, Ceará (Figura 4A). O clima do município é predominante tropical quente subúmido (Köppen, 1949), com temperatura média de 28°C e umidade relativa do ar de 73% (Bezerra, 2014). O galpão está localizado próximo a uma pequena mata e outras instalações do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Figura 4 – Localização do estudo com abelhas *Xylocopa frontalis*. A) Imagem de satélite do local do estudo (Em destaque com alfinete vermelho); B) Galpão utilizado para criação e manejo de abelhas mamangavas de toco (*Xylocopa* sp.).

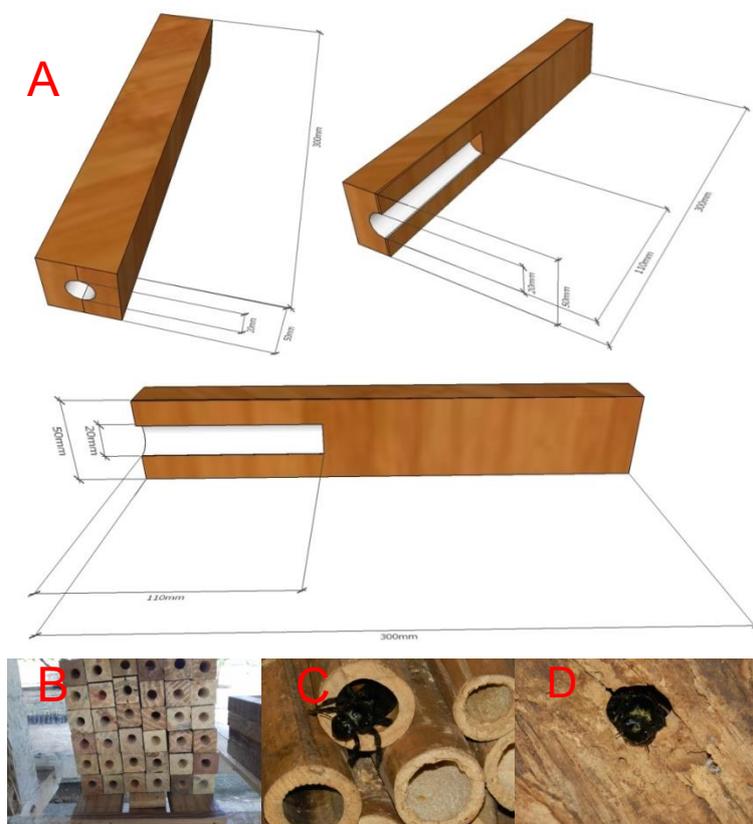


Fonte: Google Maps, 2018

O galpão é denominado de Xylocopário, coberto com telhas e aberto em toda sua extensão (Figura 4B). Era utilizado para a criação de abelhas melíferas (*Apis mellifera*) de origem europeia até meados dos anos 60, porém, foi desativado depois da africanização dessas abelhas. Posteriormente, a partir de 1996 o galpão foi utilizado para criação racional de abelhas mamangavas (*Xylocopa* spp.) em caixa de modelo proposto por Freitas e Oliveira-Filho (2003). Desde então, vem sendo utilizado para estudos com abelhas mamangavas. Quando o presente experimento foi iniciado, essas abelhas já estavam presentes no galpão nidificando em troncos e tocos de madeira morta e colmos de bambus (*Bambusa* sp.)

O estudo teve início no dia 26 de maio de 2016 e foi conduzido até o dia 26 de maio de 2017, totalizando 1 ano de duração e um esforço amostral de 300h de observações de ocupação e nidificação de fêmeas da abelhas mamangava (*X. frontalis*). Para isso foram utilizados um total de 231 barrotos de madeira de *Pinus* sp. com 5 cm de altura, 5 cm de largura, comprimento de 30 cm e 2 cm de diâmetro da cavidade. A cavidade foi feita com auxílio de uma furadeira de 650W, 3000 GPM e broca para madeira de 20 mm e profundidade nominal de 150 mm (Figura 5). Os barrotos foram colocados em blocos e dispostos sobre suportes de madeira, enquanto os ninhos de bambus já existentes no local se encontravam em caixas de madeira e os tocos sobre vigas de madeira.

Figura 5 – Substratos de madeira usados para nidificação de abelhas *Xylocopa frontalis*; A) Desenho esquemático do barrote de madeira utilizado para nidificação de abelhas



mamangavas; B) Blocos de barrotes de madeira; C) Colmos de bambus utilizados com ninhos armadilhas; D) Tocos de madeira nidificados naturalmente pelas mamangavas.

Fonte: Autor (A); Breno M. Freitas (B, C e D).

Delineamento experimental

Os barrotes eram colocados sobre os suportes de madeira em blocos de 4x4 (16 barrotes), 5x5 (25 barrotes) e 6x6 (36) barrotes. Dessa forma, os 231 barrotes estavam localizados em três grupos de cada bloco de 4x4 (/1; /2; /3), 5x5 (/1; /2; /3) e 6x6 (/1; /2; /3), sendo que, os barrotes de madeira eram ofertados com cavidades pré-escavadas de três profundidades diferentes, sendo de 3 cm, 6 cm e 11 cm. Destes, cada grupo de barrote com as profundidades testadas representavam um total de 77 barrotes.

Os barrotes foram colocados nos blocos de forma que cada cavidade com profundidades distintas fossem disponibilizadas de forma iguais nos blocos, dessa forma, os blocos estavam organizados da seguinte forma: 4x4/1 – cavidades de 3 cm: 5 barrotes, 6 cm: 6 barrotes, 11 cm: 5 barrotes; 4x4/2 cavidades de – 3 cm: 6 barrotes, 6 cm: 5 barrotes, 11 cm: 5 barrotes; 4x4/3 – cavidades de 3 cm: 5 barrotes, 6 cm: 5 barrotes, 11 cm: 6 barrotes; 5x5/1 – cavidades de 3 cm: 10 barrotes, 6 cm: 8 barrotes, 11 cm: 7 barrotes; 5x5/2 – cavidades de 3 cm: 8 barrotes, 6cm: 9 barrotes, 11cm: 10 barrotes; 5x5/3 cavidades de – 3 cm: 7 barrotes, 6 cm: 8 barrotes, 11 cm: 8 barrotes; Os blocos de 6x6/1, 6x6/2 e 6x6/3 cada um recebeu 12 barrotes de cada profundidades. A colocação de cada barrote foi feita aleatoriamente para cada bloco de 16 (4x4), 25 (5x5) e 36 (6x6) barrotes, respeitando os critérios para o delineamento inteiramente causalizado. Além disso, troncos de madeira (n=12) de colmos bambus (n=12) foram utilizados para comparar com os barrotes em relação ao sucesso de ocupação.

Ocupação e nidificação dos ninhos

A ocupação dos barrotes e nidificação de fêmeas de abelhas mamangavas foi observada desde o primeiro dia de entrada das abelhas nos barrotes de madeira até o momento o qual a abelha não era mais observada dentro do ninho. O dia inicial e o dia final das abelhas nos substratos de madeira foram anotados (Dia do abandono – Dia da Ocupação inicial = Período de permanência).

As observações foram realizadas diariamente ao fim da tarde, momento no qual as abelhas já haviam retornado do campo com auxílio de lanterna, dessa forma, anotações como a posição do barrote nos blocos (1 - Linhas e A - Colunas) eram tomadas diariamente. (Um “*status*” para o abandono e permanência de abelhas nos barrotes foi utilizado, quando a abelha abandonava o ninho era marcado, 1- abandono e 0 – permanência). Assim, quando uma abelha ocupava um tronco de madeira, um colmo de bambu ou um barrote de madeira, em uma das três cavidades com profundidades de 3 cm, 6 cm e 11 cm era anotados 0 - ausente e 1 - presença ao longo do período de um ano. Contudo, quando o barrote era novamente ocupado era computada a nova ocupação para o barrote e sua cavidade e se dava início a um novo período de ocupação.

As fêmeas colonizadoras de *X. frontalis* encontradas ocupando os barrotes de madeira foram contadas e sua nidificação anotada ao longo do período de estudo. Dessa forma, além do comportamento de nidificação foi possível observar se os ninhos estavam sendo nidificados ou somente ocupados. A nidificação era confirmada quando havia presença de fezes na entrada e imaturos dentro dos ninhos. Assim se podia determinar o número de ninhos ocupados, ninhos abandonados e ninhos efetivos.

Arquitetura do ninho

Os ninhos que foram nidificados e abandonados (n=15) foram utilizados para mensurar parâmetros como: diâmetro de entrada, diâmetro de galerias, diâmetro de câmara interna, início de câmara interna, comprimento total de ninho, comprimento de galerias, número de galerias por ninho, número de células por ninho, número de células por galerias. No entanto, outros barrotes nove barrotes não puderam ser avaliados, uma vez que as abelhas apenas ocuparam os barrotes, mas não realizaram nenhuma construção de ninho. Outros 40 ninhos também não foram avaliados por ainda haver fêmeas ativas nos mesmo.

Assim, para inferir os parâmetros acima especificados, os ninhos (n=15) foram abertos com auxílio de serra tico - tico de 420 W de 3000 GPM com velocidade ajustável. Também foi usado um paquímetro digital de aço inoxidável, com cursor móvel sobre haste e medições mostradas em display LCD, bateria de 1,5 V, e erro de medição de 0,02 (100mm) e 0,03 mm (100-200 mm) para mensurar o tamanho de cada parâmetro (Figura 6).

Figura 6 – Corte, abertura e aferição de parâmetros dos ninhos em barrotes de madeira. A) Corte e abertura dos ninhos de *Xylocopa frontalis* com serra tico-tico; B) Aferição de medidas com paquímetro digital.



Fonte: Autor

Análise de dados

Todos os dados de ocupação, nidificação e os parâmetros de arquitetura dos ninhos foram analisados quanto a sua normalidade e medidas qualitativas e quantitativas, bem como análise exploratória de números mínimos e máximos, média, e desvio padrão de média. Os dados de ocupação e nidificação não possuíam normalidade, dessa forma, por tratar de dados não paramétricos, foram utilizadas uma distribuição de frequência e tabela de convergência para avaliar a relação entre a profundidade das cavidades ofertadas e a ocupação dos barrotes. Os dados foram confrontados e analisados por meio de teste de Qui-quadrado (χ^2).

O teste de Qui-quadrado (χ^2) foi aplicado também para avaliar a relação entre a profundidade das cavidades ofertadas nos barrotes em relação aos ninhos efetivos e ninhos abandonados, e aplicação de teste de Kruskal – Wallis para avaliar a diferença entre a profundidade em ninhos abandonados, ocupados e ninhos efetivos.

Para inferir a curva de permanência foi utilizada uma análise de sobrevivência aferindo os dias totais (Dia do abandono - Dia inicial de ocupação = Período total). Além disso, o “*status*” para inferir o abandono e a permanência no ninho, sendo 1 – abandono, 0 – permanência eram anotados. Não havendo diferenças significativas dos dados entre si, esses dados foram analisados em sua totalidade (n = 83).

As análises de sobrevivência, curvas de sobrevivência e curva de riscos foram realizadas através dos Modelos de Kaplan-Meier, Modelos de previsões aleatórias (*Random Forest Model*) e curva de risco pelo Modelo proporcional de risco de Cox (*Cox Proportional Hazard Model*). Logo, o pacote Survival versão 2.38 (Therneau, 2015) foi utilizado com o auxílio de software em linguagem R (R Development Core Team) para a realização das análises, avaliação dos modelos e geração de gráficos.

Resultados

Ocupação e reutilização dos ninhos de madeira

O povoamento espontâneo dos barrotes de madeiras utilizados para nidificação de abelhas da espécie *X. frontalis* foi dividido em barrotes ocupados e posteriormente, ninhos efetivos. Dentre os 231 barrotes ofertados, 83 foram ocupados, correspondendo a 35,9%. Sendo que destes substratos de madeira ocupados, 55 foram nidificados efetivamente.

Em todos os barrotes ofertados, apenas as abelhas *X. frontalis* foram observadas inspecionando e nidificando nesses substratos. Ao procurar por locais para nidificação, a fêmea de mamangava aproximava-se dos substratos de madeiras e iniciava a inspeção voando ao redor do bloco com os barrotes, examinando as condições e o local para, por fim, pousar próximo ou até mesmo na entrada da cavidade. A abelha entrava no barrote escolhido, explorava o interior e, posteriormente saía repetindo os voos de inspeção no mesmo barrote escolhido e nos outros vizinhos até que tomasse a decisão de iniciar a fundação do seu ninho, começando a escavação imediatamente ou minutos depois.

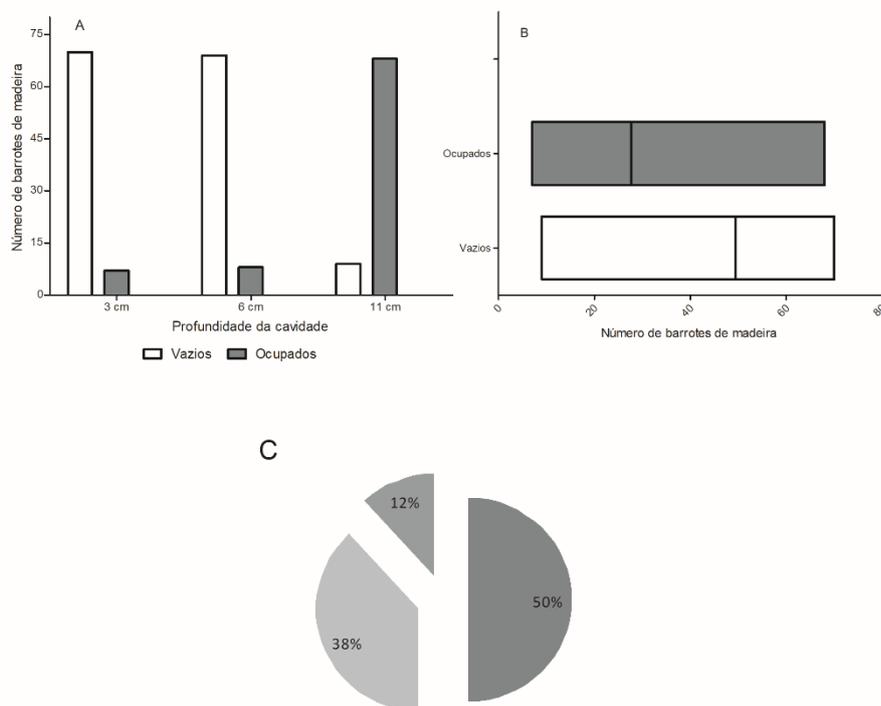
A ocupação dos barrotes de madeira ofertados por fêmeas de *X. frontalis* foi diretamente relacionada com as profundidades das cavidades disponibilizadas (3, 6 e 11 cm). A ocupação dos barrotes de madeira com cavidades mais profundas diferiu significativamente dos substratos com cavidades menos profundas ($\chi^2 = 137,2$; $p < 0,05$) (Tabela 3). Dessa forma, observa-se que os barrotes com cavidades com 11 cm foram preferidos por essas fêmeas, obtendo maior ocupação (Figura 7). Além disso, dos 77 barrotes com cavidades de 11 cm de profundidade, apenas 11,68% não foram ocupados em nenhum dos dias do período de observação. De modo oposto, nos substratos de madeira com cavidade de 3 e 6 cm de profundidade, na grande maioria não foram observada ocupações durante o mesmo período, resultando em 90,91 e 89,63% dos ninhos desocupados (Tabela 3).

Tabela 3 – Relação entre a profundidade da cavidade de ninhos ofertados e o número de ninhos ocupados por fêmeas da abelhas *Xylocopa frontalis*

Profundidade (cm)	barrotes de madeira	Vazios	Ocupados	Rank
Três	77	70	7b	9,09
Seis	77	69	8b	10,38
Onze	77	9	68a	88,32
Total	231	148	83	
			$\chi^2=137,2$	$p < 0,05$

Alguns desses barrotes de madeira foram reutilizados mais de duas vezes. Assim, dos 231 desses substratos ofertados para abelhas *X. frontalis*, um único substrato com cavidade de 3 cm foi reutilizado duas vezes por duas abelhas distintas. Para os barrotes com cavidade de 6 cm, dois ninhos diferentes foram reutilizados uma única vez. Porém, 34 barrotes com cavidade de 11 cm foram reutilizados, sendo que 50% destes barrotes reutilizados pelas abelhas foram ocupados pelo menos uma única vez, 38% pelo menos duas vezes e 12% pelo menos três vezes (Figura 7).

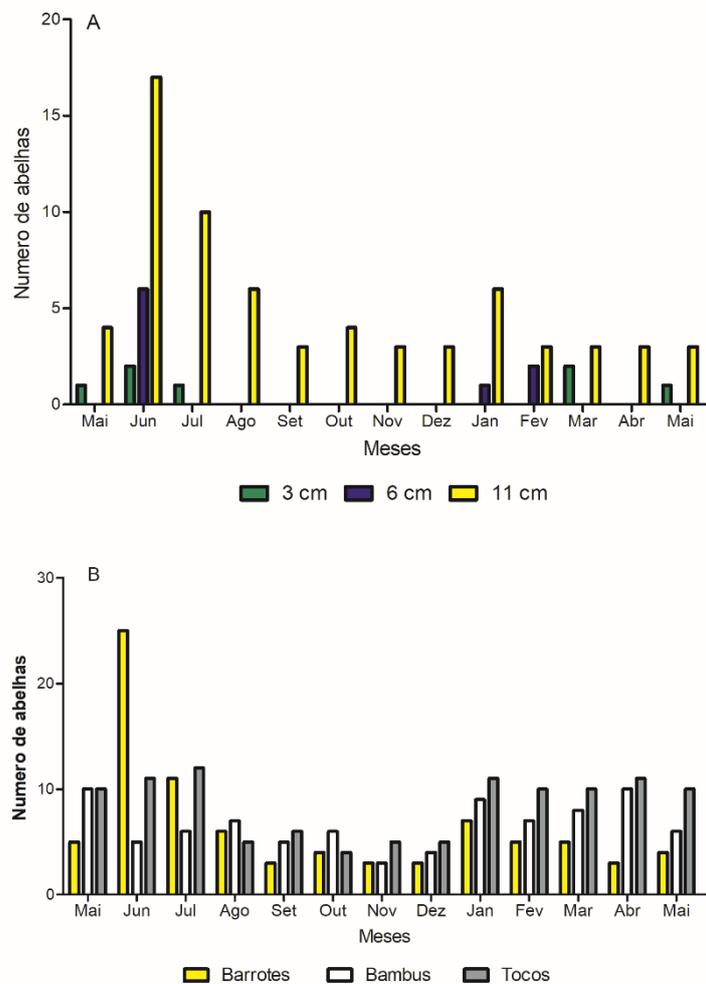
Figura 7 – Relação dos barrotes (substratos de madeira) vazios e ocupados em relação a profundidade da cavidade ofertada para a nidificação de fêmeas de *Xylocopa frontalis* e reutilização dos substratos com cavidades de 11 cm. A) Número de barrotes de madeiras ocupados e vazios em relação a profundidade da cavidade ofertada; B) Número mínimo, máximo e média de barrotes de madeira vazios e ocupados por abelhas *Xylocopa frontalis*; C) Percentagem dos barrotes de madeira reutilizados com cavidade de 11 cm de profundidade (Legenda: 50% - Reutilizado uma única vez; 38% - Reutilizado duas vezes; 12% - Reutilizado mais de duas vezes).



Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, essas abelhas, após tomar a decisão no barrote começavam a cortar a madeira com suas mandíbulas e retirar as raspas do interior dos barros que haviam sido escolhidos por elas. Inicialmente, os barros com cavidades de 11 cm foram ocupados com maior frequência que os demais substratos com cavidades de 3 e 6 cm (Figura 8A). De todo modo, outros substratos de madeira (bambus e tocos de madeira) foram ocupados no mesmo período (Figura 8B).

Figura 8 – Número de novos ninhos ocupados por fêmeas de abelhas *Xylocopa frontalis* em barros de madeira ao com cavidades ofertadas na profundidades de 3, 6 e 11 cm, bambus e tocos de madeira ao longo do ano. A) Número de abelhas de *Xylocopa frontalis* em ninhos com cavidades de profundidades de 3, 6 e 11 cm; B) Número de abelhas ocupando os barros de madeira, bambus e tocos de madeira.

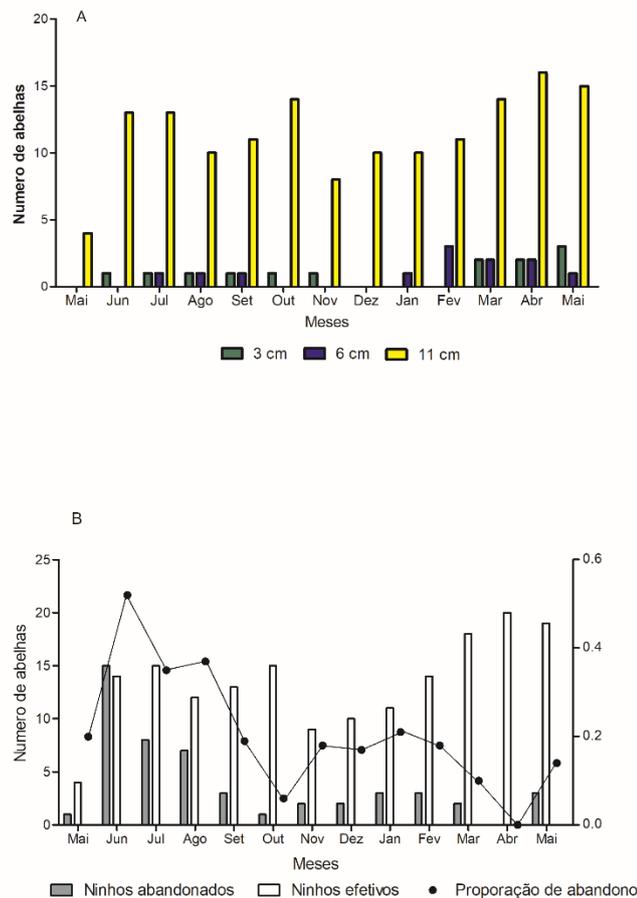


Fonte: Elaborado pelo autor

Nidificação e arquitetura dos ninhos de madeira

Após dar o início da escavação dos barrotos de madeira as fêmeas de abelhas *X. frontalis* começavam seu ciclo de nidificação. Os barrotos com cavidades de 3 cm e 6 cm tiveram um máximo de 3 ninhos efetivos, com duração de até 3 meses, com exceção de um único ninho, cuja abelha permaneceu por seis meses. Por outro lado, os ninhos com cavidade de 11 cm, pareceram muito mais atrativos na permanência dessas abelhas, sendo que o número máximo de ninhos efetivos foram 16 ninhos ao longo do período de observação (Figura 9).

Figura 9 – Ninho efetivos de fêmeas da abelha *Xylocopa frontalis*. A) Número de ninhos efetivos de abelhas *Xylocopa frontalis* com cavidades de profundidade 3 cm, 6 cm e 11 cm ofertadas inicialmente; B) Total de ninhos efetivos de *X. frontalis* ninhos abandonados e taxa de abandono.



Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se uma taxa de abandono de 52% no primeiro mês, principalmente quando os ninhos foram disponibilizados para essas abelhas pela primeira vez. Contudo, a taxa de

abandono reduziu em dois períodos distintos (Figura 9). No entanto, não houve relação entre a profundidade dos substratos com o número de ninhos efetivos e abandonados ($\chi^2 = 1,455$; $p > 0,05$). Contudo, os ninhos efetivos em barotes com cavidade de 11 cm de profundidade apresentaram diferença significativa quanto a nidificação em relação aos barotes de cavidade de 3 e 6 cm, segundo o teste de Kruskal-Wallis ($\chi^2 = 29,48$; $p < 0,05$) (Tabela 4). Em algumas situações os ninhos ocupados poderiam não satisfazer plenamente a fêmea, fazendo com que essa abelha viesse a procurar novos sitios de nidificação. Outros pontos observados, trata-se dessas fêmeas serem territorialistas, dificultando a ocupação de ninhos ao lado ou muito próximos de outros já ocupados. Porém, isso foi observado em três situações distintas.

Tabela 4 – Ninhos efetivos de abelhas *Xylocopa frontalis* com cavidades ofertadas em barotes de madeira com profundidade de 3, 6 e 11 cm.

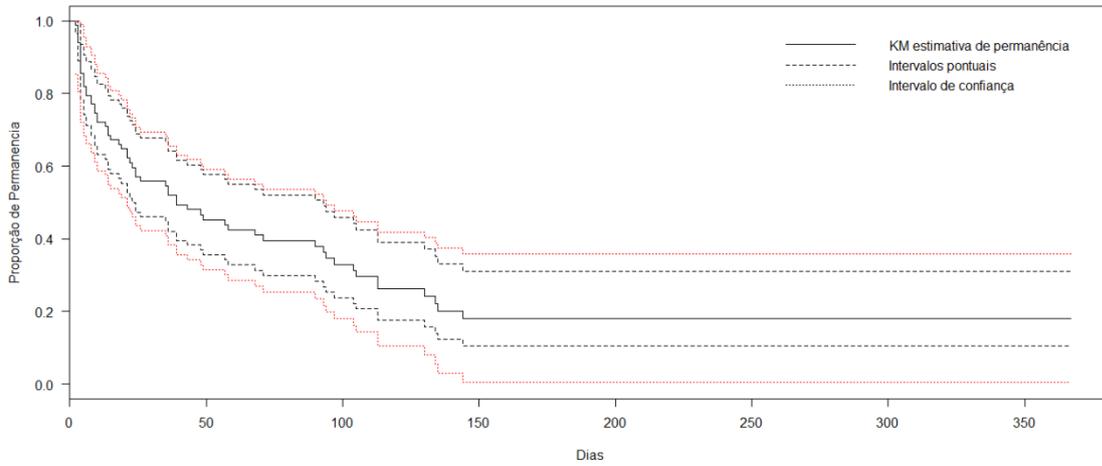
Profundidade (cm)	Número de ninhos	Ninhos Abandonados	Ninhos efetivos	Rank
Três	7b	3b	4b	57,1
Seis	8b	4b	4b	50,0
Onze	68a	21a	47a	69,10
Total	83	28	55	
			$\chi^2 = 1,455$	$p > 0,05$

Valores seguidos de letra diferentes diferiram entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ($\chi^2 = 29,48$; $p < 0,05$).

Ao longo do mesmo período do estudo, um total de 55 ninhos efetivos, entre eles, os ninhos que já estavam sendo reutilizados por outras fêmeas. Contudo, o período médio de permanência do ninho da proporção de 50% da população era de 39 dias e 122 dias para proporção de 25% da permanência da população nos ninhos (Figura 10). As curvas de comparação de permanência de abelhas *X. frontalis* nos ninhos de madeira não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$) quando comparado o tempo de permanência dos ninhos, havendo semelhança e padronização entre os modelos de previsão aleatório (*Randon forest model*) com o modelo da curva de Kaplan-Meyer (Figura 11).

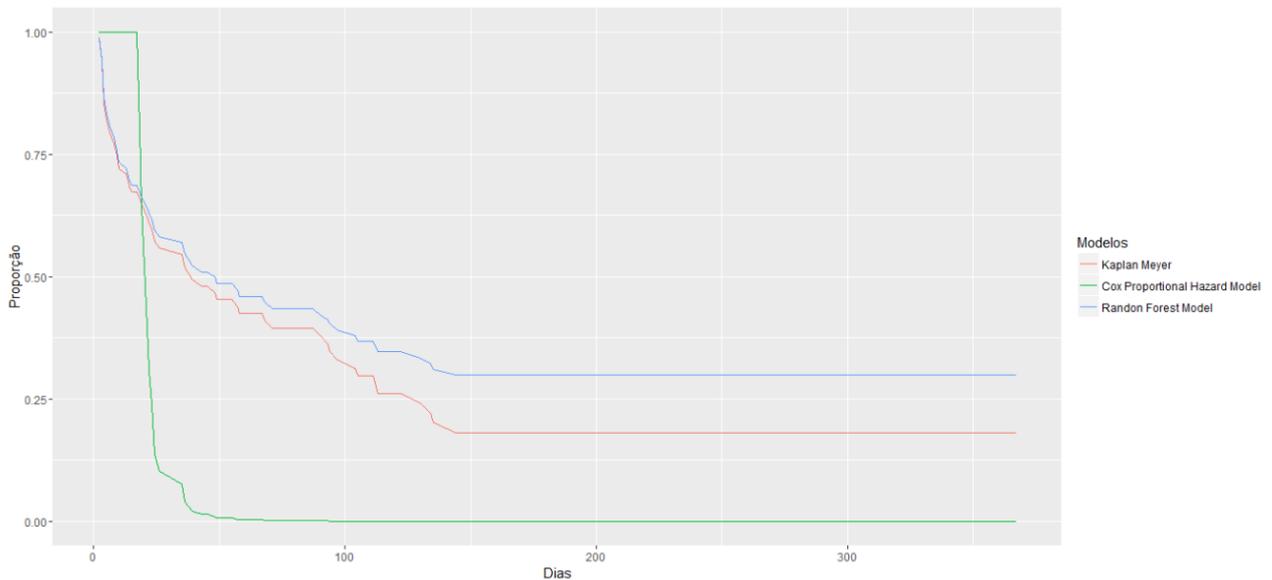
Além disso, observa-se uma alta relação de abandono no primeiro mês. De acordo com o Modelo de proporção de risco de Cox (*Cox proportional harzard model*), os períodos iniciais foram os mais críticos para o abandono das abelhas. Ao passar esse período as chances de abandono reduzem para quase zero (Figura 11). Dessa forma, até o fim do período experimental 14,4 % (12) dos ninhos permaneceram ativos, e tiveram até mais de 3 gerações de fêmeas os nidificando.

Figura 10 - Curva de permanência (Modelo de Kaplan-Meier) de abelhas *Xylocopa frontalis* em ninhos de barrotes de madeira.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Curvas de comparação (*Random Forest Model*, *Kapler-Meyer model*, *Cox Proportional Hazard Model*) de permanência de abelhas *Xylocopa frontalis* em ninhos de barrotes de madeira com cavidades com profundidades de 3, 6 e 11 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto ao estudo de arquitetura dos ninhos de fêmeas de *X. frontalis* (n=15), essas abelhas iniciaram a formação do ninho contendo em média $1,9 \pm 0,53$ galerias por ninho. Além disso, as galerias tinham em média $2,23 \pm 0,06$ cm de diâmetro e comprimento médio de $10,48 \pm 4,73$ (Tabela 5).

Tabela 5 – Dimensões das principais estruturas dos ninhos das fêmeas de *Xylcopa frontalis* em barrotes de madeira.

Parâmetros	n	X ±d.p.m (cm)
Diâmetro de entrada	15	2,00±0,0
Diâmetro de galerias	15	2,23 ± 0,06
Diâmetro de câmara interna	15	2,52 ± 0,23
Início da câmara interna	15	8,11 ±0,62
Comprimento total do ninho	15	20,28 ± 4,92
Comprimento de galerias	15	10,48± 4,73
Número de galerias/ninho	15	1,92 ± 0,53
Número de células/ninho	15	2,66 ±1,03
Número de células/galerias	15	1,20 ± 0,41

Todos os barrotes foram disponibilizados com uma cavidade de 2,00 cm de diâmetro e esse tamanho permaneceu inalterado. Contudo, observou-se a construção de uma câmara interna, em média a $8,11 \pm 0,62$ cm distante da entrada do ninho, e com diâmetro médio de $2,52 \pm 0,23$ cm. Essa câmara poderia servir para facilitar o movimento das fêmeas e de suas filhas e filhos no ninho. O comprimento total do ninho feito por essas abelhas, em média, foi de $20,28 \pm 4,92$ cm, contendo $1,92 \pm 0,53$ galerias por ninho e $2,66 \pm 1,03$ células por ninho, com $1,20 \pm 0,41$ células por galerias (Tabela 5).

As fêmeas ao construir seus ninhos faziam um sistema de galerias que partia inicialmente após a câmara interna (Figura 12A). A galeria inicial poderia ou não seguir o sentido horizontal acompanhando o comprimento do barrote, e ao final de cada galeria estavam duas células horizontais, nas quais a mamangava fazia a postura de suas crias. A segunda galeria partia da mesma câmara interna, contudo, era um pouco mais curta, contendo uma única célula de cria.

Alguns ninhos porventura possuíam mais de 3 galerias. Porém, uma das fêmeas ao construir a câmara interna, não continuou a escavação do ninho na horizontal, mas o fez para cima escavando em outro barrote que estava acima do seu ninho (Figura 12B, C). Dessa forma, podemos observar que algumas dessas fêmeas não respeitavam os limites da largura (5 cm) que o barrote possuía, e algumas vezes ampliaram seus ninhos para barrotes adjacentes.

Figura 12 – Ninhos de abelhas mamangavas em barrotes de madeira. A) Barrote com galerias e câmara interna (em destaque) nidificado por *Xylocopa frontalis*; B) Barrotes de madeira escavados por *Xylocopa frontalis* além dos limites do tamanho do substrato ofertado e com as

galerias visíveis; C) Ninho de *Xylocopa frontalis* e galeria escavada para o barrote acima do ocupado.



Fonte: Autor

Comportamento de nidificação, parasitas e outros invasores

Os barrotes que estavam em blocos (Figura 13A), após a inspeção das fêmeas de *X. frontalis* e voos repetidos, e depois de tomada a decisão final de escolha por parte dessas abelhas, eram inicialmente escavados e toda raspa ficava a frente dos blocos (Figura 13B). Uma vez nidificados pelas fêmeas, elas passavam a fazer voos regulares para coleta de recurso e quando retornavam, iniciavam o processo de desidratação do néctar. Tanto a fêmea fundadora do ninho quanto suas filhas faziam a guarda dos ninhos (Figura 13C), mas algumas vezes os machos também faziam essa função (Figura 13D).

Essas abelhas iniciavam suas atividades de coleta de recursos no início da manhã, e em alguns dos seus voos, de duração de $30,02 \text{ min} \pm 1,47 \text{ min}$, essas abelhas voltavam com pólen em seu corpo, que eram colocados de forma compactada no fundo das galerias (Figura 13 E, F). As fêmeas imaturas e crias permaneciam ainda dentro das galerias, restando a mãe as atividades de campo. Por outro lado, essas abelhas imaturas muitas vezes estavam condicionadas a ocupar as suas antigas células de crias (Figura 13 F). Um total de 24 células de cria foram encontradas em todos os ninhos abertos, sendo, o número mínimo de 1 célula de cria e o número máximo de 5 célula de cria. Durante o estudo, também foi observado que uma única fêmea pilhava outros ninhos retirando grandes massas de pólen. Esse comportamento foi observado por cinco vezes no período da manhã, quando as fêmeas vizinhas saíam para buscar recursos.

As abelhas permaneciam ativas durante o dia, realizando tanto atividade de campo quanto atividades internas do ninho, como desidratação de néctar, escavação e construção de novas galerias e posição de guarda. Nessa última situação, elas muitas vezes enfrentavam não

somente outras fêmeas querendo roubar seus ninhos, como parasitas, como no caso do coleoptero *Cissites maculata* que corriqueiramente esperava a oportunidade de entrar nos ninhos estabelecidos (Figura 13G).

Um total de 26 desses coleopteros foi encontrado durante o período de observação. Os coleopteros estavam sempre esperando uma oportunidade para entrar nos ninhos, possivelmente atraídos pelas fezes depositadas nas entradas destes, e ocupavam as cavidades pre-escavadas de outros barrotes próximos aos que estavam nidificados. Normalmente eram encontrados em grupos de uma, fêmea acompanhada por três machos. Sempre que esses besouros eram vistos, foram retirados dos ninhos e colocados em ácido acetado para serem transfixados e montados posteriormente (Figura 13H).

Em algumas situações foram encontradas abelhas fêmeas mortas (22 no total) no entorno do local de estudo. Também foram encontradas três fêmeas com deformações e atrofiamento em pelo menos uma das asas (Figura 13J), enquanto que outras três abelhas mamangavas que foram encontradas mortas possuíam uma massa de pólen compactada em suas cabeças, entre os olhos compostos e os ocelos (Figura 13K). Provavelmente essas abelhas utilizam sua cabeça para auxiliar a compactação do pólen no fundo de cada galeria (Figura 13F) no preparo do alimento larval, e massa de alimento larval e pólen. A coleta e identificação desse pólen mostrou ser de *Solanum paniculatum*, que seria pegajoso depois de manipulado pelas fêmeas impossibilitando sua remoção pelo inseto. Além disso, foi observado que os mesmo barrotes de abelhas foram nidificados por outras espécies de abelhas mamangavas, como *Xylocopa cearensis* e *Ceratina* sp. até mesmo os que os que possuíam ninhos de *X. frontalis*.

Dessa forma, outras espécies de abelhas também tentaram nidificar no mesmo barrote em outra porção, cuja as fêmeas de *X. frontalis* não haviam construído ninho (Figura 13L), e, também até mesmo em ninhos com galerias construídas por *X. frontalis*, que foi utilizado por uma fêmea de *X. cearensis*, porém, a sua cria não teve sucesso no desenvolvimento.

Figura 13 – Ninhos de *Xylocopa frontalis* em barrotes de madeira, parasitas e outras particularidades. A) Bloco de ninhos de *Xylocopa frontalis* em barrotes de madeira; B) Raspas de madeira fora na entrada do ninho; C) Fêmea de *Xylocopa frontalis* guardando o ninho; D) Macho de mamangava guardando o ninho e impedindo a entrada de outras abelhas; E) Fêmea retornando aos ninhos após voo de coleta de recursos; F) Massa de pólen compactada ao fundo do ninho, fêmea imatura e cria imatura. G) Besouro (*Cissites maculata*) aguardando oportunidade para atacar o ninho; H) Besouros (*Cissites maculata*) em barrotes de madeira usados para nidificação de abelhas mamangavas; I) Retirada dos besouros parasitas de *Xylocopa* spp para coleta; J) Fêmea com asa deformada; K) Fêmea com massa de pólen na cabeça; L) Ninho de fêmea de *Xylocopa cearensis* construído nos barrotes de madeira; M) Célula de cria de *Xylocopa cearense* dentro de ninho de *Xylocopa frontalis*.

Fonte: Figuras – Autor (B, D, E, H, L, M); Breno M. Freitas (A, C, F, G, I, J, K)



Discussão

Diante de tal necessidade quanto ao manejo de polinizadores para aplicação do serviço de polinização agrícola, estudos vêm buscando soluções para a criação de abelhas *Xylocopa* sp. com a finalidade de introdução em cultivos agrícolas de maracujazeiro (CAMILLO, 2003; MARCHI; MELO, 2010; PEREIRA; GAROFALO, 2010; JUNQUEIRA *et al.*, 2012; FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003). Aqui, os barrotes de madeira *Pinus* testados para nidificação de fêmeas de *Xylocopa frontalis* foram capazes de atrair as abelhas mamangavas, leva-las à nidificação e a produção de crias e sucesso nas gerações seguintes.

Os barrotes utilizados possuem semelhanças com os colmos de bambus, os quais são bastante utilizados como substratos de nidificação e ninhos armadilhas para abelhas mamangavas (MARCHI; MELO, 2010; PEREIRA; GAROFALO, 2010; YAMAMOTO *et al.* 2012; SILVA *et al.*, 2014). Contudo, a dificuldade de adquirir grandes quantidades de colmos de bambus com diâmetros ideais para essas abelhas, apesar disso ser um dos problemas, ainda assim, esses materiais são indicados com frequência como recursos de nidificação para abelhas mamangavas em pomares de maracujá (SILVA *et al.*, 2014).

Estudos sobre nidificação de fêmeas de *X. frontalis* mostram variações na aceitação de colmos de bambus de 25,9 % (CAMILLO 2003), 28% (PEREIRA; GARÓFALO, 2010) e 33,3% (MARCHI; MELO, 2010). Além disso, ninhos-armadilhas em colmos de bambus parecem ser mais utilizados com diâmetros entre 1,9 e 2,0 cm (PEREIRA; GARÓFALO, 2010). Assim, observando a proporção de ocupação e nidificação de abelhas mamangavas em ninhos artificiais de colmos de bambus, os barrotes de madeira por ter diâmetro da cavidade (2,0 cm) ofertada igual, em todos os substratos oferecidos, possuem vantagens em relação a utilização dos colmos de bambus para a criação massiva de abelhas mamangavas. Portanto, o tamanho da cavidade pode ser um dos fatores para a escolha do ninho, justificando o percentual de barrotes ocupados (35,9%) e nidificados (23,8%) por *X. frontalis*.

O fator da reutilização dos ninhos está relacionado com o aumento da nidificação de abelhas ao longo do período de estudo. Além disso, essas abelhas possuem comportamento inato das fêmeas em buscar locais adequados próximos aos ninhos nos quais elas foram geradas e criadas até a maturidade. As abelhas podem dar preferência aos antigos ninhos das suas mães ou até mesmo a locais que tiveram sido recém iniciados ou utilizados por outras abelhas, porém desabitado (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

A profundidade da cavidade também está relacionada com a ocupação e nidificação dos barrotes de madeira. As fêmeas de *X. frontalis* preferiram os barrotes com cavidades de 11 cm de profundidade (88,32%) para dar início as suas atividades de escavação e nidificação. Embora, essas abelhas tenham uma necessidade fisiológica de escavar seus ninhos para dar início as atividades de reprodução (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; CAMILLO, 2003), os resultados mostram que assim como ninhos armadilhas de colmos de bambus, os barrotes de madeira com cavidades de 11 cm podem ser utilizados para atrair fêmeas de abelhas mamangavas, para que essas dêem continuidade aos seus ciclos reprodutivos.

No mesmo sentido, podemos associar que a escolha dos barrotes com cavidades pré-existentes mais profundas pode ser outro fator determinante na escolha dessas abelhas do substrato de nidificação, devido a essas abelhas terem menor gasto energético para construção das galerias. Dessa forma, as fêmeas se concentrariam em dar início as atividades de construção de opérculo ou partição celular, forrageio, desidratação do néctar, compactação do pólen no fundo das células, preparo do alimento larval e ovoposição, e levando a crer que essas abelhas utilizam cavidades pré-existentes (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; PEREIRA; GARÓFALO, 2010).

Portanto, existem duas explicações para o baixo número de barrotes ocupados com cavidades de 3 e 6 cm de profundidade (9,09 e 10,38%, respectivamente): 1) essas abelhas durante o período inicial são sensíveis a perturbações durante a construção do ninho e nidificação, assim, abandonam o ninho recém iniciado (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001); 2) Por se tratar de abelhas territoriais (FREITAS *et al.*, 2017), o movimento constante de outras fêmeas de *X. frontalis* inspecionando e visitando os ninhos, perturbavam essas abelhas que estavam mais próximas as entradas que as fêmeas que estavam nos barrotes com cavidades de 11 cm de profundidade.

Além disso, até o 39º dia foi observado que 50% da população desistiu ou abandonou os barrotes de madeira. Esse período é um período menor que o período descrito na literatura o desenvolvimento de crias de *X. frontalis*, uma vez que, em média uma fêmea e um macho levam de 54 dias e 46 dias, respectivamente, de ovo até imago (PEREIRA; GARÓFALO, 2010). Assim, essas fêmeas podem ter por outras razões escolhidos outros locais para dar início as suas atividades de nidificação.

Através da curva de risco de Cox (*Cox Proportional Hazard Model*) podemos inferir que o primeiro mês nos barrotes de madeira para as fêmeas de *X. frontalis* é o período mais crítico, o qual poderá implicar na continuidade ou não das atividades de nidificação. Isso leva

a crer novamente que esse risco esta relacionada com a sensibilidade dessas abelhas a perturbações em volta do local escolhido previamente (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001). Por outro lado, após esse período crítico, pode-se afirmar, que as fêmeas de mamangavas podem levar pelo menos um mês para se estabelecer dentro do substrato de madeira utilizado, resultando nos menores índices de riscos de acordo com o estudo.

Os barrotes de madeira testados no presente estudo, além de atrair as fêmeas de abelhas mamangavas, levá-las a nidificação e sucesso na produção de novas crias, apresentou resultados semelhantes com os descritos na literatura, com relação a arquitetura do ninho e comportamento de nidificação em condições de ninhos armadilhas (PEREIRA; GARÓFALO, 2010; MARCHI; MELO, 2010) e ninhos racionais (OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003).

Embora, os barrotes de madeira em alguns dos casos tenham limitado a construção de galerias de algumas das fêmeas, em decorrência dos próprios limites da madeira disponibilizada, estes substratos de nidificação permitem um arranjo tridimensional muito parecido com os encontrados na natureza (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2003; OLIVEIRA-FILHO; FREITAS 2003; FREITAS *et al.*, 2017).

Por outro lado, os parâmetros da arquitetura dos ninhos avaliados, são semelhantes aos encontrados também nos ninhos racionais. Contudo, por ter menor disponibilidade de espaço para as fêmeas realizarem suas atividades de postura, o número de células por galeria são menores que os encontrados em ninhos racionais e ninhos armadilhas (OLIVEIRA-FILHO, FREITAS; 2003; PEREIRA; GARÓFALO, 2010; MARCHI; MELO, 2010). Apesar do número de células serem menor em relação a utilização dos barrotes como substrato de nidificação para fêmeas de *X. frontalis*, este material funciona como alternativa viável, de baixo custo, e de fácil aplicação, para sua utilização em campo para o serviço de polinização e conservação de espécies de abelhas mamangava nas matas próximas aos cultivos de maracujá.

Quanto ao comportamento de nidificação, as fêmeas de *X. frontalis* inspecionaram os barrotes da mesma forma que fazem a inspeção aqui descrito é comum e inato das espécies de abelhas mamangavas (*Xylocopa* sp.). Dessa forma, tal comportamento já foi relatado em estudos com ninhos racionais (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001; OLIVEIRA-FILHO, FREITAS, 2003) e ninhos armadilhas (PEREIRA; GARÓFALO, 2010; MARCHI; MELO, 2010).

As fêmeas jovens geralmente buscam por estruturas de madeira morta, já seca e em estágio inicial de decomposição, sem fendas e/ou rachaduras. Contudo, após escolher inicialmente o local, as fêmeas não possuem meios de identificar se são adequados ou não,

mas ainda assim, em algumas vezes escavam até 3 cm, para depois abandonar o local e não mais retornar (FREITAS; OLIVEIRA-FILHO, 2001).

Assim, após a fundação do ninho as fêmeas das espécies de *X. frontalis*, além de concentrar suas atividades na escavação e formação da galeria principal, construção de opérculos ou partição celular, dão início as atividades de forrageio para a coleta de recursos. Muitas vezes, as fêmeas foram observadas desidratando o néctar na entrada do ninho, esse comportamento é seguido do preparo do alimento larval. Portanto, o comportamento de desidratação do néctar já fora descrito em outros estudos etiológicos das espécies de abelhas *Xylocopa* (CAMILLO, 2003; BERNADINO *et al.*, 2009; FREITAS *et al.*, 2017).

No que refere-se a doenças e inimigos, os coleópteros *Cissites maculata* foram encontrados nas áreas próximas dos ninhos e até mesmo ocupando os blocos de madeira. Esses besouros já são relatados como parasitas de *X. frontalis* (OLIVEIRA-FILHO; FREITAS, 2003, SILVA *et al.*, 2014). As abelhas encontradas com atrofiamento das asas, não sabe se há alguma relação genética ou relacionadas com patógenos. Contudo, há relatos de DWV (*Deforming wing virus*) em *X. augusti* (LUCIA *et al.*, 2014), porém não afirmam que possa se tratar de um “*pathogens spillover*” (i.e. Contaminação viral entre espécies diferentes) do vírus DWV em *Apis mellifera*. Assim, testes de genéticos poderiam apontar precisamente qual o fator que contribuiu para o atrofiamento das asas das abelhas encontradas.

No estudo, também foi observado que algumas abelhas mamangavas de tamanhos menores tentaram utilizar os barrotes. É natural que outras abelhas com mesmo comportamento de escavar madeira (VIANA *et al.*, 2002) busquem por locais apropriados para sua nidificação, conseqüentemente, pode encontrar outras espécies buscando esse material utilizado como substrato adequado.

Conclusão

Baseado nos resultados do presente estudo, pode-se concluir que os barrotes de madeira são uma alternativa viável para nidificação de abelhas mamangavas. Uma vez que, as fêmeas de *X frontalis* foram atraídas e fizeram seus ninhos nesse substrato, produzir suas crias e o mesmo foi observado para as gerações seguinte de fêmeas da espécie.

Ainda assim, os barrotes de madeira devem ser ofertados com cavidades de 11 cm de profundidade para que as abelhas possa ter maior eficiência na nidificação das espécies neste substrato. Também, o tamanho da população de abelhas mamangavas e a disponibilidade da oferta sitios de nidificação adequados, onde deseja utilizar esse material, pode afetar diretamente a taxa de ocupação.

No entanto, deve-se ainda saber se outras espécies utilizariam o mesmo material, tendo em vista que somente a espécie *X. frontalis* ocupou e construiu seu ninho nos barrotes. No mesmo sentido, outros experimentos devem ser conduzidos para determinar o número de ninhos em barrotes de madeira para garantir a demanda de polinizadores necessária para as áreas agrícolas reduzindo do deficit de polinização.

REFERÊNCIAS

BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Entomologia**, 53(3), 415-421, 2009.

BECHER, M.A *et al.* Towards a systems approach for understanding honeybee decline: a stocktaking and synthesis of existing models. **Journal of Applied Ecology** 50: 868-880, 2013. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12112>

BEZERRA, A. D. M. Uso da abelha canudo (*Scaptotrigona* sp. nov.) na polinização do meloeiro (*Cucumis melo* L.) em ambiente protegido. **Dissertação** (mestrado em zootecnia)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. 94 f. 2014.

BROWN, M.J.F. *et al.* A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. **PeerJ** 4:e2249. 2016. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.2249>

CAMILLO, E. **Polinização de maracujá**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003.
FREITAS, B.M, SILVA, C.I., BEZERRA, A. D. M. **The illustrated natural history of a pollinator: the Carpenter bee *Xylocopa frontalis***. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 72 p. 2017.

FREITAS, B. M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, 40(3), 332-346, 2009.
doi:<https://doi.org/10.1051/apido/2009012>

FREITAS, B. M., OLIVEIRA FILHO, J. H. **Criação racional de mamangavas: para polinização em áreas agrícolas**. Fortaleza: Banco do Nordeste. 96 p. 2001.

FREITAS, B. M.; OLIVEIRA FILHO, J. H. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, 33(6), 1135-1139, 2003.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms, **Science**, 351, 388-391, 2016.

GHAZOUL, J. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. **Trends Ecol. Evol**, 20(7), 367-373, 2005.

GIANNINI, T.C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. **Agr. Ecosyst. Environ.** 171, 39-46, 2013.

GIANNINI, T.C. *et al.* Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLoS one**, 12(8), e0182274, 2017.

HOGENDOORN, K.; STEEN, Z.; SCHWARZ, M. P. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses, **Journal of Apicultural Research**, vol. 39, no. 1-2, pp. 67–74. 2000.

IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. *et al.* Polinizadores e Polinização – um Tema Global. In: Imperatriz-Fonseca, V.L.; Canhos, D.A.L.; Alves, D.A.; Saraiva, A.M. **Polinizadores Do Brasil – Contribuição e Perspectivas para a Bioversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2012.

IPBES. **Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production**. S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovács-Hostyánszki, P.K. Kwapong, J. Li, X. Li, D. J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader, and B.F. Viana (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 p. 2016.

JUNQUEIRA, Camila N. *et al.* Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. **Apidologie**, v. 44, n. 6, p. 729-737, 2013..

KEASAR, Tamar. Large carpenter bees as agricultural pollinators. **Psyche: A Journal of Entomology**, v. 2010, 2010.

KLEIN, A.M., *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 274(1608), 303-313, 2007. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M., THORP, R.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 99(26), 16812-16816, 2002.

LUCIA, M. *et al.* First detection of deformed wing virus in *Xylocopa augusti* larvae (Hymenoptera: Apidae) in Argentina. **J. Api. Res.**, 53(4), 466-468, 2014.

MARCHI, P., MELO, G. R. Biologia de nidificação de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *frontalis* (Olivier)(Hymenoptera, Apidae, Xylocopini). *Oecologia Australis*, 14(1), 210-231, 2010.

MARTINS, C. F. *et al.* Density and Distribution of *Xylocopa* Nests (Hymenoptera: Apidae) in Caatinga Areas in the Surroundings of Passion Fruit Crops. **Neotropical entomology**, 43(4), 314-321, 2014.

MEEUS, I., VERCRUYSSSE, V., SMAGGHE G. Molecular detection of *Spiroplasma apis* and *Spiroplasma melliferum* in bees. **J. Invertebr. Pathol.** 109(1):172-174, 2012.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.006>

OLIVEIRA FILHO, J. H.; FREITAS, B. M. Colonização e biologia reprodutiva de mamangavas (*Xylocopa frontalis*) em um modelo de ninho racional. **Ciência Rural**, 33(4), 693-697, 2003.

PEREIRA, M., GARÓFALO, C. A. Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. **Oecologia Australis**, 14(1), 193-209. 2010.

POTTS, S.G. *et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, 540(7632), 220-229, 2016. doi:10.1038/nature20588

SILVA, C.I. *et al.* **Manejo dos polinizadores e polinização de flores do maracujazeiro.** Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo/Ministério do Meio Ambiente, São Paulo. 60p. 2014.
http://www.iea.usp.br/pesquisa/grupos/servecosystemas/publicacoes/manejo-dos-polinizadores-e-polinizacao-de-flores-do-maracujazeiro/at_download/file

SILVA, C.I., MELLO, M.A.R., OLIVEIRA, P.O. A palinologia como uma ferramenta importante nos estudos das interações entre *Xylocopa* spp. e plantas no Cerrado, p. 72-79. In **Anais do IX Encontro Sobre Abelhas**, FUNPEC, Ribeirão Preto, Brazil. 2010.

SIQUEIRA, K. M. M. D. *et al.* Ecology of pollination of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), in the region of São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 31(1), 1-12, 2009.

VIANA, B. F., KLEINERT, A. M., SILVA, F. O. Ecology of *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *cearensis* (Hymenoptera, Anthophoridae) in Abaeté sand dunes, Salvador, Bahia. **Iheringia. Série Zoologia**, 92(4), 47-57, 2012.

YAMAMOTO, M. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. **Apidologie** 43(5), 515-526, 2012.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As abelhas mamangavas (*Xylocopa* spp.) são essenciais para o cultivo do maracujazeiro, pois além serem os polinizadores mais efetivos dessa cultura e assegurarem níveis de produtividade que justifiquem a sua exploração econômica, também contribuem na redução dos custos de produção ao evitarem gastos extras com a cara polinização manual das flores. Diante do cenário atual, que aponta uma série de fatores contribuindo para o declínio dos polinizadores, dentre eles e em especial, as mudanças climáticas, nos mostramos em projeções futuras que as alterações dos padrões climáticos ao longo do século XXI afetarão a amplitude da distribuição espacial dos polinizadores e da cultura do maracujazeiro, bem como a adequabilidade das áreas em relação a presença dessas espécies de polinizadores, e de adequação para o cultivo do maracujazeiro. Este é o primeiro estudo com essa abordagem feito com uma cultura tropical e seus polinizadores efetivos.

As projeções apontam uma redução das áreas adequadas para os cultivos de maracujá para toda a região neotropical, e, também, redução na adequabilidade das áreas para os polinizadores. De acordo com essas projeções, até o final do século XXI as mudanças climáticas afetarão diretamente ambas as espécies contribuindo para um aumento do desencontro espacial entre polinizadores efetivos e maracujazeiro na região tropical. Os resultados mostram como as mudanças climáticas afetariam potencialmente tanto os polinizadores como a cultura concomitantemente, o que resultaria na redução de áreas de coexistências entre as espécies. Além disso, ainda poderá resultar no aumento dos déficits de polinização dos pomares de maracujá e colocar em risco a cadeia de produção do maracujazeiro no Neotrópicos.

Portanto, esse estudo mostra haver grande relevância no desenvolvimento de novas estratégias que venham a minimizar os efeitos da perda de adequabilidade para as áreas cultivadas, e, também, para as áreas de presença dos polinizadores, em decorrência das mudanças climáticas na região neotropical. Uma dessas alternativas se trata do criatório e introdução desses polinizadores nas áreas de maracujazeiro para compensar perdas dos polinizadores silvestres. No presente estudo, foi investigado o uso de barrotes de madeira de *Pinus* sp., utilizado comumente na construção civil, como ninhos para o criatório das abelhas mamangavas. Os resultados mostraram que os barrotes de madeira são eficientes em atrair as fêmeas de abelha mamangava, as quais os utilizam como substrato de nidificação para produzir suas crias por gerações consecutivas da espécie. Além disso, foi observado que o

risco de abandono dessas fêmeas decresce após o primeiro ciclo de ocupação, assim, essas abelhas se ocupam em realizar as atividades relacionadas com o seu ciclo reprodutivo. Contudo, novos experimentos com esse substrato de nidificação devem ser utilizados em pomares de maracujá, possibilitando a introdução de ninhos de mamangavas em áreas agrícolas da cultura, a fim de aumentar o número de polinizadores no cultivo, e por fim, reduzir o deficit de polinização.

Finalmente, os resultados aqui obtidos podem servir substancialmente para a preservação das abelhas mamangavas e uma melhor utilização dos seus serviços em áreas agrícolas. Assim, os resultados dessa tese fornecem subsídios que podem auxiliar (I) a minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a adequabilidade das áreas do cultivo de maracujazeiro e seus polinizadores na região neotropical atuando de forma conjunta (II); no entendimento dos potenciais impactos no desencontro espacial entre polinizadores e cultura agrícola; (III) no aproveitamento de materiais, com baixo custo de aquisição e alta disponibilidade para criação, manejo e preservação de espécies de abelhas mamangavas; (IV) no entendimento da criação de novas estratégias que possam resultar em mitigação de efeitos das mudanças climáticas sobre as populações de abelhas mamangavas; e (V) na introdução desses polinizadores nos pomares de maracujazeiro. Uma vez que, a produção agrícola está cada vez mais dependente de seus polinizadores, e culturas agrícolas como o maracujazeiro dependentes de abelhas grandes como as *Xylocopa* spp., os conhecimentos apresentados nessa tese podem auxiliar na manutenção dos serviços de polinização e contribuir para continuidade da produção e exploração da cultura do maracujazeiro nos Neotrópicos, apesar das inevitáveis mudanças climáticas que se aproximam.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, S.C. *et al.* Microsatellite loci for the carpenter bee *Xylocopa frontalis* (Apidae, Xylocopini). **Conserv. Genet. Resour.** [s.l]. 4(2), 315-317, 2012.
- BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Entomologia**, [s.l]. 53(3), 415-421, 2009.
- BERNACCI, L.C. Passifloraceae. In: Wanderley, M.G.L.; Shepherd, G.J.; Giuliatti, A.M.; Melhem, T.S. (Ed.). **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: RiMa, FAPESP,. v.3, p. 247-248, 2003.
- BERNACCI, L.C. *et al.* Espécies de maracujá: caracterização e conservação da biodiversidade. In: Faleiro, F.G.; Junqueira, N.T.V.; Braga, M.F. **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina: Embrapa Cerrados,. p.559-586, 2005.
- BARTOMEUS, I. *et al.* Biodiversity ensures plant–pollinator phenological synchrony against climate change. **Ecol. Lett.** [s.l]. 16(11), 1331-1338, 2013.
- BECHER, M.A. *et al.* Towards a systems approach for understanding honeybee decline: a stocktaking and synthesis of existing models. **Journal of Applied Ecology**. [s.l]. 50: 868 – 880, 2013. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12112>
- BIESMEIJER, J.C. *et al.* Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**. [s.l]. 313(5785), 351-354, 2006. doi:10.1126/science.1127863
- BROWN, M.J.F. *et al.* A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. **PeerJ** 4:e2249. 2016 doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.2249>
- BRUCKNER, C.H. *et al.* Self-incompatibility in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Acta Hort.** [s.l]. 370, 45-58, 1993. doi: 10.17660/ActaHortic.1995.370.7
- BURKLE, L.A., MARLIN, J.C., KNIGHT, T.M. Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. **Science**. [s.l]. 339(6127), 1611-1615. 2013.
- CANÇADO JÚNIOR, F. L., ESTANISLAU, M. L. L., PAIVA, B. D. **Aspectos econômicos da cultura do maracujá**. Informe Agropecuário, [s.l]. 21(206), 10-17, 2000.
- CHALLINOR, A.J. *et al.* A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nat. Clim. Change**. [s.l]. 4(4), 287-291, 2014.

CAMERON, S. A. *et al.* Patterns of widespread decline in North American bumble bees. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, [s.l]. 108(2): 662-667, 2014. doi:10.1073/pnas.1014743108

CAMILLO, E. Utilização de espécies de *Xylocopa* (Hymenoptera, Anthophoridae) na polinização do maracujá amarelo. In: II ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 1996, Ribeirão Preto. **Anais... Ribeirão Preto**: Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto. p. 141-146, 1996.

CAMILLO, E. **Polinização de maracujá**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003.

CORBET, S.A., WILLMER, P.G. Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and carpenter bees. **J. Agric. Sci.** [s.l]. 95(3), 655-666, 1980.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. *et al.* Hybridization among wild passionflower species. **Brazilian Journal of Botany**. [s.l]. 34(2), 237-240, 2011.

ELIAS, M.A. *et al.* Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. **Agr. Ecosyst. Environ.** [s.l]. 239, 257-264, 2017

FREE, J. B. **Insect pollination of crops**. [s.l]. (No. Ed. 2). Academic press. 1993.

FLORES, L. *et al.* The importance of natural habitats in the surroundings of dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) plantation for its reproductive success. **Iheringia**, Serie Botanica, [s.l]. 67(2), 189-197, 2012.

FREITAS, B.M, Silva, C.I., Bezerra, A. D. M.. The illustrated natural history of a pollinator: the Carpenter bee *Xylocopa frontalis*. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 72 p. 2017.

FREITAS, B. M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, [s.l]. 40(3), 332-346, 2009.
doi:<https://doi.org/10.1051/apido/2009012>

FREITAS, B. M., OLIVEIRA-FILHO, J. H. **Criação racional de mamangavas: para polinização em áreas agrícolas**. Fortaleza: Banco do Nordeste. 96 p. 2001.

FREITAS, B. M., OLIVEIRA-FILHO, J. H. Ninhos racionais para mamangava (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, [s.l].33(6), 1135-1139, 2003.

FREITAS, B. M. *et al.* **Identifying and assessing pollination deficits in crops. Pollination services to agriculture**. New York: FAO, Routledge, 17-33, 2016.

- FREITAS, B. M., *et al.* Forest remnants enhance wild pollinator visits to cashew flowers and mitigate pollination deficit in NE Brazil. **Journal of Pollination Ecology**, [s.l]. 12. 2014a
- FREITAS, B.M. *et al.* **Plano de manejo para polinização da cultura do cajueiro: conservação e manejo de polinizadores para agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica.** Rio de Janeiro: Funbio. 52p. 2014b.
- GAGLIANONE, M. C. *et al.* **Plano de manejo para os polinizadores do tomateiro.** Rio de Janeiro: FUNBIO. 2015.
- GANGA, R. M. D. *et al.* Diversidade genética em maracujazeiro-amarelo utilizando marcadores moleculares fAFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l].494-498, 2004.
- GARIBALDI, L. A. *et al.* Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms, **Science**, [s.l]. 351, 388-391, 2016.
- GIANNINI, T.C. *et al.* Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. **Agr. Ecosyst. Environ.** [s.l]. 171, 39-46. 2013
- GIANNINI, T. C. *et al.* Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie**, [s.l]. 46(2), 209-223. 2015.
- GIANNINI, T.C. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. **PLoS one**, [s.l]. 12(8), e0182274, 2017.
- GUTZLER, C. *et al.* Agricultural land use changes—a scenario-based sustainability impact assessment for brandenburg, germany. **Ecological Indicators**, [s.l]. 48, 505-517, 2015.
- HOGENDOORN, K.; STEEN, Z.; SCHWARZ, M. P. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumble bees for tomato pollination in greenhouses. **Journal of Apicultural Research**, [s.l]. vol. 39, no. 1-2, pp. 67–74, 2000.
- HOGENDOORN, K. On promoting solitary bee species for use as crop pollinators in greenhouses. In Freitas, B.M.; Pereira, J. O. P. (Ed.). **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination.** Editora UFC, Fortaleza – Ceará. 213-221, 2004.
- HOOVER, S. E. *et al.* Warming, CO₂, and nitrogen deposition interactively affect a plant-pollinator mutualism. **Ecology Letters**, 15(3), 227-234, 2012.
- SOUSA, J.H., VIANA, B. F., GARIBALDI, L. A. The value of pollinator-friendly practices: Synergies between natural and anthropogenic assets. **Basic and Applied Ecology**, [s.l]. 17(8), 659-667, 2016.

INGLEZ-SOUZA, J. D., MELETTI, L. M. M. **Maracujá: espécies, variedades, cultivo.** Piracicaba: Fealq, 179p. 1997.

IMBACH, P. *et al.* Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, [s.l]. 114(39), 10438-10442, 2017.

IBGE, 2017. Brazilian Institute of Geography and Statistics, produção agrícola municipal, 2016 data 2017: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=106&z=t&o=11> (accessed 28 November 2017).

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (ed.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p. 2013.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

IPBES. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovács-Hostyánszki, P.K. Kwapong, J. Li, X. Li, D. J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader, and B.F. Viana (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 p. 2016.

JUNQUEIRA, C.N. *et al.* Nest management increases pollinator density in passion fruit orchards. **Apidologie**, [s.l]. 44(6), 729-737, 2013.

KERR, J.T., Climate change impacts on bumblebees converge across continents. **Science**, [s.l]. 349(6244), 177-180, 2015.

KLEIN, A.M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proc. R. Soc. B** [s.l]. 274(1608), 303-313. 2007 doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

KJØHL, M., ANDERS, N., STENSETH, N.C. Potential effects of climate change on crop pollination. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011.
http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Biodiversity-pollination/Climate_Pollination_17_web__2_.pdf (acessado em 11 de novembro de 2017).

KREMEN, C., WILLIAMS, N.M., THORP, R.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proc. Natl. Acad. Sci.** [s.l]. 99(26), 16812-16816, 2002.

- KUGLER, E. E., KING, L. A. **A brief history of the passionflower**. Passiflora: passionflowers of the world, [s.l]. 15-26, 2004.
- LOBELL, D.B., SCHLENKER, W., COSTA-ROBERTS, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, [s.l]. 333(6042), 616-620, 2011.
- LUCIA, M., ALVAREZ, L. J. ABRAHAMOVICH, A. H. Large carpenter bees in Argentina: systematics and notes on the biology of *Xylocopa* subgenus *Neoxylocopa* (Hymenoptera: Apidae). **Zootaxa**, [s.l]. 3754(3), 201-238, 2014.
- MARCHI, P., MELO, G. R. Biologia de nidificação de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *frontalis* (Olivier) (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini). **Oecologia Australis**, [s.l]. 14(1), 210-231, 2010.
- MARCHI, P., ALVES-DOS-SANTOS, I. As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (Xylocopini, Apidae) do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, [s.l]. 13(2). 2013.
- MARTINS, C. F. *et al.* Density and Distribution of *Xylocopa* Nests (Hymenoptera: Apidae) in Caatinga Areas in the Surroundings of Passion Fruit Crops. **Neotropical entomology**, [s.l].43(4), 314-321, 2014.
- MCGREGOR, S. E. **Insect pollination of cultivated crop plants** (Vol. 496). Washington (DC): Agricultural Research Service, US Department of Agriculture. 1976.
- MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l]. 33(SPE1), 83-91. 2011.
- MICHENER, C. D. **The Bees of the World**. 2nd. Ed. *Johns Hopkins, Baltimore*. 2007.
- MEEUS, I., VERCRUYSSSE, V., SMAGGHE G. Molecular detection of *Spiroplasma apis* and *Spiroplasma melliferum* in bees. **J. Invertebr. Pathol.** [s.l].109(1):172-174. 2012.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.006>
- MOURE, J. S., URBAN, D., MELO, G. A. R. **Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region** (p. 1058). Curitiba: Sociedade Brasileira de Entomologia. 2007.
- OLIVER, T.H. *et al.* Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. **Nat. Clim Change**, [s.l]. 5(10), 941-945. 2015.
doi:10.1038/nclimate2746
- OLIVEIRA-FILHO, J. H.; FREITAS, B. M. Colonização e biologia reprodutiva de mamangavas (*Xylocopa frontalis*) em um modelo de ninho racional. **Ciência Rural**, [s.l]. 33(4), 693-697, 2003.

OLLERTON, J., WINFREE, R., TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals?. **Oikos**, [s.l]. 120(3), 321-326, 2011. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>

PEREIRA, M., GARÓFALO, C. A. Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. **Oecologia Australis**, [s.l]. 14(1), 193-209, 2010.

POLCE, C. *et al.* Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. **Glob. Change Biol.** [s.l]. 20(9), 2815-2828, 2014.

POTTS, S.G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends. Ecol. Evol.** [s.l]. 25(6), 345-353, 2010 doi:<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>

POTTS, S.G. *et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, [s.l]. 540(7632), 220-229, 2016. doi:10.1038/nature20588

PYWELL, R. F. *et al.* Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. **Proc. R. Soc. B** [s.l]. v282, 1816, p. 20151740, 2015.

RASMONT, P., ISERBYT, S. The Bumblebees Scarcity Syndrome: Are heat waves leading to local extinctions of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombus)?. **Ann. Soc. Entomol. Fr.** 48(3-4) 275-280, 2012. doi:10.1080/00379271.2012.10697776

RICKETTS, T. H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. **Conservation biology**, [s.l]. 18(5), 1262-1271, 2004.

RIZZI, L.C. **Cultura do maracujá azedo**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, SAA, 23p. 1998.

ROSENZWEIG, C. *et al.* Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. **Proc. Natl. Acad. Sci.** [s.l]. 111(9), 3268-3273, 2014.

SCHOLES, R.J. Climate change and ecosystem services. **Wiley Interdiscip Rev Clim Change**, [s.l]. 7(4), 537-550, 2016.

SETTELE, J., BISHOP, J., POTTS, S.G. Climate change impacts on pollination. **Nat. Plants**. [s.l]. 2, 16092, 2016. doi: 10.1038/nplants.2016.92

SILVA, C.I. *et al.* Manejo dos polinizadores e polinização de flores do maracujazeiro. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo/Ministério do Meio Ambiente, São Paulo. 60p. 2014.
http://www.iea.usp.br/pesquisa/grupos/servecosystemas/publicacoes/manejo-dos-polinizadores-e-polinizacao-de-flores-do-maracujazeiro/at_download/file

SILVA, C.I., MELLO, M.A.R., OLIVEIRA, P.O. A palinologia como uma ferramenta importante nos estudos das interações entre *Xylocopa* spp. e plantas no Cerrado, p. 72-79. In **Anais do IX Encontro Sobre Abelhas**, FUNPEC, Ribeirão Preto, Brazil. 2010.

SIQUEIRA, K. M. M. D. Ecology of pollination of the yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.), in the region of São Francisco Valley. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l]. 31(1), 1-12, 2009.

USAID, **The US market for passion fruit**. 2014. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00KP21.pdf (acessado em 28 de nov. 2017).

VIANA, B. F., KLEINERT, A. M., SILVA, F. O. Ecology of *Xylocopa* (Neoxylocopa) *cearensis* (Hymenoptera, Anthophoridae) in Abaeté sand dunes, Salvador, Bahia. **Iheringia**. [s.l]. Série Zoologia, 92(4), 47-57, 2002.

VIANA, B. F., *et al.* **Plano de manejo para polinização de macieira variedade Eva: Conservação e manejo de polinizadores para a agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica**. Rio de Janeiro: FUNBIO. 2015

VANBERGEN, A.J., *et al.* Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. **Front. Ecol. Environ.** [s.l]. 11: 251–259, 2013. doi:10.1890/120126

YAMAMOTO, M. *et al.* The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. **Apidologie** [s.l]. 43(5), 515-526, 2012.

APÊNDICE A - BASE DE DADOS, VALORES DE AUC DOS MODELOS DE *XYLOCOPA SPP. PASSIFLORA EDULIS* MODELS

A Base de dados

A.1 Espécies de abelhas

Um total de 559 pontos de ocorrência de abelhas mamangavas

- 371 dados de coordenadas de ocorrência de *Xylocopa frontalis*
- 188 dados de coordenadas de ocorrência de *Xylocopa grisescens*

A.1.1 Dados provenientes da internet

- Discover Life (www.discoverlife.org)
 - American Museum of Natural History
- Global Information Biodiversity Facilities (www.gbif.org)
 - Entomology Collection
 - Illinois Natural History Survey
 - Snow Entomological Museum Collection
 - University of Kansas Biodiversity Research Center
 - USDA-ARS Bee Biology and Systematics Laboratory
 - ZFMK Hymenoptera collection
- SpeciesLink (smlink.cria.org.br/)
 - Coleção de Abelhas do Museu de Ciências e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
 - Coleção de Entomologia do Laboratório de Biologia Vegetal
 - CEMeC Coleção Entomológica Moure e Costa
 - CEPANN Coleção Entomológica Paulo Nogueira-Neto do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo
 - CE-UFPE Coleção Entomológica da Universidade Federal de Pernambuco
 - DSEC Coleção Entomológica do Depto. de Sistemática e Ecologia
 - LEBIC Laboratório de Ecologia e Biogeografia de Insetos da Caatinga
 - MCP Coleção de Abelhas

A.1.2 Referências

- Aguiar, C.M.L., 2003. Utilização de recursos florais por abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área de Caatinga (Itatim, Bahia, Brasil). *Rev. Bras. Zool.* 20: 457–467.
- Aguiar, C.M., Garófalo, C. A., Almeida, G. F., 2005. Trap-nesting bees (Hymenoptera, Apoidea) in areas of dry semideciduous forest and caatinga, Bahia, Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 22(4), 1030-1038.
- Aguiar, C. M., Zanella, F. C., 2005. Estrutura da comunidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea: Apiformis) de uma área na margem do domínio da Caatinga (Itatim, BA). *Neotrop. Entomol.* 34(1), 15-24.
- Andena, S.R., Bego, L.R., Mechi, M.R., 2009. A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) de uma área de cerrado (Corumbataí, SP) e suas visitas às flores. *Rev. Bras. Zoocienc.* 7(1).
- Albuquerque, P.M.C. D., Camargo, J.M.F.D., Mendonça, J.A.C., 2007. Bee community of a beach dune ecosystem on Maranhão Island, Brazil. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 50(6), 1005-1018.
- Albuquerque, P.D., Mendonça, J.A.C., 1996. Anthophoridae (Hymenoptera; Apoidea) e flora associada em uma formação de cerrado no município de Barreirinhas, MA, Brasil. *Acta Amaz.* 26(112), 45-54.
- Almeida, F.A.V., 2016. Recursos usados por abelhas do gênero *Xylocopa* (Hymenoptera, Apidae) e seu manejo em cultivo agrícola (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará.
- Azevedo, A.A.D., 2002. Composição de faunas de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e da flora associada em áreas de cerrado de Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais.
- Bernardino, A. S., 2008. Biologia de nidificação e estratégias de manejo de *Xylocopa* ordinaria e *Xylocopa frontalis* (Hymenoptera: Apidae) no norte do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro.
- Bezerra, A.D.C., 2010. Análises da estrutura da comunidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área de caatinga do Maciço de Baturité, Ceará, Brasil (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará.
- Boff, S., Araujo, A.C., Pott, A., 2013. Bees (Hymenoptera: Apoidea) and flowers in natural forest patches of southern Pantanal. *Biota Neotrop.* 13(4), 46-56.

- Boti, J.B., Campos, L.A.O., Junior, P.D.M., Vieira, M.F., 2005. Influência da distância de fragmentos florestais na polinização da goiabeira. *Rev. Ceres*, 52(304).
- Carmo, R.M., Franceschinelli, E.V., 2002. Pollination and floral biology of *Clusia arrudae* Planchon & Triana (Clusiaceae) in Serra da Calçada, Brumadinho, MG. *Braz. J. of Bot.* 25(3), 351-360.
- Carvalho, D.M., Aguiar, C.M.L., Santos, G.M.M., 2013. Food niche overlap among neotropical carpenter bees (Hymenoptera: Apidae: Xylocopini) in an agricultural system. *Sociobiology*, 60(3), 283-288.
- Carvalho, C.A.L.D., Oliveira, G.A.D., Oliveira, M.M., Sant'anna, Y.P.D., Machado, C. S., 2009. Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores de gliricídia no Recôncavo Baiano. *Ciênc. e Agrotec.* 33(2), 606-610.
- Cascaes, M.F., 2008. A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) e flores visitadas em um fragmento de mata atlântica, no município de Maracajá, Santa Catarina [Monografia]. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- Cavalcante, M.C., 2010. Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* h. & b.) em cultivo na amazônia central (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará.
- Cavalcante, M.C., 2013. Abelhas polinizadoras da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) cultivada na Amazônia central: papel do néctar e do entorno do plantio na polinização da cultura (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará.
- Darrault, R.O., Schlindwein, C., 2005. Limited fruit production in *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and pollination by nocturnal and diurnal insects. *Biotropica*, 37(3), 381-388.
- Freitas, B.M., Pacheco Filho, A.J., Andrade, P.B., Lemos, C.Q., Rocha, E.E., Pereira, N.O., ... Mendonça, K.S., 2014. Forest remnants enhance wild pollinator visits to cashew flowers and mitigate pollination deficit in NE Brazil. *J. Pollinat. Ecol.* 12.
- Gaglianone, M.C., Salgado Rocha, H.H., Benevides, C.R., Junqueira, C.N., Augusto, S.C., 2010. Importância de Centridini (Apidae) na polinização de plantas de interesse agrícola: o maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis) como estudo de caso na região sudeste do Brasil. *Oecologia Australis*, 14(1), 152-164.
- Kiill, L.H.P., Drumond, M.A., 2001. Floral biology and reproductive system of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.(Fabaceae-Papilionoidae) in region of Petrolina, Pernambuco state, Brazil. *Ciênc. Rural*, 31(4), 597-601.

- Kiill, L.H.P., Siqueira, K.M.M.D., Araújo, F.P.D., Trigo, S. P.M., Feitoza, E.D.A., Lemos, I.B., 2010. Biologia reprodutiva de *Passiflora cincinnata* mast.(passifloraceae) na região de Petrolina-PE. *Oecologia Australis*, 14(1), 115-127.
- Krug, C., 2007. A comunidade de abelhas (Hymenoptera-Apiformes) da mata com araucária em Porto União-SC e abelhas visitantes florais da aboboreira. Universidade do Extremo Sul Catarinense (Dissertação de Mestrado), Criciúma – Santa Catarina.
- Leite, A.V., Machado, I.C., 2009. Biologia reprodutiva da “catingueira”(*Caesalpinia pyramidalis* Tul., Leguminosae-Caesalpinioideae), uma espécie endêmica da Caatinga. *Rev. Bras. Bot.* 32, 79-88.
- Marchi, P., Melo, G.R., 2010. Biologia de nidificação de *Xylocopa* (neoxylocopa) *frontalis* (olivier)(hymenoptera, apidae, xylocopini). *Oecologia Australis*, 14(1), 210-231.
- Mateus, S., 1998. Abundância relativa, fenologia e visita às flores pelos Apoidea do cerrado da Estação Ecológica de Jataí – Luiz Antônio – SP, Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil.
- Martins, C.F., Siqueira, K.M.M., Kiill, L.H.P., Sá, I.I.S., Aguiar, C.M.L., 2014. Density and Distribution of *Xylocopa* Nests (Hymenoptera: Apidae) in Caatinga Areas in the Surroundings of Passion Fruit Crops. *Neotrop. Entomol.*, 43(4), 314-321.
- Mesquita, F.L.A., 2008. Abelhas visitantes das flores do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) e suas eficiências de polinização (Dissertação de mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará.
- Milet-Pinheiro, P., Schlindwein, C., 2008. Community of bees (Hymenoptera, Apoidea) and plants in an area of Agreste in Pernambuco, Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* 52(4), 625-636.
- Mouga, D.M., Krug, C., 2010. Comunidade de abelhas nativas (Apidae) em floresta ombrófila densa montana em Santa Catarina. *Zoologia*, 27(1).
- Neves, E.L., Machado, I.C., Viana, B.F., 2011. Sistemas de polinização e de reprodução de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) na caatinga, semi-árido do Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 34(4), 553-563.
- Oliveira, F.S., Mendonça, M.W., Vidigal, M.C., Rêgo, M.M., Albuquerque, P.M., 2010. Comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em ecossistema de dunas na praia de Panaquatira, São José de Ribamar, Maranhão, Brasil. *Rev. Bras. Entomol.* 54(1), 82-90.
- Pacheco-Filho, A.J.S., Verola, C.F., Lima-Verde, L.W., Freitas, B. M., 2015. Bee-flower association in the Neotropics: implications to bee conservation and plant pollination. *Apidologie* 46(4), 530-541.

- Pacheco-Filho, A.J.S., 2015. Padrões de interação e invasão biológica no mutualismo abelha-planta (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará.
- Pedroso, H.L., 2014. Dinâmica de ocupação e comportamento de nidificação de *Xylocopa frontalis* (Olivier, 1789)(Apidae, Xylocopini) em abrigos artificiais. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – Minas Gerais.
- Pereira, M., Garófalo, C.A., 2010. Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. *Oecologia Australis*, 14(1), 193-209.
- Pigozzo, C.M., Viana, B.F., 2010. Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de caatinga. *Oecologia Australis*, 14(1), 100-114.
- Rodarte, A.T.A., Silva, F.O.D., Viana, B.F., 2008. A flora melitófila de uma área de dunas com vegetação de caatinga, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. *Acta Bot. Bras.* 22(2): 301-312.
- Santos, C.F., Absy, M.L., 2010. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. *Neotrop. Entomol.* 39(6), 854-861.
- Souza, I.M., Coutinho, K., Funch, L.S., 2012. Phenological strategies of *Senna cana* (Nees & Mart.) HS Irwin & Barneby (Fabaceae: Caesalpinioideae) as efficient mechanisms for attracting pollinators. *Acta Bot. Bras.* 26(2), 435-443.
- Steiner, J., Zillikens, A., Kamke, R., Feja, E.P., Falkenberg, D.D.B., 2010. Bees and melittophilous plants of secondary Atlantic forest habitats at Santa Catarina Island, southern Brazil. *Oecologia australis*, 14(1), 16-39.
- Vieira, G.H.D.C., Marchini, L.C., Souza, B.D.A., Moreti, A.C.D.C.C., 2008. Floral sources used by bees (Hymenoptera, Apoidea) in a savannah area of Cassilândia county, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Ciênc. e Agrotecnol.* 32(5), 1454-1460.
- Yamamoto, M., Junqueira, C.N., Barbosa, A.A.A., Augusto, S.C., Oliveira, P.E. (2014). Estimating crop pollinator population using mark-recapture method. *Apidologie*, 45(2), 205-214.
- Zanella, F.C., Melo, G.A.R., Alves-dos-Santos, I., 2003. Abelhas da Estação Ecológica do Seridó (Serra Negra do Norte, RN): aportes ao conhecimento da diversidade, abundância e distribuição espacial das espécies na caatinga. *Apoid. Neotrop. homenagem aos*, 90, 231-240.

A.2 Dados de maracujá (Municípios produtores de maracujá desde 2006 a 2015)

- IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>)

Um total de 11195 municípios brasileiros

Nomes dos municípios brasileiros seguidos pela abreviação dos Estados brasileiros (AC = Acre; AL = Alagoas; AP = Amapá; AM = Amazonas; BA = Bahia; CE = Ceará; DF = Distrito Federal; ES = Espírito Santo; GO = Goiás; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; MS = Mato Grosso do Sul; MG = Minas Gerais; PA = Pará; PB = Paraíba; PR = Paraná; PE = Pernambuco; RJ = Rio de Janeiro; RN = Rio Grande do Norte; RS = Rio Grande do Sul; RO = Rondônia; RR = Roraima; SC = Santa Catarina; SP = São Paulo; SE = Sergipe; TO = Tocantins).

Acrelândia – AC; Assis Brasil – AC; Brasiléia – AC; Bujari – AC; Capixaba – AC; Etipaciolândia – AC; Feijó – AC; Mâncio Lima – AC; Manoel Urbano – AC; Plácido de Castro – AC; Rio Branco – AC; Senador Guimard – AC; Sena Madureira – AC; Tarauacá – AC; Xapuri – AC; Porto Acre – AC;

Coruripe – AL; Japaratinga – AL; Junqueiro – AL; Limoeiro de Anadia – AL; Maragogi – AL; Matriz de Camaragibe – AL; Messias – AL; Penedo – AL; Porto de Pedras – AL; São Luís do Quitunde – AL; São Miguel dos Milagres – AL; Taquarana – AL; Teotônio Vilela – AL;

Calçoene – AP; Laranjal do Jari – AP; Macapá – AP; Mazagão – AP; Oiapoque – AP; Porto Grande – AP; Santana – AP; Vitória do Jari – AP;

Alvarães – AM; Anamã – AM; Anori – AM; Apuí – AM; Atalaia do Norte – AM; Autazes – AM; Barcelos – AM; Barreirinha – AM; Boa Vista do Ramos – AM; Caapiranga – AM; Careiro – AM; Careiro da Várzea – AM; Coari – AM; Codajás – AM; Eirunepé – AM; Envira – AM; Fonte Boa – AM; Humaitá – AM; Iranduba – AM; Itacoatiara – AM; Itapiranga – AM; Japurá – AM; Jutai – AM; Lábrea – AM; Manacapuru – AM; Manaquiri – AM; Manaus – AM; Manicoré – AM; Maraã – AM; Maués – AM; Nhamundá – AM; Nova Olinda do Norte – AM; Novo Airão – AM; Novo Aripuanã – AM; Parintins – AM; Pauini – AM; Presidente Figueiredo – AM; Rio Preto da Eva – AM; Santa Isabel do Rio Negro – AM; São Gabriel da Cachoeira – AM; São Sebastião do Uatumã – AM; Silves – AM; Tapauá – AM; Tefé – AM; Uarini – AM; Urucará – AM;

Acajutiba – BA; Érico Cardoso – BA; Aiquara – BA; Alagoinhas – BA; Alcobaça – BA; Amargosa – BA; Amélia Rodrigues – BA; Anagé – BA; Aporá – BA; Apuarema – BA; Araças – BA; Araci – BA; Aratuípe – BA; Barra da Estiva – BA; Barra do Choça – BA; Barra do Rocha – BA; Barreiras – BA; Belmonte – BA; Biritinga – BA; Boa Nova – BA; Bom Jesus da Lapa – BA; Bonito – BA; Brejões – BA; Cabaceiras do Paraguaçu – BA; Cachoeira – BA; Caetanos – BA; Camacan – BA; Camaçari – BA; Camamu – BA; Campo Formoso – BA; Canarana – BA; Canavieiras – BA; Caravelas – BA; Cardeal da Silva – BA; Casa Nova – BA; Caturama – BA; Coaraci – BA; Conceição da Feira – BA; Conde – BA; Contendas do Sincorá – BA; Cravolândia – BA; Crisópolis – BA; Cruz das Almas – BA; Curaçá – BA; Dário Meira – BA; Dias d'Ávila – BA; Dom Basílio – BA; Elísio Medrado – BA; Encruzilhada – BA; Entre Rios – BA; Esplanada – BA; Eunápolis – BA; Gandu – BA; Glória – BA; Governador Mangabeira – BA; Guanambi – BA; Ibicaraí – BA; Ibipecta – BA; Ibirapitanga – BA; Ibirapuã – BA; Ibirataia – BA; Ibititá – BA; Igrapiúna – BA; Ilhéus – BA; Inhambupe – BA; Ipiaú – BA; Irajuba – BA; Iramaia – BA; Iraquara – BA; Irecê – BA; Itacaré – BA; Itagi – BA; Itagibá – BA; Itajuípe – BA; Itamaraju – BA; Itamari – BA; Itanhém – BA; Itapitanga – BA; Itaquara – BA; Itiruçu – BA; Ituberá – BA; Jaguaquara – BA; Jaguaripe – BA; Jandaíra – BA; Jequié – BA; Jiquiriçá – BA; Jitaúna – BA; João Dourado – BA; Juazeiro – BA; Jussara – BA; Jussiape – BA; Lafaiete Coutinho – BA; Laje – BA; Lajedo do Tabocal – BA; Lamarão – BA; Lençóis – BA; Livramento de Nossa Senhora – BA; Macaúbas – BA; Manoel Vitorino – BA; Maragogipe – BA; Mata de São João – BA; Medeiros Neto – BA; Mirante – BA; Mucugê – BA; Mucuri – BA; Mutuípe – BA; Nilo Peçanha – BA; Nova Canaã – BA; Nova Ibiá – BA; Nova Itarana – BA; Nova Viçosa – BA; Palmeiras – BA; Paramirim – BA; Piraí do Norte – BA; Planaltino – BA; Planalto – BA; Poções – BA; Pojuca – BA; Ponto Novo – BA; Porto Seguro – BA; Prado – BA; Presidente Tancredo Neves – BA; Rio de Contas – BA; Rio do Pires – BA; Rio Real – BA; Ruy Barbosa – BA; Santa Cruz Cabrália – BA; Santa Inês – BA; Santa Luzia – BA; Santo Amaro – BA; Santo Antônio de Jesus – BA; São Desidério – BA; São Felipe – BA; São Gabriel – BA; São Sebastião do Passé – BA; Sapeaçu – BA; Sátiro Dias – BA; Seabra – BA; Sebastião Laranjeiras – BA; Senhor do Bonfim – BA; Sento Sé – BA; Serrinha – BA; Sítio do Mato – BA; Sobradinho – BA; Souto Soares – BA; Tanhaçu – BA; Taperoá – BA; Teixeira de Freitas – BA; Teodoro Sampaio – BA; Teolândia – BA; Tucano – BA; Ubaíra – BA; Ubatã – BA; Una – BA; Uruçuca – BA; Utinga – BA; Valença – BA; Várzea da Roça – BA; Varzedo – BA; Vereda – BA; Vitória da Conquista – BA; Wagner – BA; Wenceslau Guimarães – BA;

Abaiara – CE; Acaraú – CE; Aracati – CE; Aratuba – CE; Assaré – CE; Barbalha – CE; Bela Cruz – CE; Brejo Santo – CE; Canindé – CE; Capistrano – CE; Caririaçu – CE; Carnaubal – CE; Cedro – CE; Crato – CE; Croatá – CE; Frecheirinha – CE; General Sampaio – CE; Guaiúba – CE; Guaraciaba do Norte – CE; Guaramiranga – CE; Ibiapina – CE; Icapuí – CE; Icó – CE; Iguatu – CE; Ipu – CE; Ipueiras – CE; Itaitinga – CE; Jardim – CE; Jati – CE; Juazeiro do Norte – CE; Lavras da Mangabeira – CE; Maracanaú – CE; Maranguape – CE; Marco – CE; Mauriti – CE; Meruoca – CE; Milagres – CE; Missão Velha – CE; Mulungu – CE; Pacatuba – CE; Pacoti – CE; Palmácia – CE; Paracuru – CE; Penaforte – CE; Pires Ferreira – CE; Porteiras – CE; Redenção – CE; Reriutaba – CE; Russas – CE; Santana do Cariri – CE; São Benedito – CE; Tianguá – CE; Ubajara – CE; Viçosa do Ceará – CE;

Brasília – DF;

Afonso Cláudio – ES; Água Doce do Norte – ES; Alegre – ES; Alfredo Chaves – ES; Anchieta – ES; Aracruz – ES; Boa Esperança – ES; Colatina – ES; Conceição da Barra – ES; Domingos Martins – ES; Governador Lindenberg – ES; Guarapari – ES; Iconha – ES; Itapemirim – ES; Itarana – ES; Jaguaré – ES; Laranja da Terra – ES; Linhares – ES; Mantenópolis – ES; Marataízes – ES; Marechal Floriano – ES; Montanha – ES; Mucurici – ES; Muqui – ES; Nova Venécia – ES; Pedro Canário – ES; Pinheiros – ES; Piúma – ES; Presidente Kennedy – ES; Rio Bananal – ES; Rio Novo do Sul – ES; Santa Maria de Jetibá – ES; São Domingos do Norte – ES; São Mateus – ES; Sooretama – ES; Vila Pavão – ES; Vila Valério – ES;

Águas Lindas de Goiás – GO; Alexânia – GO; Anápolis – GO; Bela Vista de Goiás – GO; Campo Alegre de Goiás – GO; Carmo do Rio Verde – GO; Corumbá de Goiás – GO; Faina – GO; Guaraíta – GO; Itapuranga – GO; Luziânia – GO; Santa Isabel – GO; São Domingos – GO; São Patrício – GO; Silvânia – GO; Trindade – GO;

Buritirana – MA; Davinópolis – MA; Imperatriz – MA; Porto Franco – MA; São Luís – MA; Senador La Rocque – MA; Vila Nova dos Martírios – MA;

Alta Floresta – MT; Araguainha – MT; Aripuanã – MT; Brasnorte – MT; Campo Verde – MT; Carlinda – MT; Cláudia – MT; Colniza – MT; Comodoro – MT; Cotriguaçu – MT; Diamantino – MT; Guarantã do Norte – MT; Itanhangá – MT; Juína – MT; Juruena – MT; Marcelândia – MT; Matupá – MT; Nova Brasilândia – MT; Nova Mutum – MT; Nova Ubiratã – MT; Novo Mundo – MT; Novo Horizonte do Norte – MT; Paranaíta – MT; Peixoto de Azevedo – MT; Porto dos Gaúchos – MT; Poxoréo – MT; Santo Afonso – MT; Rosário Oeste – MT; Santo Antônio do Leverger – MT; Sinop – MT; Sorriso – MT; Tabaporã – MT;

Tangará da Serra – MT; Tapurah – MT; Terra Nova do Norte – MT; Tesouro – MT; Nova Guarita – MT; Nova Marilândia – MT; Nova Monte Verde – MT;

Batayporã – MS; Bonito – MS; Ivinhema – MS; Jaraguari – MS; Nova Alvorada do Sul – MS; Ponta Porã – MS; Ribas do Rio Pardo – MS; Sidrolândia – MS; Abadia dos Dourados – MG;

Abaeté – MG; Águas Vermelhas – MG; Aimorés – MG; Alfenas – MG; Amparo do Serra – MG; Cachoeira de Pajeú – MG; Araguari – MG; Araxá – MG; Astolfo Dutra – MG; Augusto de Lima – MG; Baldim – MG; Bambuí – MG; Barbacena – MG; Belmiro Braga – MG; Belo Vale – MG; Biquinhas – MG; Bocaina de Minas – MG; Bocaiúva – MG; Bom Despacho – MG; Bom Jesus do Amparo – MG; Bonfim – MG; Bonfinópolis de Minas – MG; Borda da Mata – MG; Botumirim – MG; Brazópolis – MG; Brumadinho – MG; Bueno Brandão – MG; Cabo Verde – MG; Cajuri – MG; Cambuí – MG; Campanário – MG; Campanha – MG; Campo Belo – MG; Canaã – MG; Capitão Enéas – MG; Carandaí – MG; Caratinga – MG; Careaçú – MG; Carmo do Paranaíba – MG; Carmópolis de Minas – MG; Cascalho Rico – MG; Cataguases – MG; Cedro do Abaeté – MG; Claro dos Poções – MG; Coimbra – MG; Corinto – MG; Coromandel – MG; Coronel Xavier Chaves – MG; Córrego Danta – MG; Córrego Fundo – MG; Cruzeiro da Fortaleza – MG; Cuparaque – MG; Datas – MG; Diamantina – MG; Divinópolis – MG; Divisa Alegre – MG; Dom Cavati – MG; Douradoquara – MG; Engenheiro Caldas – MG; Ervália – MG; Espinosa – MG; Estrela Dalva – MG; Estrela do Sul – MG; Felício dos Santos – MG; Francisco Sá – MG; Frei Gaspar – MG; Gameleiras – MG; Glaucilândia – MG; Gouveia – MG; Guaraciaba – MG; Guarani – MG; Guidoal – MG; Guimarânia – MG; Guiricema – MG; Ibiá – MG; Igarapé – MG; Imbé de Minas – MG; Indaiabira – MG; Indianópolis – MG; Inhapim – MG; Iraí de Minas – MG; Itaguara – MG; Itaipé – MG; Itajubá – MG; Itamarandiba – MG; Itapecerica – MG; Itutinga – MG; Jaboticatubas – MG; Jacuí – MG; Jaíba – MG; Janaúba – MG; Jequitibá – MG; Jequitinhonha – MG; João Pinheiro – MG; Josenópolis – MG; Juramento – MG; Lagoa Dourada – MG; Lagoa Formosa – MG; Lajinha – MG; Lassance – MG; Machado – MG; Manhuaçu – MG; Mantena – MG; Martinho Campos – MG; Mata Verde – MG; Mateus Leme – MG; Matias Cardoso – MG; Mato Verde – MG; Matutina – MG; Medina – MG; Miraí – MG; Moema – MG; Monjolos – MG; Monsenhor Paulo – MG; Monte Alegre de Minas – MG; Monte Carmelo – MG; Montes Claros – MG; Nazareno – MG; Nova Módica – MG; Nova Ponte – MG; Nova Porteirinha – MG; Oliveira – MG; Onça de Pitangui – MG; Paineiras – MG; Pains – MG; Papagaios – MG; Pará de Minas – MG; Paraguaçu – MG;

Paraopeba – MG; Passa Tempo – MG; Patis – MG; Patos de Minas – MG; Patrocínio – MG; Paula Cândido – MG; Pedra Azul – MG; Pedrinópolis – MG; Perdizes – MG; Perdões – MG; Piedade de Caratinga – MG; Piedade dos Gerais – MG; Piracema – MG; Piranguinho – MG; Pirapora – MG; Piraúba – MG; Pocrane – MG; Pompéu – MG; Porteirinha – MG; Poté – MG; Pouso Alegre – MG; Prata – MG; Presidente Olegário – MG; Ressaquinha – MG; Rio Novo – MG; Rio Paranaíba – MG; Rio Pomba – MG; Rodeiro – MG; Romaria – MG; Sacramento – MG; Santa Bárbara do Leste – MG; Santa Bárbara do Tugúrio – MG; Santa Helena de Minas – MG; Santa Juliana – MG; Santana de Pirapama – MG; Santana do Jacaré – MG; Santana do Manhuaçu – MG; Santa Rosa da Serra – MG; Santo Antônio do Amparo – MG; Santo Antônio do Aventureiro – MG; São Domingos das Dores – MG; São Félix de Minas – MG; São Gonçalo do Abaeté – MG; São Gonçalo do Sapucaí – MG; São Gotardo – MG; São João da Lagoa – MG; São João da Ponte – MG; São João del Rei – MG; São João do Oriente – MG; São João Nepomuceno – MG; São Joaquim de Bicas – MG; São José do Divino – MG; São Miguel do Anta – MG; São Sebastião da Vargem Alegre – MG; São Sebastião do Rio Preto – MG; São Vicente de Minas – MG; Senhora dos Remédios – MG; Serra do Salitre – MG; Simonésia – MG; Taiobeiras – MG; Tapiraí – MG; Tarumirim – MG; Tiros – MG; Tocantins – MG; Tombos – MG; Três Marias – MG; Turmalina – MG; Ubá – MG; Ubaporanga – MG; Uberaba – MG; Uberlândia – MG; Unaí – MG; Uruana de Minas – MG; Urucânia – MG; Vargem Alegre – MG; Varjão de Minas – MG; Várzea da Palma – MG; Veríssimo – MG; Viçosa – MG; Virginópolis – MG; Visconde do Rio Branco – MG;

Abaetetuba – PA; Abel Figueiredo – PA; Acará – PA; Alenquer – PA; Almeirim – PA; Altamira – PA; Anapu – PA; Aurora do Pará – PA; Aveiro – PA; Barcarena – PA; Breu Branco – PA; Canaã dos Carajás – PA; Capitão Poço – PA; Castanhal – PA; Concórdia do Pará – PA; Cumarú do Norte – PA; Curionópolis – PA; Currealinho – PA; Curuçá – PA; Faro – PA; Goianésia do Pará – PA; Igarapé-Açu – PA; Inhangapi – PA; Irituia – PA; Itaituba – PA; Itupiranga – PA; Jacundá – PA; Juruti – PA; Mãe do Rio – PA; Magalhães Barata – PA; Marabá – PA; Maracanã – PA; Marapanim – PA; Medicilândia – PA; Moju – PA; Mojuí dos Campos – PA; Monte Alegre – PA; Nova Timboteua – PA; Novo Progresso – PA; Óbidos – PA; Oriximiná – PA; Pacajá – PA; Paragominas – PA; Parauapebas – PA; Rondon do Pará – PA; Santa Isabel do Pará – PA; Santa Maria do Pará – PA; Santarém – PA; Santo Antônio do Tauá – PA; São Domingos do Capim – PA; São Francisco do Pará – PA; São Geraldo do Araguaia – PA; São João da Ponta – PA; São João do Araguaia – PA; Tailândia – PA; Terra

Alta – PA; Terra Santa – PA; Tomé-Açu – PA; Uruará – PA; Vigia – PA; Vitória do Xingu – PA;

Alagoa Nova – PB; Alagoinha – PB; Alhandra – PB; Araçagi – PB; Araruna – PB; Areia – PB; Aroeiras – PB; Baía da Traição – PB; Bananeiras – PB; Barra de São Miguel – PB; Boqueirão – PB; Caaporã – PB; Cabaceiras – PB; Cacimba de Dentro – PB; Capim – PB; Conde – PB; Congo – PB; Cruz do Espírito Santo – PB; Cuité – PB; Cuitegi – PB; Curral de Cima – PB; Esperança – PB; Itapororoca – PB; Jacaraú – PB; Lagoa Seca – PB; Lucena – PB; Mamanguape – PB; Marcação – PB; Mari – PB; Mataraca – PB; Matinhas – PB; Natuba – PB; Nova Floresta – PB; Ouro Velho – PB; Picuí – PB; Pilões – PB; Pitimbu – PB; Prata – PB; Riachão – PB; Rio Tinto – PB; Salgado de São Félix – PB; Santa Rita – PB; Santo André – PB; Sapé – PB; Sumé – PB;

Abatiá – PR; Adrianópolis – PR; Alto Paraná – PR; Anahy – PR; Andirá – PR; Antonina – PR; Apucarana – PR; Arapuã – PR; Ariranha do Ivaí – PR; Assaí – PR; Astorga – PR; Atalaia – PR; Bandeirantes – PR; Barbosa Ferraz – PR; Barra do Jacaré – PR; Boa Esperança do Iguaçu – PR; Boa Ventura de São Roque – PR; Borrazópolis – PR; Braganey – PR; Cafelândia – PR; Cândido de Abreu – PR; Cândói – PR; Capanema – PR; Capitão Leônidas Marques – PR; Carlópolis – PR; Cascavel – PR; Céu Azul – PR; Chopinzinho – PR; Colorado – PR; Congonhinhas – PR; Conselheiro Mairinck – PR; Corbélia – PR; Corumbataí do Sul – PR; Curiúva – PR; Dois Vizinhos – PR; Douradina – PR; Fênix – PR; Floraí – PR; Foz do Iguaçu – PR; Godoy Moreira – PR; Goioerê – PR; Guapirama – PR; Guaporema – PR; Guaraniaçu – PR; Guarapuava – PR; Guaratuba – PR; Ibaiti – PR; Ibiporã – PR; Iguatu – PR; Imbaú – PR; Iretama – PR; Itaipulândia – PR; Ivaiporã – PR; Ivaté – PR; Jaboti – PR; Jacarezinho – PR; Japira – PR; Jataizinho – PR; Jesuítas – PR; Joaquim Távora – PR; Jundiá do Sul – PR; Kaloré – PR; Lidianópolis – PR; Londrina – PR; Lunardelli – PR; Lupionópolis – PR; Mandaguaçu – PR; Mandaguari – PR; Maria Helena – PR; Marialva – PR; Marilena – PR; Maringá – PR; Marumbi – PR; Medianeira – PR; Missal – PR; Moreira Sales – PR; Morretes – PR; Munhoz de Melo – PR; Nova Aliança do Ivaí – PR; Nova América da Colina – PR; Nova Aurora – PR; Nova Esperança – PR; Nova Fátima – PR; Nova Olímpia – PR; Nova Santa Bárbara – PR; Nova Prata do Iguaçu – PR; Nova Tebas – PR; Novo Itacolomi – PR; Ortigueira – PR; Paiçandu – PR; Paraíso do Norte – PR; Paranavaí – PR; Peabiru – PR; Pérola d'Oeste – PR; Pinhalão – PR; Planalto – PR; Prudentópolis – PR; Quatiguá – PR; Quinta do Sol – PR; Reserva – PR; Roncador – PR; Rondon – PR; Rosário do Ivaí – PR; Salto do Itararé – PR; Salto do Lontra – PR; Santa Lúcia – PR; Santana do Itararé – PR; Santa

Tereza do Oeste – PR; Santa Terezinha de Itaipu – PR; Santo Antônio da Platina – PR; São Jerônimo da Serra – PR; São João do Ivaí – PR; São Jorge do Ivaí – PR; São Jorge do Patrocínio – PR; São José da Boa Vista – PR; São Manoel do Paraná – PR; São Miguel do Iguaçu – PR; São Pedro do Ivaí – PR; São Sebastião da Amoreira – PR; Siqueira Campos – PR; Tapira – PR; Telêmaco Borba – PR; Tibagi – PR; Tomazina – PR; Três Barras do Paraná – PR; Umuarama – PR; Uraí – PR; Wenceslau Braz – PR; Vera Cruz do Oeste – PR; Doutor Ulysses – PR; Xambrê – PR;

Aliança – PE; Barreiros – PE; Belém do São Francisco – PE; Bom Conselho – PE; Bom Jardim – PE; Brejão – PE; Brejinho – PE; Cabrobó – PE; Carnaíba – PE; Carnaubeira da Penha – PE; Catende – PE; Condado – PE; Goiana – PE; Ingazeira – PE; Itapetim – PE; Itaquitinga – PE; Jupi – PE; Lagoa dos Gatos – PE; Lagoa Grande – PE; Orocó – PE; Panelas – PE; Passira – PE; Petrolândia – PE; Petrolina – PE; Quipapá – PE; Santa Filomena – PE; Santa Maria da Boa Vista – PE; Santa Terezinha – PE; São Benedito do Sul – PE; São Caitano – PE; São José do Belmonte – PE; São José do Egito – PE; São Vicente Ferrer – PE; Solidão – PE; Tabira – PE; Tacaimbó – PE; Tacaratu – PE; Timbaúba – PE; Tuparetama – PE; Vicência – PE;

Guadalupe – PI; Inhuma – PI; Santa Rosa do Piauí – PI;

Araruama – RJ; Bom Jardim – RJ; Cachoeiras de Macacu – RJ; Campos dos Goytacazes – RJ; Duas Barras – RJ; Duque de Caxias – RJ; Guapimirim – RJ; Iguaba Grande – RJ; Itaboraí – RJ; Itaocara – RJ; Macaé – RJ; Magé – RJ; Quissamã – RJ; Rio Bonito – RJ; Rio de Janeiro – RJ; Santa Maria Madalena – RJ; São Francisco de Itabapoana – RJ; São Gonçalo – RJ; São José do Vale do Rio Preto – RJ; Saquarema – RJ; Sumidouro – RJ; Trajano de Moraes – RJ; Vassouras – RJ; Volta Redonda – RJ;

Acari – RN; Bodó – RN; Cerro Corá – RN; Coronel Ezequiel – RN; Cruzeta – RN; Jaçanã – RN; Jundiá – RN; Lagoa de Pedras – RN; Lagoa Nova – RN; Lagoa Salgada – RN; Monte das Gameleiras – RN; Mossoró – RN; Pureza – RN; São Bento do Trairí – RN; São Gonçalo do Amarante – RN; São José de Mipibu – RN; São Tomé – RN; São Vicente – RN; Senador Elói de Souza – RN; Serra de São Bento – RN; Serrinha – RN; Sítio Novo – RN; Tibau do Sul – RN; Vera Cruz – RN;

Arroio do Sal – RS; Dom Pedro de Alcântara – RS; Glorinha – RS; Itati – RS; Linha Nova – RS; Mampituba – RS; Maquiné – RS; Morrinhos do Sul – RS; Osório – RS; Santo Antônio da Patrulha – RS; Terra de Areia – RS; Torres – RS; Três Cachoeiras – RS; Três Forquilhas – RS;

Alta Floresta D'Oeste – RO; Cacoal – RO; Colorado do Oeste – RO; Corumbiara – RO; Costa Marques – RO; Espigão D'Oeste – RO; Guajará-Mirim – RO; Ji-Paraná – RO; Machadinho D'Oeste – RO; Nova Brasilândia D'Oeste – RO; Pimenta Bueno – RO; Porto Velho – RO; Presidente Médici – RO; Rolim de Moura – RO; São Miguel do Guaporé – RO; Nova Mamoré – RO; Alto Alegre dos Parecis – RO; Alto Paraíso – RO; Buritis – RO; Novo Horizonte do Oeste – RO; Candeias do Jamari – RO; Castanheiras – RO; Chupinguaia – RO; Governador Jorge Teixeira – RO; Ministro Andreazza – RO; Parecis – RO; São Felipe D'Oeste – RO; Seringueiras – RO; Theobroma – RO; Urupá – RO; Vale do Anari – RO; Vale do Paraíso – RO;

Bonfim – RR; Caroebe – RR; Iracema – RR; Mucajá – RR; Normandia – RR; Pacaraima – RR; Rorainópolis – RR; São Luiz – RR;

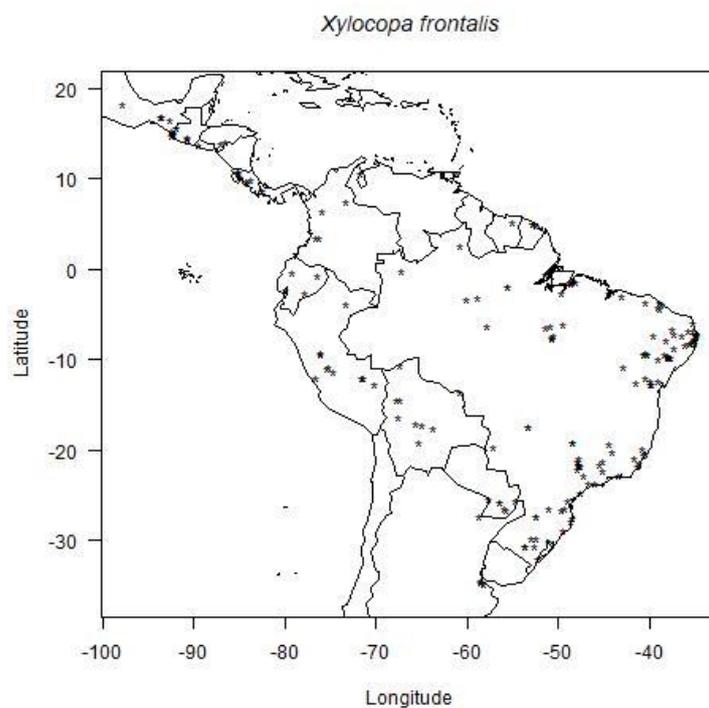
Águas Mornas – SC; Antônio Carlos – SC; Araquari – SC; Araranguá – SC; Balneário Gaivota – SC; Biguaçu – SC; Capivari de Baixo – SC; Criciúma – SC; Ermo – SC; Forquilha – SC; Governador Celso Ramos – SC; Guaramirim – SC; Içara – SC; Jacinto Machado – SC; Maracajá – SC; Massaranduba – SC; Palhoça – SC; Passo de Torres – SC; Pedras Grandes – SC; Praia Grande – SC; Presidente Getúlio – SC; Rio dos Cedros – SC; Santa Rosa do Sul – SC; Santo Amaro da Imperatriz – SC; São João do Sul – SC; São Pedro de Alcântara – SC; Schroeder – SC; Sombrio – SC; Tijucas – SC; Treze de Maio – SC; Trombudo Central – SC; Urussanga – SC;

Adamantina – SP; Alfredo Marcondes – SP; Altinópolis – SP; Alto Alegre – SP; Álvares Machado – SP; Álvaro de Carvalho – SP; Amparo – SP; Analândia – SP; Angatuba – SP; Apiaí – SP; Araçoiaba da Serra – SP; Atibaia – SP; Avaré – SP; Barão de Antonina – SP; Bragança Paulista – SP; Caiuá – SP; Cajati – SP; Cajobi – SP; Campina do Monte Alegre – SP; Campinas – SP; Capão Bonito – SP; Capela do Alto – SP; Cedral – SP; Conchal – SP; Corumbataí – SP; Descalvado – SP; Divinolândia – SP; Dracena – SP; Echaporã – SP; Eldorado – SP; Elias Fausto – SP; Emilianópolis – SP; Fernando Prestes – SP; Fernão – SP; Flórida Paulista – SP; Gabriel Monteiro – SP; Gália – SP; Garça – SP; Getulina – SP; Guaimbê – SP; Guapiara – SP; Guaraçai – SP; Guarantã – SP; Guararema – SP; Guareí – SP; Guarujá – SP; Iacri – SP; Indaiatuba – SP; Indiana – SP; Inúbia Paulista – SP; Irapuru – SP; Itaberá – SP; Itanhaém – SP; Itapetininga – SP; Itapeva – SP; Itapira – SP; Itararé – SP; Itirapina – SP; Itobi – SP; Jacareí – SP; Jacupiranga – SP; Jales – SP; Jequara – SP; Júlio Mesquita – SP; Jundiá – SP; Louveira – SP; Lucélia – SP; Lucianópolis – SP; Lupércio – SP; Mariápolis – SP; Mirandópolis – SP; Mogi das Cruzes – SP; Mogi Guaçu – SP; Mombuca –

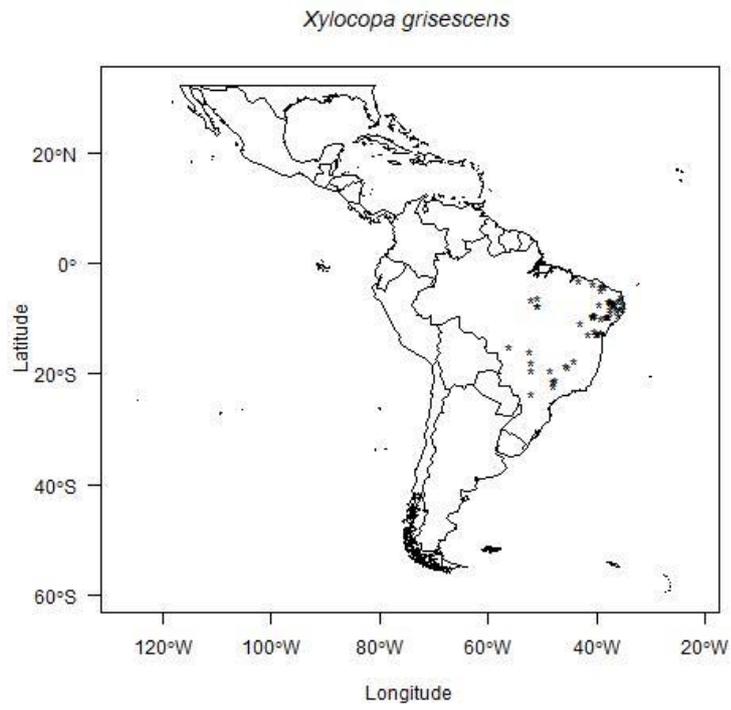
SP; Monte Alto – SP; Morungaba – SP; Narandiba – SP; Nova Aliança – SP; Nova Campina – SP; Ocauçu – SP; Osvaldo Cruz – SP; Ouro Verde – SP; Pacaembu – SP; Paraibuna – SP; Paranapanema – SP; Parapuã – SP; Pariquera-Açu – SP; Pedro de Toledo – SP; Peruíbe – SP; Pilar do Sul – SP; Pindamonhangaba – SP; Pinhalzinho – SP; Piracicaba – SP; Porangaba – SP; Porto Feliz – SP; Pracinha – SP; Presidente Bernardes – SP; Presidente Epitácio – SP; Presidente Venceslau – SP; Quadra – SP; Rafard – SP; Ribeira – SP; Ribeirão Branco – SP; Ribeirão Grande – SP; Rinópolis – SP; Rio Claro – SP; Sagres – SP; Salmourão – SP; Sandovalina – SP; Santa Adélia – SP; Santa Salete – SP; São Carlos – SP; São João da Boa Vista – SP; São José do Rio Pardo – SP; São Miguel Arcanjo – SP; São Pedro do Turvo – SP; Sarapuí – SP; Sete Barras – SP; Sorocaba – SP; Tambaú – SP; Tapiratiba – SP; Taquaritinga – SP; Taquarivaí – SP; Tupã – SP; Tupi Paulista – SP; Ubirajara – SP; Urânia – SP; Vargem – SP; Vera Cruz – SP; Vinhedo – SP;

Araúá – SE; Areia Branca – SE; Boquim – SE; Canindé de São Francisco – SE; Cristinápolis – SE; Estância – SE; Indiaroba – SE; Itabaiana – SE; Itabaianinha – SE; Itaporanga d'Ajuda – SE; Japoatã – SE; Lagarto – SE; Malhador – SE; Moita Bonita – SE; Neópolis – SE; Poço Redondo – SE; Propriá – SE; Riachão do Dantas – SE; Salgado – SE; Santa Luzia do Itanhy – SE; Santana do São Francisco – SE; São Domingos – SE; Tobias Barreto – SE; Tomar do Geru – SE; Umbaúba – SE;

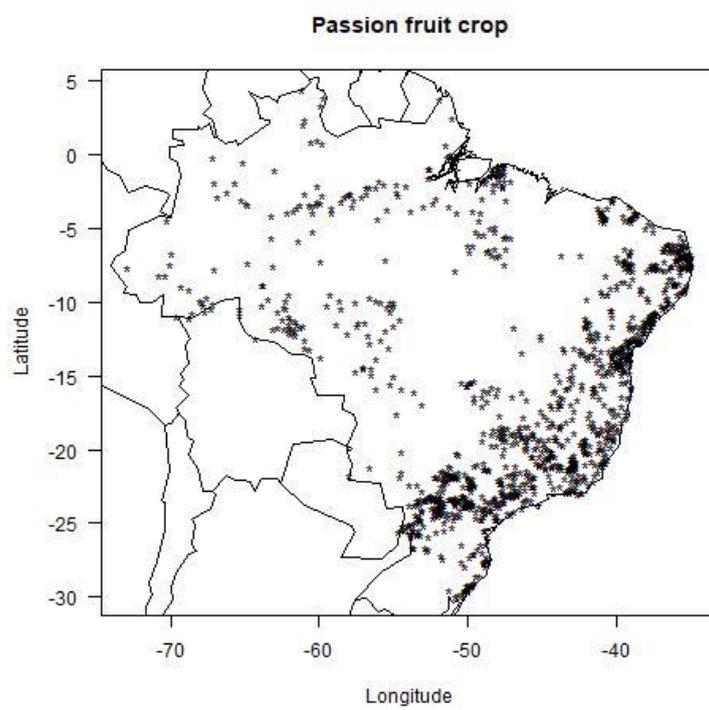
Ananás – TO; Araguanã – TO; Darcinópolis – TO; Dianópolis – TO; Filadélfia – TO; Piraquê – TO; Wanderlândia – TO; Xambioá – TO.

B. Mapas dos pontos de ocorrência de abelhas *Xylocopa* e cultura do maracujazeiro.**B.1 Pontos de ocorrência de *Xylocopa frontalis***

B.2 Pontos de ocorrência de *Xylocopa grisescens*



B.3 Pontos de ocorrência da cultura do maracujazeiro



C. Valores de AUC (Area Under Curve) dos modelos pelo Dismo usando MaxEnt.

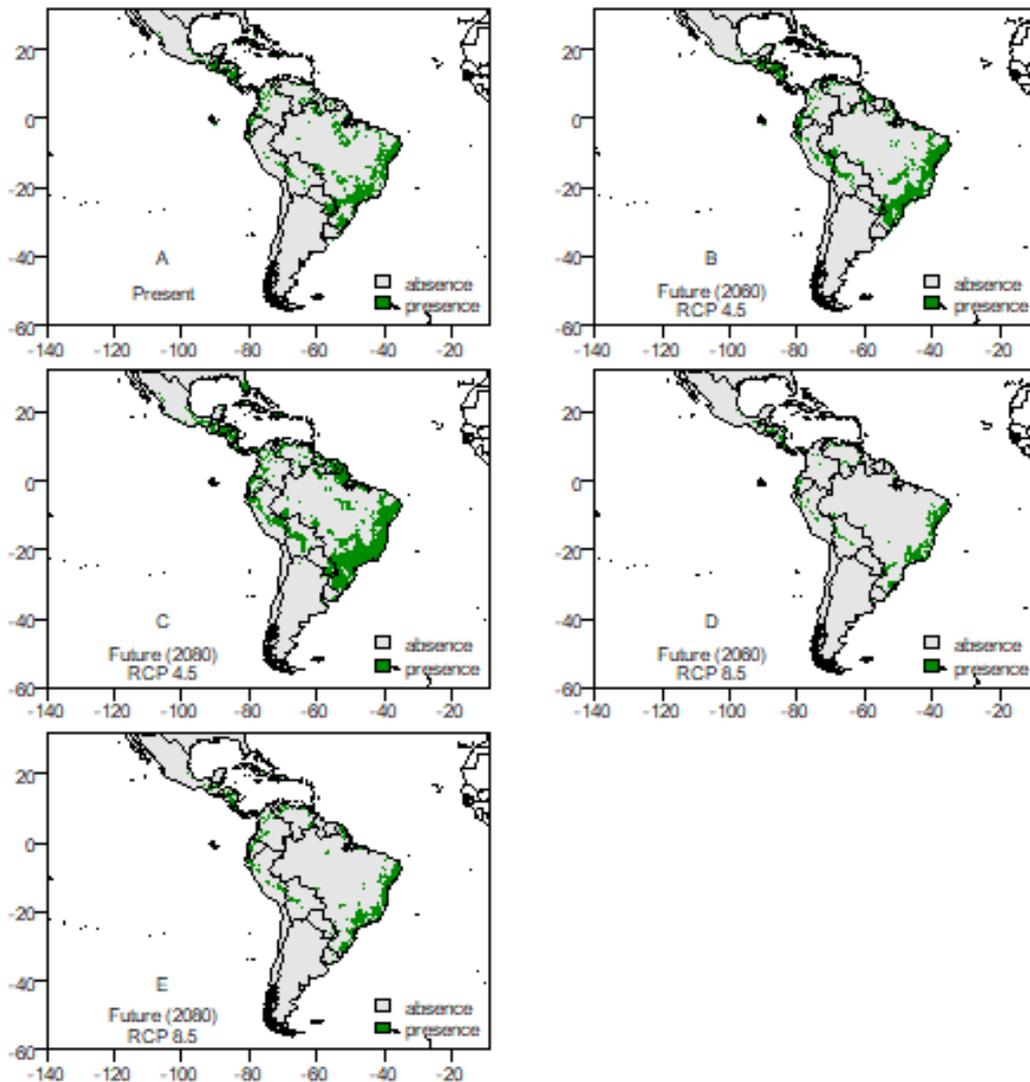
Table C1 – Os valores de AUC e ponto de corte (*cutoff - threshold*) pela Maximum Entropy (MaxEnt) para cada espécie. *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa grisescens* cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*)

Scenarios		Species		
		<i>Xylocopa frontalis</i>	<i>Xylocopa grisescens</i>	Passion fruit crop
Current	AUC	0.9245	0.9475	0.9218
	Cutoff	0.4235	0.2579	0.1957
RCP 4.5 (2060)	AUC	0.9111	0.9614	0.8981
	Cutoff	0.3864	0.1433	0.2834
RCP 4.5 (2080)	AUC	0.9222	0.9425	0.9172
	Cutoff	0.2865	0.2016	0.2995
RCP 8.5 (2060)	AUC	0.9222	0.9621	0.9024
	Cutoff	0.5355	0.1756	0.2566
RCP 8.5 (2080)	AUC	0.9122	0.9689	0.9124
	Cutoff	0.4824	0.2189	0.4043

APÊNDICE B - MAPAS DE PRESENÇA, AUSÊNCIA E DE SOBREPOSIÇÃO DE ABELHAS *XYLOCOPA FRONTALIS*, *XYLOCOPA GRISESCENS* E CULTURA DO MARACUJAZEIRO (*PASSIFLORA EDULIS* SIMS F. *FLAVICARPA*) NOS CENÁRIOS ATUAIS, MODERADOS (RCP 4.5) E PESSIMISTA (RCP 8.5) NOS ANOS DE 2060 E 2080.

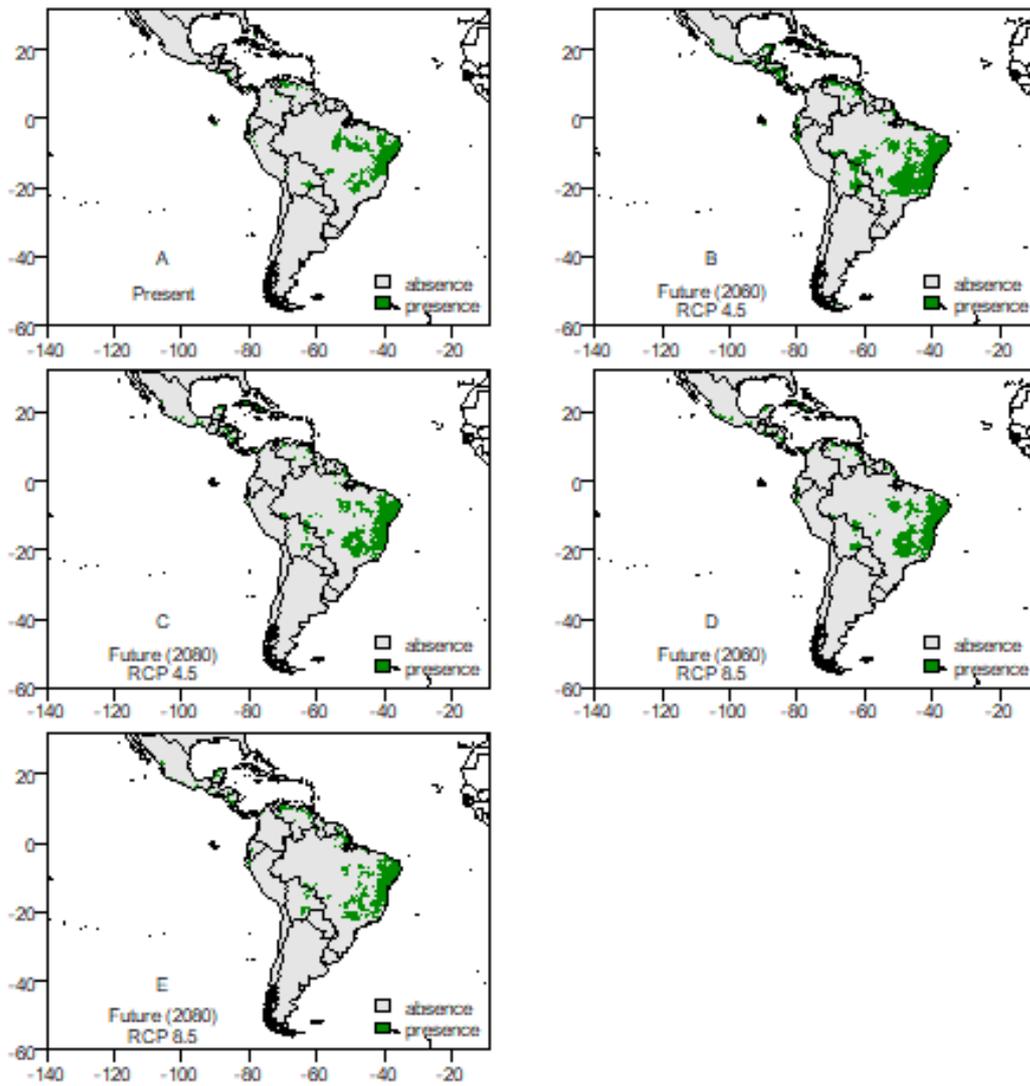
A. Mapas de presença e ausência

A.1 *Xylocopa frontalis*



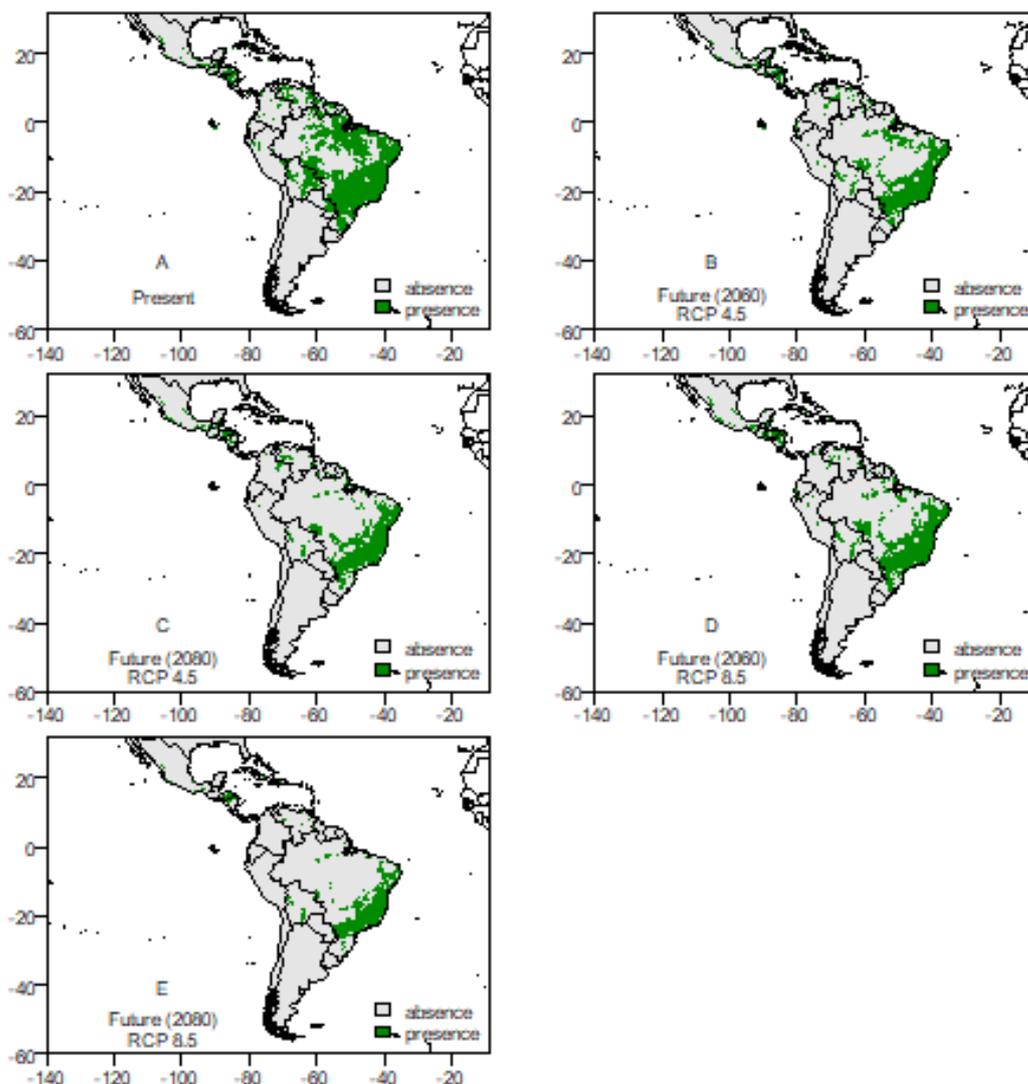
Os mapas de presença e ausência nos cenários atuais, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080 mostram as áreas de distribuição espacial de *X. frontalis* na

região neotropical. Quando comparados os mapas do cenário atual com os de cenário future para ambos os anos, existe uma redução de áreas da amplitude de espécies de 47,95% e 29,03% nos cenários pessimistas (RCP 8.5, 2060 e 2080, respectivamente). O cenário moderado poderá haver um aumento de até 59,70 na distribuição espacial da espécie, contudo, a potencial área perdida poderá ser entre 15,48% a 57,71% nos cenários futuros.

A.2 *Xylocopa grisescens*

Os mapas de presença e ausência nos cenários atuais, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080 mostram as áreas de distribuição espacial de *Xylocopa grisescens* na região neotropical. Quando comparados os mapas do cenário atual com os de cenário future para ambos os anos, a área potencial perdida para a espécie poderá ser de 15,41% e 27,81% no cenário moderado (RCP 4.5, 2060 e 2080, respectivamente), de 23,52% e 35,32% no cenários pessimistas (RCP 8.5, 2060 e 2080, respectivamente). As previsões dos modelos mostraram que as espécie poderá aumentar em até 115,02% a sua amplitude de áreas potenciais presenças

A.3 Cultura do maracujazeiro

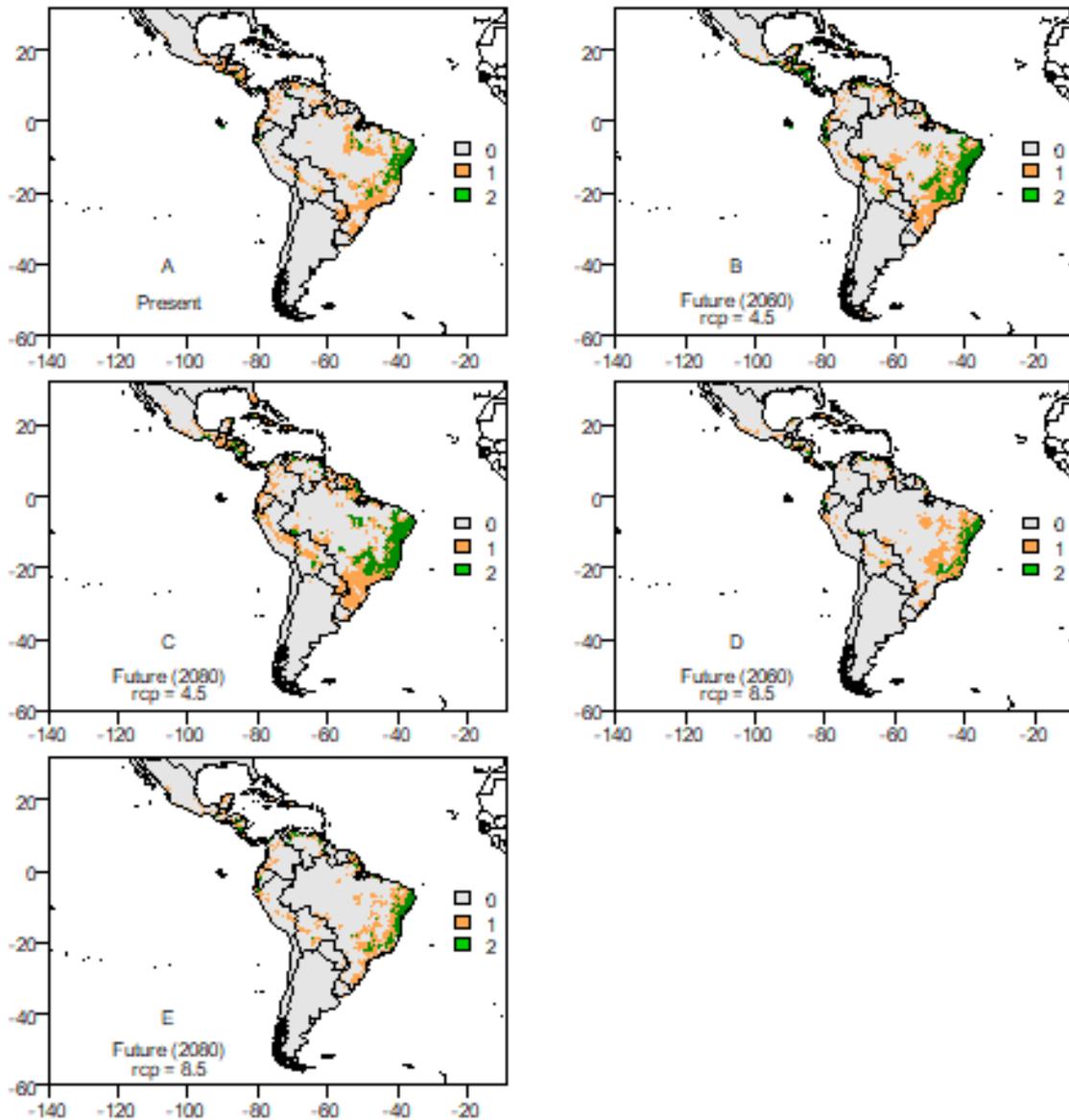


Os mapas de presença e ausência nos cenários atuais, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080 mostram as áreas adequadas para o cultivo da cultura do maracujá na região neotropical. As mudanças climáticas poderá prejudicar a cultura do maracujazeiro devido as futuras condições climaticas que mudará as áreas adequadas para implantação dos pomares da cultura. Quando comparados os cenários atuais com os cenários futuros para ambos os anos, as áreas adequadas irão reduzir em todos os cenários, principalmente, no cenário pessimista (RCP 8.8, 2080), as quais reduzirão até 63,67%. A

perda de área potencial para o cultivo da cultura do maracujazeiro será entre 42,90% a 64,86%.

B. Mapas de sobreposição

B.1 Mapas de sobreposição de abelhas *Xylocopa*

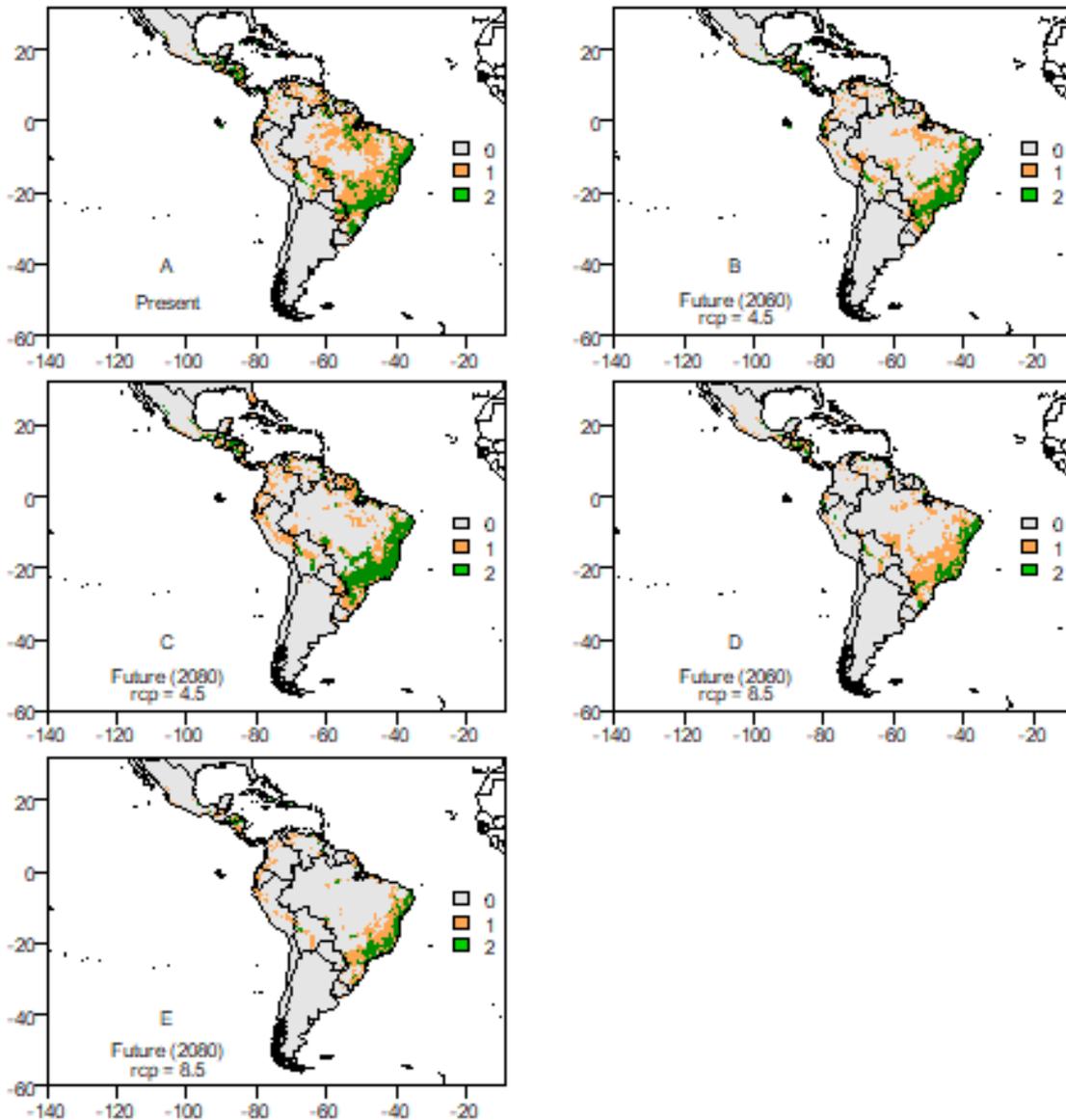


Legendas: 0 – área de ocorrência para nenhuma das espécies; 1 – área de ocorrência para pelo menos uma das espécies; 2- área de ocorrência para as duas espécies.

Os mapas de sobreposição das abelhas *Xylocopa* na região neotropical mostram a distribuição espacial das espécies nos cenários atual, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080. Área de potencial ocorrência de *X. frontalis*. Atual= Atual = 761755,5 km²; RCP 4.5 (2060) = 825264,0 km²; RCP 4,5 (2080) = 1216566,0 km²; RCP 8,5 (2060) =

396499,5 km²; RCP 8,5 (2080) = 540616,5 km²; Área de potencial ocorrência para *X. grisescens*. Atual= 410148,0 km²; RCP 4.5 (2060) = 881883,0 km²; RCP 4.5 (2080) = 580590,0 km²; RCP 8.5 (2060) = 597145,5 km²; RCP 8.5 (2080) = 493533,0 km².

B.2 Mapas de sobreposição de *Xylocopa frontalis* e a cultura do maracujazeiro

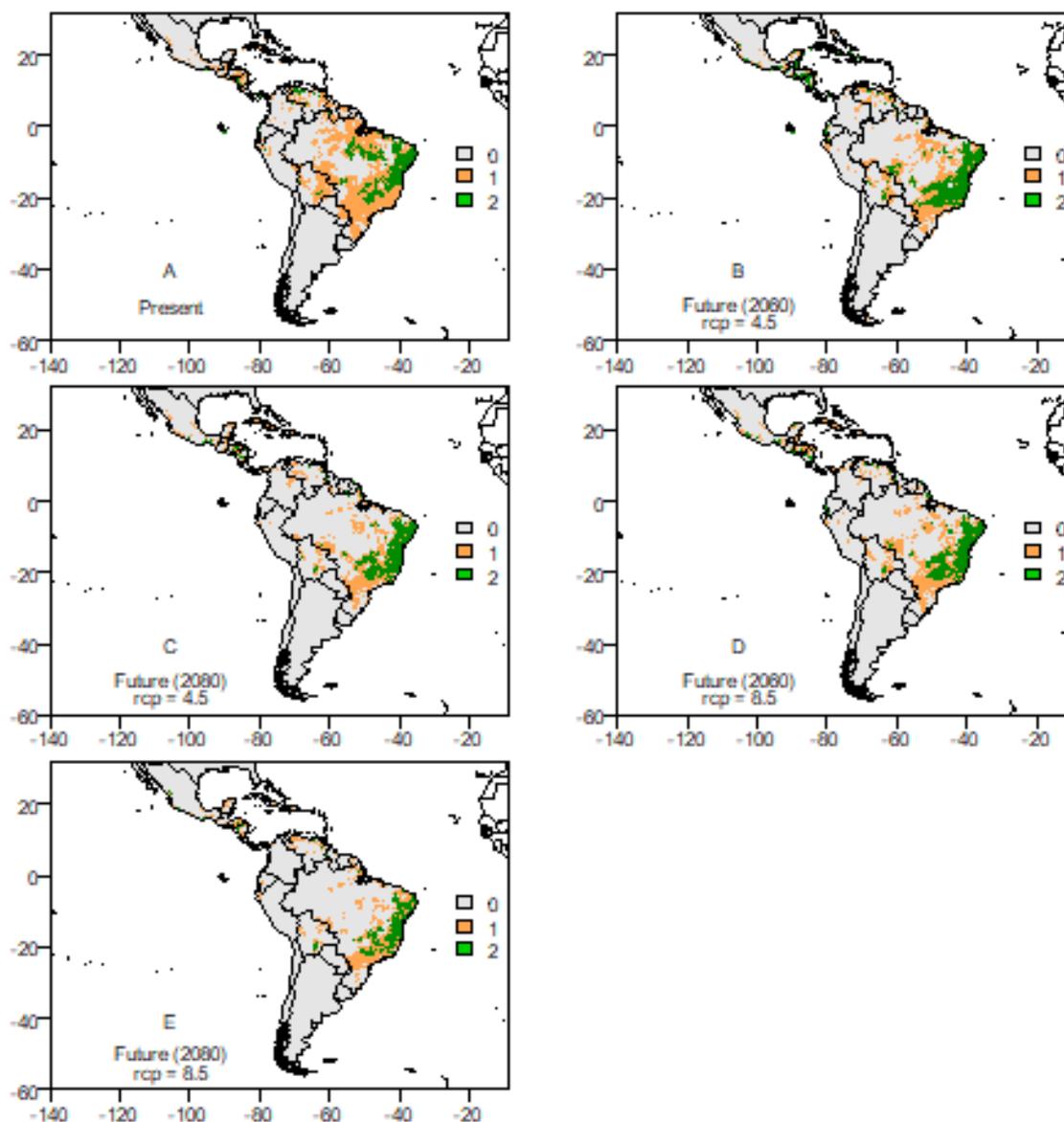


Legendas: 0 – área de ocorrência para nenhuma das espécies; 1 – área de ocorrência para pelo menos uma das espécies; 2- área de ocorrência para as duas espécies.

Os mapas de sobreposição das abelhas *Xylocopa frontalis* com a cultura do maracujazeiro na região neotropical mostram a distribuição espacial das espécies nos cenários atual, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080. Áreas adequadas para o cultivo da

cultura do maracujá. Atual = 1,469,151.0 km²; RCP 4.5 (2060) = 895,765.5 km²; RCP 4.5 (2080) = 765,355.5 km²; RCP 8.5 (2060) = 932,044.5 km²; RCP 8.5 (2080) = 533,700.0 km²;
Área de potencial ocorrência de *X. frontalis*. Atual= Atual = 761755,5 km²; RCP 4.5 (2060) = 825264,0 km²; RCP 4,5 (2080) = 1216566,0 km²; RCP 8,5 (2060) = 396499,5 km²; RCP 8,5 (2080) = 540616,5 km²;

B.3 Mapas de sobreposição de *Xylocopa grisescens* e a cultura do maracujazeiro



Legendas: 0 – área de ocorrência para nenhuma das espécies; 1 – área de ocorrência para pelo menos uma das espécies; 2- área de ocorrência para as duas espécies.

Os mapas de sobreposição das abelhas *Xylocopa frontalis* com a cultura do maracujazeiro na região neotropical mostram a distribuição espacial das espécies nos cenários atual, moderado (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) nos anos de 2060 e 2080. Áreas adequadas para o cultivo da cultura do maracujá. Atual = 1,469,151.0 km²; RCP 4.5 (2060) = 895,765.5 km²; RCP 4.5

(2080) = 765,355.5 km²; RCP 8.5 (2060) = 932,044.5 km²; RCP 8.5 (2080) = 533,700.0 km²;
Área de potencial ocorrência para *X. grisescens*. Atual= 410148,0 km²; RCP 4.5 (2060) =
881883,0 km²; RCP 4.5 (2080) = 580590,0 km²; RCP 8.5 (2060) = 597145,5 km²; RCP 8.5
(2080) = 493533,0 km².