

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

EVERTON SILVA BRAGA

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier,
1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) NO BRASIL E SEU POSSÍVEL USO PARA
INCREMENTO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ**

Everton Silva Braga

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier,
1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) NO BRASIL E SEU POSSÍVEL USO PARA
INCREMENTO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Mestre em Ciências
Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas.
Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Marina Wolowski Torres

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central – Campus Sede

Braga, Everton Silva
B813d Distribuição potencial de *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier,
1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) no Brasil e seu possível uso para
incremento da produção de café / Everton Silva Braga. – Alfenas, MG, 2020.
90 f.: il. –

Orientadora: Marina Wolowski Torres.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de
Alfenas, 2020.
Bibliografia.

1. Apifauna. 2. *Coffea arabica* L. 3. Conservação. 4. Agricultura. 5.
polinização. I. Torres, Marina Wolowski. II. Título.

CDD- 633.73

EVERTON SILVA BRAGA

DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Insecta Hymenoptera Apidae) NO BRASIL E SEU POSSÍVEL USO PARA INCREMENTO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 27 de agosto de 2020

Profa. Dra. Marina Wolowski Torres
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Melissa Vieira Leite
Instituição: Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado

Profa. Dra. Leda Gonçalves Fernandes
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais



Documento assinado eletronicamente por **Marina Wolowski Torres, Professor do Magistério Superior**, em 27/08/2020, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lêda Gonçalves Fernandes, Usuário Externo**, em 27/08/2020, às 11:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MELISSA VIEIRA LEITE, Usuário Externo**, em 27/08/2020, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0363849** e o código CRC **8707BD56**.

Dedico a meus pais que acreditaram, me incentivaram e foram a base de apoio ao longo de todo o processo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, em todos os momentos, por não me deixar desanimar me dando inspiração e forças diante das dificuldades;

À Prof. Dra. Marina Wolowski Torres, pela orientação, pela confiança, pela transmissão dos seus conhecimentos e pela disponibilidade em me atender;

À Prof. Dra. Erica Hasui, pela disposição em me atender e importante ajuda em algumas etapas;

À Prof. Dra. Natália da Silva Martins Fonseca pelas contribuições com a estatística;

Ao André Luiz da Silva Bellini pelas contribuições com o uso do Qgis;

Ao Dr. Liedison Carneiro da Costa pela ajuda na identificação de abelhas;

À Universidade Federal de Alfenas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade, excelência e qualidade do curso;

A todos os docentes que contribuíram com seus conhecimentos transmitidos;

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento à Pós-Graduação e pela concessão da bolsa de mestrado (número do processo: 88882.429888/2019-01);

Aos colegas do Laboratório de Botânica e do Laboratório BIOGEN da UNIFAL-MG, em especial aos estagiários que me ajudaram em algumas etapas do experimento;

Aos colegas e discentes do mestrado pelo apoio e convívio diário;

Aos proprietários de terras que cederam suas propriedades, informações e conhecimento para a realização do experimento;

A meus pais Inácio Elias Braga e Maria Aparecida Silva Braga, meu irmão Ezequiel Silva Braga e minha namorada Mireli Silva Anselmo pelo apoio, incentivo, compreensão e ajuda durante algumas etapas do trabalho;

A todos os meus familiares que me apoiaram e acreditaram na pesquisa;

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização dessa pesquisa, meus sinceros agradecimentos!

Toda a nossa ciência comparada com a realidade, é primitiva e infantil - e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.

(ABERT EINSTEIN, 1972)

RESUMO

Entender os fatores ambientais que explicam a distribuição de espécies é importante para subsidiar ações de conservação e manejo, sobretudo no atual cenário de redução e fragmentação de habitat. *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 é uma subespécie de abelha nativa com ocorrência nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul do país. Esta espécie atua como polinizadora de várias culturas agrícolas, incluindo o café, com potencial de ser manejada para aumento de produção. Neste estudo, tivemos como objetivos: i) avaliar a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil sobrepondo com os remanescentes florestais de Mata Atlântica (capítulo 1) e; ii) avaliar o possível uso de *M. quadrifasciata anthidioides* na polinização da flor do cafeeiro para incremento na produção de café (capítulo 2). Para isso, no capítulo 1, foram obtidos dados de ocorrência da espécie a partir de bases de dados e usados no modelo MaxEnt com variáveis ambientais para produzir um mapa de distribuição potencial. Em seguida, outro mapa com a distribuição regional foi produzido em sobreposição com os remanescentes florestais de Mata Atlântica. O modelo de distribuição potencial teve excelente acurácia (AUC=0,963) indicando que *M. quadrifasciata anthidioides* prefere áreas com temperaturas mais regulares, com altitudes mais elevadas e locais mais úmidos. Além disso, os remanescentes florestais de Mata Atlântica são importantes para garantir locais de nidificação e recursos alimentares para esta subespécie. No capítulo 2, o possível uso de *M. quadrifasciata anthidioides* foi avaliado a partir da introdução de caixas ninho em áreas de cultivos de café durante a florada. Para isso, foi comparada a taxa de frutificação e o tamanho e peso das sementes entre ramos de café que ficaram expostos a visitantes florais e ramos que foram isolados ainda em botões florais (exclusão). O efeito da densidade de ninhos de abelhas nativas no entorno dos cultivos e a distância dos remanescentes florestais também foram avaliados no modelo como fatores importantes que poderiam explicar as variáveis de resposta. O acesso de visitantes florais aumentou a taxa de frutificação em 46% ($p < 0,001$), o peso em 5% ($p = 0,025$) e o tamanho das sementes em 3% ($p < 0,001$). O manejo de *M. quadrifasciata anthidioides* aumentou a taxa de frutificação em 19% ($p < 0,001$), o peso em 35% ($p < 0,001$) e o tamanho das sementes em 10% ($p < 0,001$). Além disso, a densidade de ninhos no entorno dos cultivos contribuiu para o aumento da taxa de frutificação em 28% ($p < 0,001$), o peso em 24% ($p < 0,001$) e o tamanho das sementes em 6% ($p < 0,001$). A distância foi um fator de variação significativa para taxa de frutificação ($p < 0,001$) e peso das sementes ($p < 0,001$) com incremento de 25% e 23%, respectivamente. Assim, verificamos o possível uso de caixas-ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* para manejo de polinizadores para melhorar a produção de café, respeitando-se o seu uso em áreas em que a subespécie ocorre naturalmente. Ainda, os remanescentes florestais são importantes para conservar a diversidade de abelhas nativas e melhorar a produção de café. A subespécie é de grande importância ecológica e econômica e deve ser conservada em seu habitat natural podendo ser de grande potencial para melhorar a produção de café na principal região produtora do país, o Sul de Minas Gerais, ou ser manejada para incrementar a produção.

Palavras-chave: apifauna. *Coffea arabica* L. conservação. agricultura. polinização.

ABSTRACT

The geographical distribution of *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 is known, however, its potential distribution can be better understood. Pollinators are essential to agricultural production including coffee growing. However, there are no studies in the literature on the management of *M. quadrifasciata anthidioides* in coffee crops. Therefore, this study aimed to evaluate: i) the potential distribution of *M. quadrifasciata anthidioides* in Brazil and overlap with the remnants of the Atlantic Forest at the regional level (chapter 1); ii) the possible use of *M. quadrifasciata anthidioides* in the pollination of the coffee flower and its effects on coffee production (chapter 2). For that, in chapter 1, data of occurrence of the species of databases in the MaxEnt model with environmental variables were used, in order to create a map of potential distribution, and later another map with the regional distribution superimposed on the remnants of the Atlantic Forest a regional level. The model obtained an excellent classification (AUC = 0.963). The results indicated that *Melipona quadrifasciata anthidioides* prefers areas with more regular temperatures, but with higher altitudes and more humid places. In chapter 2, the possible use of *M. quadrifasciata anthidioides* was evaluated from the introduction of nest boxes in coffee growing areas during flowering. For this purpose, the effect of excluding floral visitors on the rate of fruiting and on the production and weight of grains was also considered, as well as the effect of the density of native bee nests in the vicinity of crops and the distance from forest remnants. Pollinator access increased by 46% in the fruiting rate ($p < 0.001$), in weight 5% ($p = 0.025$) and fruit size 3% ($p < 0.001$). The results showed that the management of *M. quadrifasciata anthidioides* improved the production, since the unmanaged areas decreased the fruits ($p < 0.001$) the size ($p < 0.001$) and the weight ($p < 0.001$). Management increased the fruiting rate 19%, weight 35% and size 10%. In addition, the density of nests around the crops contributed to an increase in the rate of fruiting by 28% ($p < 0.001$), weight 24% ($p < 0.001$) and size 6% of the seeds ($p < 0.001$). The distance was a significant variation factor for fruiting rate ($p < 0.001$) and seed weight ($p < 0.001$) increasing by 25% and 23% respectively. Finally, the forest remnants are important to conserve the diversity of pollinators and to improve coffee production. Nest boxes of *M. quadrifasciata anthidioides* can be managed to improve coffee production. Forest remnants are important, harboring several coffee pollinators, including *M. quadrifasciata anthidioides*. The species is of great ecological and economic importance and needs to be preserved in its natural habitat and can be of great importance to improve coffee production in the main producing region of the country, the South of Minas Gerais, or be managed for further improvement in production.

Keywords: apifauna. *Coffea arabica* L. conservation. management. pollination.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1 – DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL <i>Melipona quadrifasciata anthidioides</i> Lepeletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) NO BRASIL	4
CAPÍTULO 2 - POSSÍVEL USO DE <i>Melipona quadrifasciata anthidioides</i> Lepeletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) PARA INCREMENTO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ	24
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1 INTRODUÇÃO GERAL

A polinização é um processo fundamental para a manutenção de grande parte da biodiversidade, caracterizada pela transferência de pólen necessária para a reprodução de inúmeras espécies vegetais (FERREIRA *et al.*, 2009). Muitas espécies de plantas são dependentes de animais polinizadores como vetores de pólen para que ocorra a polinização (KLEIN *et al.*, 2007). A polinização cruzada proporciona o aumento da variabilidade genética, podendo melhorar a qualidade dos frutos e sementes (RICKETTS *et al.*, 2008). Estima-se que cerca de 75% das plantações agrícolas cultivadas em todo mundo são dependentes de agentes polinizadores para produção (BPBES-REBIPP, 2019). No entanto, as populações de polinizadores têm sofrido declínio devido a vários fatores, como perda de habitat, aquecimento global, uso de agrotóxicos, entre outros (KLEIN *et al.*, 2007). Conseqüentemente, a produção agrícola vem sofrendo com o declínio de polinizadores nativos, que são necessários para o aumento da produção e melhora da qualidade em importantes culturas agrícolas, como o café (IMPERATRIZ FONSECA *et al.*, 2007). Sendo assim, os agentes polinizadores são indispensáveis para garantir a produção de alimentos, gerando altos valores econômicos para a sociedade e melhorando a qualidade de vida da população (GALLAI *et al.*, 2009).

Abelhas da tribo Meliponini apresentam grande diversidade nos Neotrópicos (Nogueira-Neto *et al.* 1986). Estudos recentes apontaram a existência de 641 espécies de Meliponini (MOURE, 2018). Estas abelhas polinizam várias espécies da flora brasileira (RAMALHO, 2004). O gênero *Melipona* Illiger, 1806 é representado por aproximadamente 40 espécies com distribuição nas Américas (MICHENER, 2007; KERR, 1948). Já nas culturas agrícolas, a criação de abelhas nativas representa para o país uma excelente alternativa à criação de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758, devido ao potencial de polinização de várias culturas de interesse econômico (HEARD, 1999; SLAA *et al.*, 2006). O que dificulta essa substituição é o fato das culturas agrícolas não oferecem recursos suficientes para manter todas as espécies de abelhas nativas (VIANA *et al.*, 2012). É de extrema importância a preservação das espécies de abelhas nativas em seu habitat natural, pois além de aumentar as chances de sobrevivência dessas populações, ainda prestam serviço de polinização nos ecossistemas. A conservação dos Meliponíneos nas regiões do Brasil, incluindo o Sul de Minas Gerais, é possível devido à presença de remanescentes florestais que oferecem condições para o desenvolvimento de diversas espécies. Sendo assim, a modelagem preditiva distribuição de espécies pode ser aplicada com o intuito de analisar a distribuição geográfica de espécies, usando dados de

características ambientais dos pontos de ocorrência conhecidos. Este método de modelagem é utilizado quando existe a necessidade de respostas rápidas e fundamentadas tendo em vista as ameaças que colocam em risco as espécies, como a perda de habitat, invasão de espécies exóticas, mudanças climáticas, entre outros (GIANNINI *et al.*, 2012).

Segundo a EMBRAPA (2019), o Brasil representa 35% da exportação de café no mundo, sendo o Sul de Minas Gerais, a principal região produtora. De acordo com o monitoramento agrícola do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL 2019), Minas Gerais está em primeiro lugar, dentre os Estados brasileiros produtores de café, produzindo 25 mil de sacas em 2019. Apesar do café arábica (*Coffea arabica*) possuir flores bissexuais que se autofecundam, estudos mostram que a fecundação cruzada nesta espécie, não só aumenta a produtividade da planta, mas também a qualidade dos frutos (ROUBIK, 2002; RICKETTS *et al.*, 2008). Como o cultivo do café requer grande investimento, por possuir ciclo de vida longo, é importante levar em consideração vários fatores que interferem na produção (GONÇALVES *et al.*, 2004), dentre os quais destaca-se a polinização.

Em relação a importância dos polinizadores para o café, a proximidade de remanescentes florestais de áreas que possuem abelhas nativas pode melhorar a produção (SATURNI *et al.*, 2016). Portanto, as abelhas nativas são um fator importante a ser considerado para aumentar a produção dessa cultura (SLAA *et al.*, 2006). Sendo assim, vários estudos comprovaram que o acesso de polinizadores às flores de café melhoraram a produção, aumentando o número, o tamanho e o peso de frutos (AMARAL, 1972; KLEIN *et al.*, 2003; MALERBO SOUZA e HALAK, 2012; NOGUEIRA-NETO e SAKAGAMI, 1966). As espécies de abelhas de maior relevância por sua distribuição geográfica e pela polinização do café são: *Apis mellifera* e *Melipona quadrifasciata* Lepelletier, 1836 (GIANNINI *et al.*, 2015). Contudo, as abelhas nativas possuem uma grande importância na polinização das espécies cultivadas, por serem eficientes polinizadores (GARIBALDI *et al.*, 2013). Assim, entender a distribuição geográfica potencial de uma espécie por meio de modelagem é de fundamental importância para auxiliar na conservação e manejo (JUNIOR; SIQUEIRA, 2009). E, avaliar o potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* para incrementar a polinização do café, pode trazer benefícios para conservação e manejo da subespécie, já que os produtores poderão entender melhor a relevância dos polinizadores para a produção de café. Até onde sabemos, não há trabalhos anteriores que avaliaram a introdução de *M. quadrifasciata anthidioides* na lavoura cafeeira. No entanto, alguns autores já verificaram melhora na produção em culturas de tomate e maçã com a introdução de *M. quadrifasciata anthidioides* (SANTOS; BEGO; ROSEINO,

2004; VIANA *et al.*, 2014;). Alguns autores avaliaram a distribuição potencial da espécie *M. quadrifasciata* e da subespécie *M. quadrifasciata anthidioides* utilizando o modelo MaxEnt (GIANNINI *et al.*, 2015; TEIXEIRA, 2018). Porém, não há estudos que tenham avaliado a sobreposição dos pontos de ocorrência da *M. quadrifasciata anthidioides* com os remanescentes florestais de Mata Atlântica, especialmente na região do Sul de Minas Gerais, nos municípios de Campos Gerais e Campo do Meio. Neste trabalho, tivemos como objetivos: 1) avaliar a distribuição de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil construindo um mapa com a distribuição potencial da espécie com pontos de ocorrência já disponíveis em bases de dados e ampliando dados de ocorrência para a região do Sul de Minas Gerais, por meio de coletas ativa (observação no campo e busca por ninhos) e passiva (uso de iscas). Em seguida, construímos um mapa com a sobreposição dos pontos de ocorrência com os remanescentes florestais de Mata Atlântica para verificar a influência dos remanescentes florestais na ocorrência atual da espécie (Capítulo1); 2) testar o potencial de manejo de *M. quadrifasciata anthidioides* em cultivos de café por meio da introdução de caixas ninho durante a florada para incremento da produção. Para isso, avaliamos o efeito da polinização natural, da densidade de ninhos de abelhas nativas no entorno dos cultivos e a distância da área de estudo dos remanescentes florestais sobre a taxa de frutificação, tamanho e peso das sementes (Capítulo 2).

2 CAPÍTULO 1 – DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) NO BRASIL

RESUMO

Apesar da distribuição geográfica de *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 ser relativamente bem conhecida, ainda é necessário compreender melhor como as variáveis ambientais e habitats naturais remanescentes influenciam sua ocorrência. Neste estudo, verificamos a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* no território brasileiro, utilizando diversas fontes de registros de ocorrência e variáveis ambientais, usando o modelo MaxEnt, e, adicionalmente, sobreposamos os remanescentes florestais de Mata Atlântica. Além disso, foram feitas coletas passiva e ativa por novas ocorrências da espécie em remanescentes florestais próximos a lavouras de café no Sul de Minas Gerais, nos municípios de Campo do Meio e Campos Gerais, utilizando iscas para captura de enxames e observação direta de ninhos no campo. O modelo de distribuição potencial da espécie teve acurácia excelente com valor de AUC de 0,963. Os resultados apontam que *M. quadrifasciata anthidioides* prefere áreas com temperaturas mais regulares, porém com altitudes mais elevadas e locais mais úmidos. As áreas de vegetação remanescente nos municípios de Campos Gerais e Campo do Meio e, em geral, o Sul de Minas Gerais, oferecem condições favoráveis para se encontrar a espécie. No entanto, registramos apenas um ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* em um dos remanescentes florestais estudados. Já a coleta passiva com iscas não capturou nenhum enxame. Por fim, ressalta-se a necessidade de conservação e restauração da vegetação nativa nos remanescentes de Mata Atlântica para que possa suportar maior diversidade e aumento das populações de abelhas nativas, incluindo *M. quadrifasciata anthidioides*.

Palavras-chave: abelhas nativas. conservação. modelagem ecológica. Mata Atlântica.

ABSTRACT

Although the geographic distribution of *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 is relatively well known, it is still necessary to better understand which environmental variables influence its occurrence. This study proposed to verify the potential distribution of *M. quadrifasciata anthidioides* in the Brazilian territory, using several sources of occurrence records, environmental variables and data from forest remnants of the Atlantic Forest at the regional level using the MaxEnt model. In addition, a search was made for new occurrences of the species in forest remnants near coffee crops in the municipalities of Campo do Meio and Campos Gerais, using baits to capture swarms and direct observation of nests in the field. The model obtained an AUC value: (0.963), classified as excellent. The results indicate that *M. quadrifasciata anthidioides* prefers areas with more regular temperatures, but with higher altitudes and more humid places. The areas of remaining vegetation between the municipalities of Campos Gerais and Campo do Meio offer favorable conditions to find the species, in general the South of Minas Gerais. Although, it registered only one nest of *M. quadrifasciata anthidioides* in one of the research forest remnants investigated. However, the baits did not capture any swarms. Finally, the need to conserve and restore native vegetation in the remaining Atlantic Forest of Brazil is emphasized so that it can support greater diversity and increase pollinator populations, including *M. quadrifasciata anthidioides*.

Keywords: native bees. preservation. occurrence. forests.

1 INTRODUÇÃO

Entender os fatores ambientais que explicam a distribuição das espécies é um passo importante para definir estratégias de conservação e planos de manejo (MACHADO *et al.*, 2008). Os modelos de distribuição potencial são técnicas importantes para prever a distribuição de espécies (JUNIOR e SIQUEIRA, 2009). Em geral, os modelos de distribuição potencial podem ser considerados como o ajuste a uma função entre os pontos de ocorrência de uma espécie e um conjunto multivariado de dados ambientais (PHILLIPS *et al.*, 2006). A maioria dos modelos de distribuição potencial consideram que o nicho ecológico é a base para prever a ocorrência de espécies (PETERSON, 2001). A modelagem de nicho ecológico é considerada eficiente e é muito utilizada em estudos conservacionistas para obter respostas espaciais de espécies em relação a pacotes climáticos (SOBERÓN e NAKAMUNA, 2009). Entende-se por nicho ecológico, o conjunto de condições e recursos que os indivíduos de uma espécie necessitam para sobreviver, crescer e reproduzir. Assim, o conhecimento sobre o nicho ecológico de uma espécie pode prever a sua área de ocorrência (JUNIOR e SIQUEIRA, 2009). Desta forma, a modelagem de nicho é utilizada quando existem ameaças às espécies, como mudanças climáticas, invasão de espécies e a perda de habitat (GIANNINI *et al.*, 2012). Sendo assim, é premente usar esta análise frente às inúmeras ameaças que os habitats naturais vem sofrendo, especialmente no caso da Mata Atlântica no Brasil (INPE, 2020). A Mata Atlântica atualmente está restrita a cerca de 98.800 km² de vegetação remanescentes, o que representa 12,4% de sua extensão original (INPE, 2020). O domínio fitogeográfico ainda continua diminuindo e ameaçado por atividades antrópicas, o que pode levar a extinção de mais espécies. A Mata Atlântica abrange 17 estados brasileiros, nestes, 1,36 milhão de km², ou seja, 93% da sua área já foi devastada, abriga mais de 20 mil espécies de plantas, sendo oito mil endêmicas e cerca de 383 das 633 espécies animais estão ameaçados de extinção (INPE, 2020). Atualmente, a conservação da Mata Atlântica tem como seu principal objetivo a proteção da fauna e flora silvestres. Para as abelhas é fundamental, manter a biota e o ambiente natural, dos quais dependem, e garantir os recursos necessários para se desenvolverem (MORADO e LORENZON, 2014).

Popularmente chamadas de ‘abelhas sem ferrão’, as abelhas nativas da tribo Meliponini constituem um táxon com elevada riqueza de espécies nos Neótrópicos com distribuição em regiões tropicais e subtropicais (NOGUEIRA-NETO *et al.*, 1986). De acordo com o Catálogo Moure (2018), existem 641 espécies de Meliponini. Grande parte dessas espécies, juntamente com outras espécies de abelhas nativas, promovem a polinização de aproximadamente 90% da

vegetação nativa, favorecendo a fecundação cruzada (KERR, 1994). Dentro de Meliponini, *Melipona* Illiger, 1806, é representada por aproximadamente 40 espécies (KERR, 1948; MICHENER, 2007). O gênero está circunscrito em *Apidae*, *Apinae*, *Meliponini* de acordo com Michener (2000), porém Silveira e colaboradores (2002) classificam o gênero dentro *Apidae*, *Apini*, *Meliponina*. No Brasil, 38 espécies de melíponas são reconhecidas, sendo que a região com maior diversidade é a Bacia Amazônica (CAMARGO e PEDRO, 2007). Abelhas *Melipona* tem importância para o meio ambiente e para a economia pela polinização que promovem em plantas nativas e o benefício da polinização como serviço ecossistêmico em culturas agrícolas (KERR; CARVALHO; NASCIMENTO, 1996; DE MELO *et al.*, 2002). As espécies são de fácil manejo, por isso várias são domesticadas (NOGUEIRA-NETO, 1997) e manejadas em cultivos agrícolas (BPBES/REBIPP, 2019). *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836, popularmente conhecida como ‘mandacaia’, é uma espécie que ocorre em áreas florestadas e também em agroecossistemas polinizando várias culturas agrícolas (MELO e CAMPOS, 1987; BPBES/REBIPP, 2019). A espécie nidifica em ocos de árvores com alturas acima de 1m do solo, porém alguns ninhos podem ser construídos dentro de ninhos de formigas, e em ninhos de joão-de-barro (AIDAR, 2010). Nos ninhos da espécie, os favos de cria são horizontais e helicoidais e apresentam altura entre 3 e 4 cm. A entrada da colônia é construída com barro, apresenta raias convergentes e os potes de alimento e discos de cria são construídos com cera pura ou cerume (AIDAR, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012). Duas subespécies são reconhecidas de acordo com as características das faixas abdominais: *M. quadrifasciata anthidioides* (faixas abdominais descontínuas) e *M. quadrifasciata quadrifasciata* (faixas abdominais contínuas) (BATALHA-FILHO *et al.*, 2009). Quanto a distribuição geográfica, entre o Estado de São Paulo e no sul de Minas Gerais, as duas subespécies se sobrepõem, apresentando padrões intermediários de bandas amarelas detectados nas duas subespécies (MOURE e KERR, 1950; KERR, 1951). A distribuição geográfica de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil é ampla (BATALHA-FILHO *et al.*, 2009) e os Estados com maiores pontos de ocorrência são: São Paulo (499), Minas Gerais (108), Espírito Santo (34), Rio de Janeiro (17), Goiás (9), Bahia (6), Paraná (4) e Pernambuco (2) (SPECIESLINK, 2019). A ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* pode estar associada a áreas com altitudes elevadas formadas por cadeias montanhosas em Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia (BATALHA-FILHO *et al.*, 2009).

A distribuição potencial de *M. quadrifasciata* foi estudada para o Estado de São Paulo e a região Sul do país indicando um direcionamento no sentido dos Pampas em resposta ao aquecimento global decorrente de alterações climáticas (GIANNINI *et al.*, 2015c; TEIXEIRA,

2018). Contudo, o estudo de Giannini e colaboradores (2015c) não considerou a separação das duas subespécies e toda a amplitude de ocorrência da espécie em outras regiões do país. Já Teixeira (2018) modelaram a distribuição potencial das duas subespécies separadamente e indicaram um aumento potencial de condições climáticas adequadas para *M. quadrifasciata anthidioides* na Mata Atlântica costeira. Contudo, a relação entre as variáveis ambientais que determinam sua ocorrência e a distribuição dos remanescentes de Mata Atlântica ainda precisa ser melhor compreendida. Neste estudo, tivemos o objetivo de avaliar a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* no território brasileiro, utilizando diversas fontes de registros de ocorrência, variáveis ambientais e sobrepondo com os remanescentes florestais de Mata Atlântica, usando o modelo MaxEnt. O domínio fitogeográfico de Mata Atlântica foi escolhido por possui 68% dos pontos de ocorrência registrados da subespécie e conter dados acessíveis sobre a distribuição dos remanescentes florestais que podem ser combinados com a distribuição da subespécie. Além disso, fizemos uma busca por novas ocorrências da espécie em remanescentes florestais próximos a lavouras de café no Sul de Minas, especificamente nos municípios de Campo do Meio e Campos Gerais, utilizando iscas para captura de enxames e observação direta de ninhos no campo. Sendo assim, esperamos identificar as variáveis ambientais mais adequadas que explicam a distribuição potencial da subespécie e como sua ocorrência pode ser afetada pela presença de habitats naturais. Com isso, contribuimos para o conhecimento sobre a distribuição de *M. quadrifasciata anthidioides* em relação aos remanescentes de Mata Atlântica no país e, especificamente, na região do Sul de Minas Gerais, e discutimos como os fatores ambientais influenciam sua distribuição potencial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae)

Para avaliar a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* consideramos todos os pontos de ocorrência registrados no Brasil. O Brasil é o maior país da América do Sul e no Hemisfério Sul e possui a maior área tropical úmida do mundo (CIA, 2019). O país se localiza ao leste da América do Sul, com litoral no Oceano Atlântico, com seguintes coordenadas geográficas dos pontos extremos: Norte +05° 16'19" -60° 12'45" nascente do Rio Ailã (Roraima), ao Sul -33° 45'07" -53° 23'50" Arroio Chuí (Rio Grande do Sul), ao Leste -07° 09'18" -34° 47'34" Ponta do Seixas (Cabo Branco-Paraíba), e ao Oeste -07° 32'09" -73° 59'26"

nascente do Rio Moa (Acre) (IBGE, 2019). O Brasil possui área total de terra 8.358.140 km² e clima em grande parte tropical, subtropical e temperado ao Sul, com altitude média de 320 m, já o ponto mais alto (Pico da Neblina) possui elevação de 2.994 m. Cerca de 61% do território nacional é coberto por vegetação nativa e o país possui seis domínios fitogeográficos continentais: a Amazônia, o Cerrado, a Caatinga, o Pantanal, os Pampas e a Mata Atlântica (IBGE, 2019; CIA, 2019; MMA, 2019). A Mata Atlântica compreende cerca de 15% do território nacional e abrange 17 estados. Sendo assim, 72% dos brasileiros vivem nesta extensão importante para a economia que representa 70% do PIB nacional. A Mata Atlântica oferece serviços ecossistêmicos indispensáveis como abastecimento de água, regulação do clima, agricultura, pesca, energia elétrica, turismo e polinização. Porém, hoje a exploração reduziu a apenas 12,4% da floresta que anteriormente existia (INPE, 2020).

O modelo utilizado para avaliar a distribuição potencial da subespécie *M. quadrifasciata anthidioides* foi o MaxEnt (Maximum Entropy) versão 3.3.3k (PHILLIPS *et al.*, 2006). Este método é baseado em algoritmo de entropia máxima (PHILLIPS *et al.*, 2006). A taxa de omissão e a área prevista em função do limite cumulativo foram calculadas, analisadas e representadas através de um gráfico. Para avaliar o desempenho do modelo foi avaliada a área sob a curva de ROC (*Curve Operating Characteristic*) e realizado cálculo da área sob a curva (AUC) que fornece a medida do desempenho do modelo (GIANNINI *et al.*, 2012). A AUC pode ser interpretada da seguinte forma: se o resultado estiver mais próximo do valor 1, melhor será o desempenho do modelo. Sendo assim, os modelos com valores entre 0,9 e 1,0 podem ser classificados como excelentes (METZ, 1986). Os 75 pontos de ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* usados no modelo, foram obtidos por meio da busca em bancos de dados de ocorrência de espécies (Portal da Biodiversidade, SpeciesLink e GBIF) e três pontos adicionais que foram registrados na região, sendo um por observação direta em Campos Gerais e outros dois em áreas de cultivo de café em Machado e Divisa Nova, registrados por armadilhas pan traps (pelo pesquisador Bruno Salomão Pavan). Foram utilizados apenas pontos de ocorrência diferentes e georreferenciados. No modelo, foram usados apenas dados de presença, pois o MaxEnt é adequado e amplamente utilizado para modelagem de presença. As variáveis bioclimáticas foram obtidas dos valores mensais de temperatura e precipitação, resultando em variáveis biologicamente significativas. Desta forma, as variáveis bioclimáticas simulam tendências anuais (e.g., temperatura média anual, precipitação anual), sazonalidade (e.g., variação anual de temperatura e precipitação) e fatores ambientais extremos ou limitantes (e.g., temperatura do mês mais frio e mais quente e precipitação do mês mais úmido e frio). Além

disso, foram utilizadas as variáveis bioclimáticas de temperatura e precipitação que representam como período de referência o trimestre anual. Todas essas variáveis são amplamente usadas para modelagem de distribuição de espécies e em técnicas de modelagem ecológica relacionadas (WORLDCLIM, 15/02/2020; FICK e HIJMANS, 2017). As variáveis selecionadas no modelo MaxEnt foram: temperatura média anual (BIO 1), temperatura máxima do mês mais quente (BIO 5), temperatura mínima do mês mais frio (BIO 6), precipitação anual (BIO 12), precipitação do trimestre mais chuvoso (BIO 16), precipitação do trimestre mais seco (BIO 17), altitude (altitude 2), capacidade de troca de cátions do solo (ctcs 2), drenagem do solo (drainage 4), fertilidade do solo (fertilidade 4) (WORLDCLIM, 15/02/2020; FICK e HIJMANS, 2017). A capacidade de troca de cátions do solo (ctcs 2) indica que quanto maior, melhor será sua fertilidade (MELO *et al.*, 1997). Estas variáveis e os pontos de ocorrência foram usados para construir o mapa com a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil. Em seguida, este mapa foi sobreposto com os remanescentes de vegetação nativa do domínio fitogeográfico de Mata Atlântica, utilizando dados do INPE (2020) e FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (2020), destacando a região do Sul de Minas Gerais, municípios Campos Gerais e Campo do Meio.

2. 2 OCORRÊNCIA DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836, (Insecta, Hymenoptera, Apidae) na região do Sul de Minas Gerais

Foram delimitadas áreas na região do Sul de Minas Gerais, nos municípios Campos Gerais (latitude S21°14'7" Sul e longitude 45°45'12" Oeste) e Campo do Meio (latitude 20°16'0" Sul e longitude 46°22'60" Oeste). Nestes municípios, a vegetação predominante é caracterizada como de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, com clima temperado quente, sofrendo influência da altitude e de frentes frias, com inverno seco e verão chuvoso (MARTINS *et al.*, 2018). Nestas áreas, foi avaliada a ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* em remanescentes florestais (Figura 1). A ocorrência da espécie na região foi avaliada por meio de observação e busca direta dos ninhos nos campos e uso de iscas pet para captura de enxames.

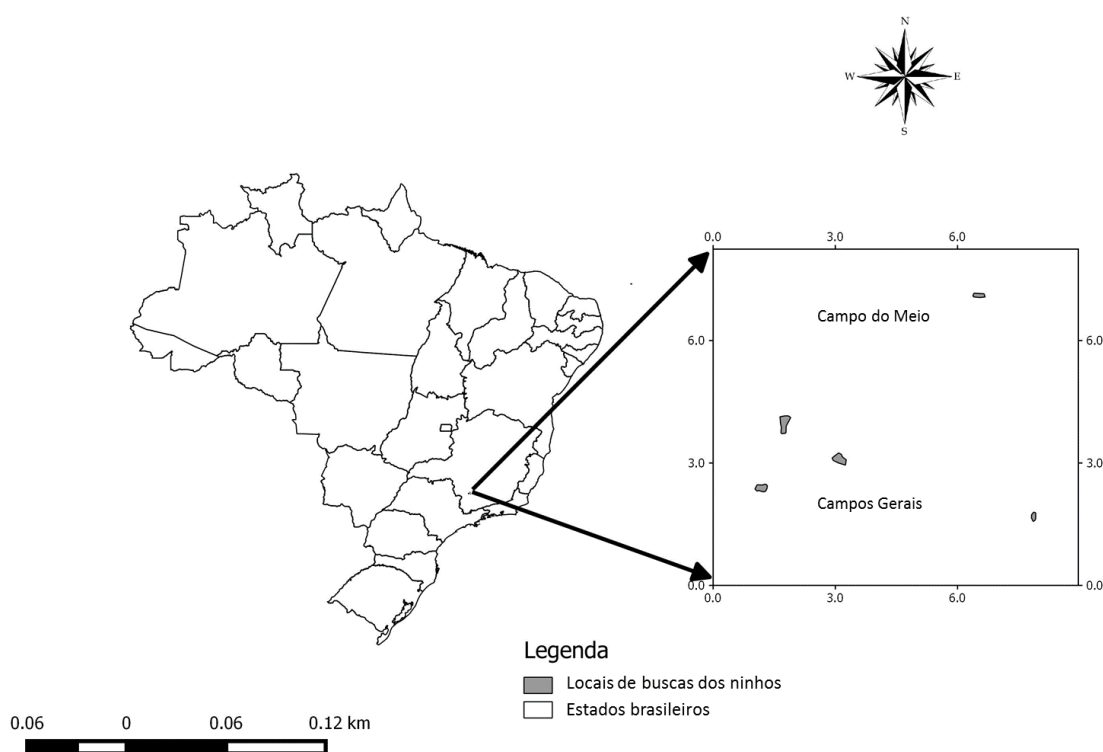


Figura 1 - Mapa com polígonos representando a área percorrida durante a busca de ninhos de *Melipona Gerae* e *quadrifasciata anthidioides* nos remanescentes florestais da região e ao redor deles entre os municípios Campo do Meio, tendo como referência o mapa do Brasil. Fonte: IBGE (2019).

Melipona quadrifasciata anthidioides apresenta um grande número de operárias campeiras (IMPERATRIZ-FONSECA *et al.*, 1985) e medem entre 10-11mm de comprimento, sendo reconhecidas por possuírem aspectos corporais como: abdome com faixas amarelas e asas ferrugíneas. *Melipona quadrifasciata* apresenta colônias com 300 a 400 abelhas. Estas abelhas são pouco agressivas quando ameaçadas (NOGUEIRA-NETO, 1970). *Melipona quadrifasciata anthidioides* pode ser encontrada dentro de remanescentes florestais relativamente pequenos e até mesmo isolados, mas desde que existam locais para a construção de seus ninhos (OBIOLS, 2008), ou seja, em ocos de árvores com diâmetro maior que 10,0 cm (RODRIGUES e VALLE, 1964).

Para verificar a ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* na região de estudo, foram realizadas buscas ativas por meio de caminhadas aleatórias nos locais possíveis de locomoção em cinco remanescentes florestais e ao redor destes, observando os detalhes do ambiente e os possíveis locais de existência dos ninhos, tais como: árvores vivas, árvores mortas, orifícios no solo e em barrancos, bases e paredes de casas, mourões de cerca e cupinzeiros. As buscas dos

ninhos foram realizadas em dois períodos: agosto de 2019 (20h) e abril e junho de 2020 (19h) com média de $7,8h \pm 1,8h$ por remanescente florestal. As buscas dos ninhos foram realizadas entre 8h e 17h em dias de tempo aberto ou parcialmente encoberto. Os ninhos de outras espécies de abelhas nativas e exóticas também foram registrados durante as buscas.

As iscas foram construídas utilizando garrafas de plástico, com volume de dois litros ou mais, revestidas com jornal e material plástico de cor preta, para criar um ambiente que imite um oco de tronco ou galho de árvore. O interior da isca foi embebida com (50ml) de atrativo feito especificamente para atrair abelhas *M. quadrifasciata anthidioides*, composto de cera e geoprópolis da própria subespécie e álcool de cereais. A abertura da isca foi construída com material plástico em forma de funil para evitar principalmente o ataque de formigas, no caso de algum enxame se estabelecesse na isca (VILLAS-BÔAS, 2012). Foi instalada uma isca em cada área amostral, próximo à borda do remanescente florestal, em locais com altura média de um a dois metros de altura do solo. As iscas foram instaladas a uma distância mínima de três quilômetros uma das outras, ficaram no local de janeiro a início de abril de 2019 e foram monitoradas quinzenalmente.

3 RESULTADOS

O valor do AUC obtido do modelo MaxEnt de distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* foi de 0,963 (Material suplementar), o que indica excelente acurácia do modelo, podendo ser classificado como excelente. As variáveis do modelo preditivo que melhor explicaram a distribuição da espécie foram: Bio5 (temperatura mínima do mês mais quente) com 46,6%, seguida de Bio6 (temperatura mínima do mês mais frio) com 13,3%, Altitude2 (altitude) com 12,9%, e Bio16 (precipitação do trimestre mais chuvoso) com 11,6%, as demais variáveis foram menos representativas (abaixo de 5,5%) (Figura 2).

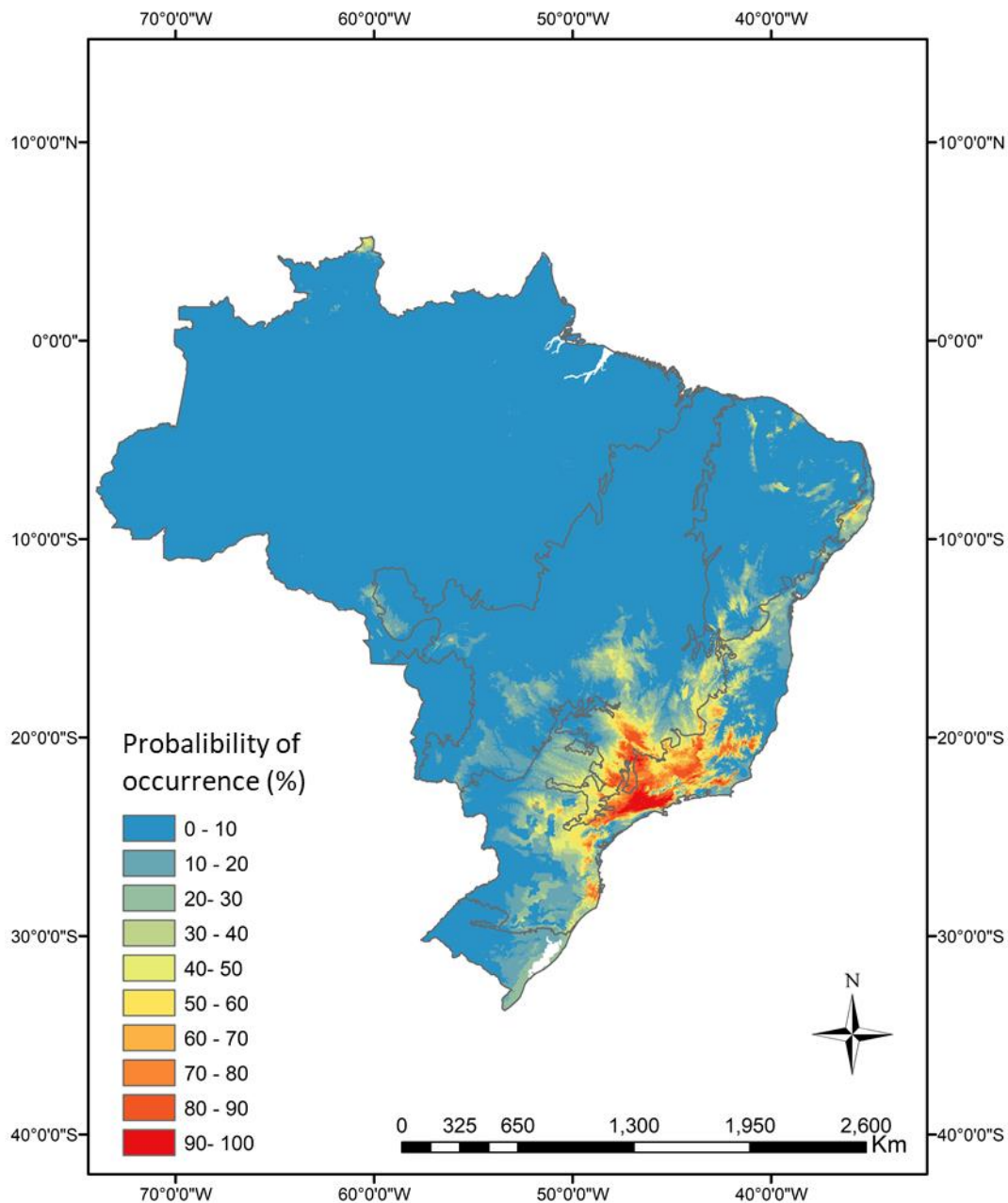


Figura 2 – Mapa com a delimitação dos Domínios Fitogeográficos do Brasil representando a distribuição potencial da espécie *Melipona quadrifasciata anthidioides*. As cores indicam os locais com as probabilidades de ocorrência da espécie (de 0 a 100%), de acordo com o gradiente de cor, sendo nas cores mais as maiores probabilidades de ocorrência. Fontes: IBGE (2019), GBIF (2019), Portal da Biodiversidade (2019) e SpeciesLink (2019).

Na área de estudo, existem poucos remanescentes florestais e possuem tamanho pequeno (menor que 50 ha), mas existe certa probabilidade de encontrar ninhos da espécie nestes remanescentes florestais existentes (Figura 3).

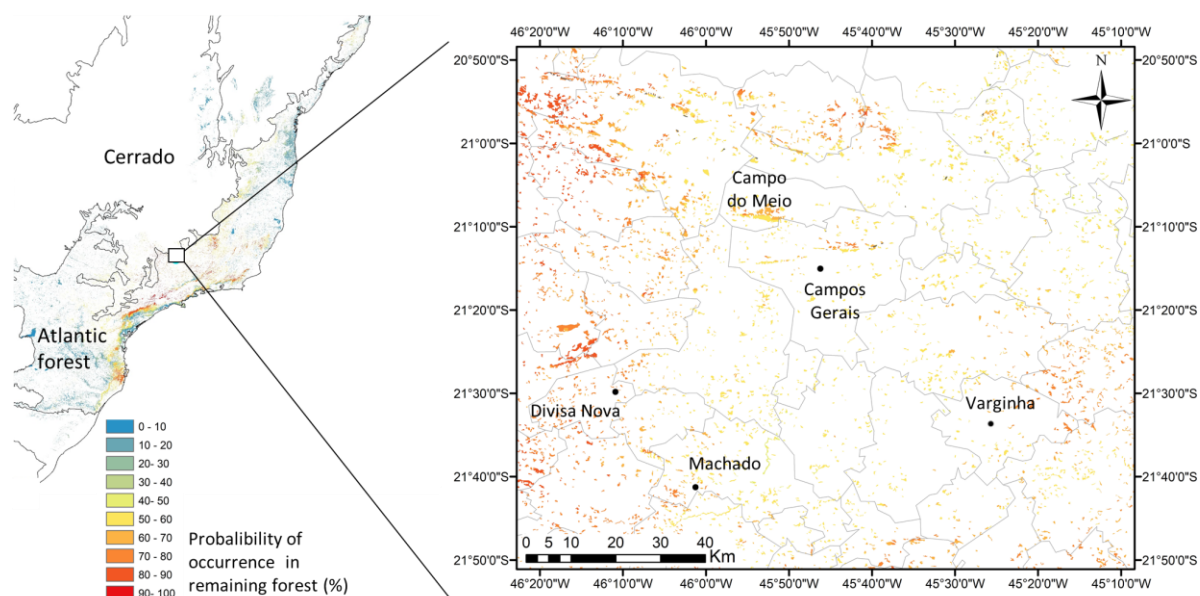


Figura 3 – Mapa com a delimitação dos domínios fitogeográficos do Brasil representando a distribuição potencial da espécie *Melipona quadrifasciata anthidioides* sobrepostos aos remanescentes de Mata Atlântica, do destacando-se os municípios onde foram realizadas as buscas dos ninhos da região (Campos Gerais e Campo Meio). As cores indicam os locais com as probabilidades de ocorrência da espécie (de 0 a 100%), de acordo com o gradiente de cor, sendo nas cores mais quentes, as maiores probabilidades de ocorrência.

Durante a busca ativa, no segundo esforço amostral, realizado em abril de 2020, foi registrado um ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* a 900m de altitude, em um remanescente florestal dentro da área de estudo em Campos Gerais. Este ninho foi identificado, fotografado e georreferenciado (Figura 4). Além disso, foram encontrados 44 ninhos de outras espécies de abelhas nativas que também foram registrados. Nas iscas instaladas nos remanescentes florestais, não foi capturado nenhum enxame de *M. quadrifasciata anthidioides*.



Figura 4 – Ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* encontrado no tronco de uma árvore em um remanescente florestal na área de estudo em Campos Gerais (-21°14' 57,5"S; -45° 46' 11,1"W).

4 DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a variação de temperatura, altitude e a precipitação do mês mais úmido foram as variáveis que mais influenciaram a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil. Alguns fatores climáticos possuem influência determinante nas atividades de voo e nos custos energéticos para controle da temperatura corporal das abelhas, tais como temperatura e precipitação (ROUBIK, 1989). Sendo assim, dentro da área de ocorrência, áreas com temperaturas mais amenas, porém com altitudes mais elevadas e locais mais úmidos se mostraram determinantes para a ocorrência da subespécie.

Estudos prévios já tinham demonstrado a influência das variáveis ambientais na distribuição potencial da espécie *M. quadrifasciata*: na região Sul do Brasil, a temperatura foi mais importante do que a interação com as espécies de plantas das quais *M. quadrifasciata* depende (GIANNINI *et al.*, 2015c) enquanto temperatura e umidade foram mais importante para explicar a distribuição potencial de *M. quadrifasciata anthidioides* na escala nacional (TEIXEIRA, 2018). Estes estudos indicaram que a ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* deve sofrer redução no Cerrado, e tender a aumentar em regiões de Mata Atlântica e para o Sul, em sentido aos Pampas, devido ao aumento da temperatura decorrente de alterações climáticas (GIANNINI *et al.*, 2015c, TEIXEIRA 2018). Na análise da distribuição potencial de *M. quadrifasciata*, Giannini e colaboradores (2015c) incluíram ainda as plantas

usadas para nidificação e alimentação e ressaltam a necessidade de conservação da vegetação nativa e dos remanescentes florestais ainda restantes, incluindo os de Mata Atlântica para conservação da espécie. No presente estudo, o modelo de distribuição potencial teve uma excelente acurácia indicando um melhor ajuste em relação ao anterior (TEIXEIRA, 2018). Aqui, outras variáveis ambientais diferentes das encontradas anteriormente, como temperaturas brandas e precipitação do mês mais úmido, foram mais importantes em determinar a distribuição da subespécie, portanto temperaturas muito altas podem comprometer a manutenção da espécie em uma região.

Mais além, detectamos a influência da altitude na distribuição da subespécie. A altitude, especialmente, no Sul de Minas Gerais, Leste e Centro de São Paulo e Rio de Janeiro, pode gerar microclimas, com temperaturas mais brandas e chuvas provenientes de frentes frias vindas do Sul do país (KÖPPEN, 1936; MARTINS, *et al.*, 2018), podendo favorecer o estabelecimento da subespécie. Neste sentido, Batalha-Filho *et al.*, (2009) afirma que a ocorrência de *M. quadrifasciata anthidioides* associa-se a áreas com altitudes elevadas formadas por cadeias montanhosas em Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia, e a ausência, às terras baixas do norte do Espírito Santo e sul da Bahia e áreas de menor altitude no alto do rio São Francisco. Neste sentido, reforçamos que o modelo desenvolvido neste trabalho adequou-se muito bem aos dados, e assim, pode contribuir para compreender melhor a distribuição atual de *M. quadrifasciata anthidioides* no Brasil, ajudando a entender a distribuição da espécie em relação aos remanescentes florestais de Mata Atlântica e seu nicho ecológico.

A sobreposição dos pontos de ocorrência com os remanescentes florestais de Mata Atlântica apresentada neste trabalho mostra o quanto a vegetação nativa remanescente é importante para conservar *M. quadrifasciata anthidioides*. Batalha-Filho e colaboradores (2009) afirmam que *M. quadrifasciata* tem sofrido com o desmatamento perdendo locais de nidificação nos domínios fitogeográficos em que ocorre. Especificamente, os remanescentes florestais da região do Sul de Minas, entre os municípios de Campos Gerais e Campo do Meio, apresentam de 60% a 100% de probabilidade de ocorrência da espécie. De fato, foi registrado um ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* na coleta ativa em um dos remanescentes florestais amostrado. Já a coleta passiva, com as iscas pet, foi pouco eficiente como armadilha para registro da subespécie. Contudo, ressalta-se que para este método de captura é recomendado um número maior de ninhos armadilha localizados mais próximos entre si para aumentar as chances de sucesso na captura (OLIVEIRA *et al.*, 2010), pois abelhas melíponas possuem taxas de enxameagem muito baixas, podendo demorar anos para ocorrer este processo de forma

natural (SLAA, *et al.*, 2006). Desta forma, a ocorrência da espécie nos municípios de Campos Gerais e Campo do Meio pode ser considerada baixa, pois foram encontrados nestas mesmas áreas um total de 44 ninhos de outras espécies de abelhas nativas, sendo assim o único ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* encontrado equivale a (2,3%) deste total. Dentre as várias causas que afetam a existência de ninhos de abelhas nativas, remanescentes florestais pequenos, isolados e antropizados que estão em estado delicado de conservação são algumas delas (ROZZA, 2003). Embora a maioria dos remanescentes florestais da região sejam pequenos (menor que 50 ha), isolados entre si e antropizados com clareiras decorrentes de exploração madeireira, presença de espécies exóticas, uso para pecuária, entre outros impactos. Apesar disso, estes remanescentes florestais ainda assim são importantes para abrigar ninhos de *M. quadrifasciata anthidioides*, já que a subespécie precisa de árvores com troncos de diâmetro largo e ainda podem ter preferência por certas espécies de árvores para nidificar (ANTONINI e MARTINS, 2003). Esses requisitos, muitas vezes, não são cumpridos em áreas de cultivo ou em remanescentes florestais com algum grau de degradação. Sendo assim, o crescimento da subespécie é limitado devido a inexistência de locais adequados para a nidificação tais como encontrados em formações florestais extensas e primárias (TEIXEIRA, 2018). Neste estudo, demonstramos que a ocorrência *M. quadrifasciata anthidioides*, mesmo em áreas de condições climáticas favoráveis, pode estar sendo afetada pela quantidade e qualidade dos remanescentes florestais de Mata Atlântica que limitam os locais de nidificação ideais para a espécie, especialmente em tronco de árvores (BATALHA-FILHO *et al.*, 2009).

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, demonstramos que a distribuição potencial de *Melipona quadrifasciata anthidioides* está associada a áreas com temperaturas mais moderadas, porém com altitudes mais elevadas e locais mais úmidos no país. Além disso, os remanescentes florestais de Mata Atlântica são fundamentais para garantir a ocorrência da espécie devido às condições climáticas e recursos que fornecem, como locais para nidificação e recursos alimentares, que são fundamentais para a conservação de populações viáveis de abelhas nativas em geral. A ocorrência natural de *Melipona quadrifasciata anthidioides* foi registrada no Sul de Minas, porém ressalta-se que sua ocorrência é rara. As informações deste estudo podem servir de subsídio para o desenvolvimento de planos de manejo voltados para a conservação da espécie. Ainda, é necessário promover a conscientização ambiental dos proprietários rurais para que as abelhas nativas possam ser conservadas em seu habitat natural, resultando em benefícios

ao meio ambiente e à sociedade. E, que a conservação da vegetação nativa, incluindo os remanescentes florestais de Mata Atlântica, possam contribuir para abrigar maior número de abelhas nativas, incluindo *M. quadrifasciata anthidioides*.

6 AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e faz parte da dissertação de dissertação de ESB como requisito para obter o grau de mestre em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG. Agradecemos a Érica Hasui por auxiliar com as análises e aos produtores rurais que permitiram o desenvolvimento deste estudo em suas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, D. S. **A mandaçaiá: biologia de abelhas, manejo e multiplicação artificial de colônias de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier. (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae).** Ribeirão Preto - SP, FUNPEC, 2010.

ANTONINI, Y.; MARTINS, R. P. The value of a tree species (*Caryocar brasiliense*) for a stingless bee *Melipona quadrifasciata quadrifasciata*. **Journal of Insect Conservation**. <https://doi.org/10.1023/A:1027378306119>. v. 7, p. 167-174, 2003.

BATALHA-FILHO, H.; GABRIEL A. R. M.; ANA M. W.; LUCIO A. O. C.; TÂNIA M. F. S. Distribuição geográfica e diferenciação espacial no padrão de coloração de faixas abdominais da abelha sem ferrão neotropical *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Apidae). **Zoologia**. (Curitiba, Impr.), vol. 26, 2 de jun. 2009.

BPBES/REBIPP. **Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil**. Marina Wolowski; Kayna Agostini; André Rodrigo Rech; Isabela Galarda Varassin; Márcia Maués; Leandro Freitas; Liedson Tavares Carneiro; Raquel de Oliveira Bueno; Hélder Consolaro; Luisa Carvalheiro; Antônio Mauro Saraiva; Cláudia Inês da Silva; Padgurschi M. C. G. (Org.). 1ª edição, Campinas, SP. 184 páginas. ISBN: 978-85-60064-83-0. 2019.

CAMARGO, J. M. F.; PEDRO S. R. M. Meliponini, Lepeletier, 1836. In: Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the neotropical region. Organized by J.S. Moure, D. Urban, G.A.R. Melo. **Sociedade Brasileira de Entomologia**. Curitiba, vol. 24, p. 1058, 2007.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. CIA - CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. Disponível em: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/br.html>. Acesso em: 12 dez. 2019.

FICK, S. E.; R. J. HIJMANS. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

GIANNINI T. C. *et al.* Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecol Model**, v. 244, p. 127-131, 2012.

GIANNINI, T. C. *et al.* Safeguarding ecosystem services: a methodological framework to buffer the joint effect of habitat configuration and climate change. **PLOS ONE**, DOI: 10.1371/journal.pone.0129225, v. 10, 2015.

GIBF. Global Biodiversity Information Facility. **Registros de ocorrência de *Melipona quadrifasciata anthidioides***. Disponível em: <https://www.gbif.org/>. Acesso em: 22 set. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese**. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio/unidades-de-conservacao.html>. Acesso em: 12 dez. 2019.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L., KLEINERT-GIOVANNINI, A.; PIRES, J. T. Climate variations influence on the flight activity of *Plebeia remota Holmberg* (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae). **Rev. Bras. Entomol**, Londrina, v. 29, p. 427-434, 1985.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; GONÇALVES, L. A Iniciativa brasileira de polinizadores e os avanços para a compreensão do papel dos polinizadores como produtores de serviços ambientais. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, Supplement 1, p. 100-106, nov. 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ministério da Ciência, Tecnologia e inovações**. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em: 11 abr. 2020.

JUNIOR P. M.; SIQUEIRA M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, vol. 5, n. 1, 2009.

KERR, W. E. Estudos sobre o gênero *Melipona*. **Anais da Escola Superior de Agricultura**, Luiz de Queiroz, v. 5, p. 181-276, 1948.

KERR, W. E. Informações genéticas sobre las abejas. In: IV Congresso Ibero-latino americano de Apicultura. Rio Cuarto, Cordoba, Argentina. Trabajos. p. 1-4, 1994.

KERR, W. E. **Sexo-cromossomo em mel-abelha**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1951.tb02761.x>. Brasil, 1951.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Bornträger, p. 1-44, 1936.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (EDS.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: Fundação Biodiversitas, 2008.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica). v. 4, 2018.

MELO, G. A. R.; CAMPOS, L. A. O. **Variações dos padrões de faixas nas populações de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1936 no Estado de Minas Gerais (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae)**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Zoologia, Juiz de Fora, p.76, 1987.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: Embrapa; SBCS, 1997.

METZ, C. E. ROC. **methodology in radiologic imaging**. *Investigational Radiology*, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986. Disponível em: http://journals.lww.com/investigativeradiology/Abstract/1986/09000/ROC_Methodology_in_Radiologic_Imaging.9.aspx>. Acesso em: 06 fev. 2020.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. 2. ed. Maryland, USA: The Johns Hopkins University Press, 2007.

MICHENER, C. D. **The bees of the world**. Baltimore, The Johns Hopkins University. p. 913, 2000.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

MORADO, C. N.; LORENZON, M. C. L. **A Abelha Jataí: florada visitada na Mata Atlântica**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

MOURE, J. S. **Catálogo de abelhas moure**. Disponível em: <http://moure.cria.org.br/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

MOURE, J. S.; KERR, W. E. **Evolução do Mecanismo de Determinação de castas no gênero *melipona***. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1950.tb01379.x>. Piracicaba. Brasil. 1950.

NOGUEIRA NETO, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P.; VIANA, B. F.; CASTRO, M. S. **Biologia e manejo de abelhas sem ferrão**. São Paulo, Brasil: Tecnapis, 54 p., 1986.

NOGUEIRA-NETO, P. **A Criação de Abelhas Indígenas sem Ferrão**. Editora Tecnapis, São Paulo, 1970.

NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Nogueirapis, p. 446, 1997.

OBIOLS, C. L. Y. **Gênero *Melipona* Illiger, 1806 em Minas Gerais — Identificação, Distribuição e Estado Atual de Conservação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, p. 116, Belo Horizonte, 2008.

OLIVEIRA R. C. *et al.* **Como obter enxames de abelhas sem ferrão da natureza?** - APACAME. Mensagem Doce 100, p. 1-6, 2010.

OLIVEIRA, M. P. *et al.* Substratos vegetais utilizados para nidificação pelas abelhas *Melipona quadrifasciata anthidioides* e *Scaptotrigona* sp. em área restrita do Bioma Caatinga. **Magistra**, v. 24, p. 186-193, 2012.

PETERSON, A. T. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. **Condor**, vol. 103, p. 599-605, 2001.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, vol. 190 p. 231-259, 2006.

Portal da Biodiversidade – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. Disponível em <https://portaldabiodiversidade.icmbio.gov.br/portal/>. Acesso em: 15 mar. 2019.

RODRIGUES, W.; VALLE, R. C. **Ocorrência de ocos em matas de baixio da região de Manaus Amazonas.** Estudo preliminar. Publ. INPA, Série Bot. cap. 16, p. 1-8, 1964.

ROUBIK, D. W. **Ecology and natural history of tropical bees.** New York: Cambridge University Press, p. 514, 1989.

ROZZA, A. F. **Manejo e regeneração de trecho degradado de floresta estacional semidecidual: Reserva Municipal de Santa Genebra, Campinas, SP.** Tese de doutorado em Biologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas. 2003.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. **Abelhas Brasileiras Sistemática e Identificação.** Belo Horizonte - MG, 2002.

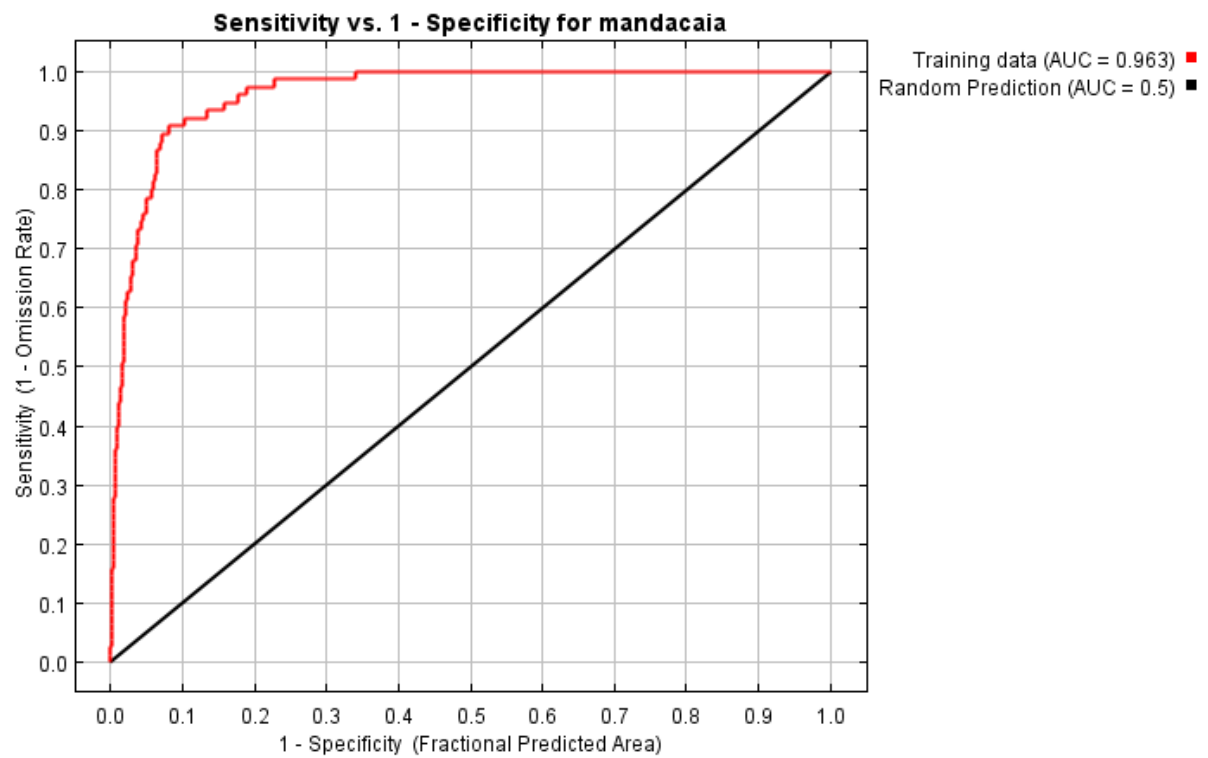
SLAA, E. J. *et al.* Stingless Bees in Applied Pollination: Practice and Perspectives. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 293-315, 2006.

SOBERÓN, J.; NAKAMURA, M. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA**, v. 106, p.644, 2009.

SOSMA - FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

SPECIESLINK. Associação Brasileira de Estudos da Abelha. **Ocorrência de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier 1836.** Disponível em: <http://www.splink.org.br/search?lang=pt&sciname=Melipona%20quadrifasciata%20quadrifasciata&phonetic=1&stateprovince=MG>. Acesso em: 10 jul. 2018.

TEIXEIRA, K. O. **Distribuição potencial das subespécies de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836, no Brasil em relação às mudanças climáticas.** Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, p. 108, 2018.

MATERIAL SUPLEMENTAR - Curva ROC e valores de (AUC) do modelo MaxEnt.

CAPÍTULO 2 - POSSÍVEL USO DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae) PARA INCREMENTO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ

RESUMO

As abelhas são essenciais para a polinização de diversas culturas agrícolas incluindo o café. Contudo, ainda são escassos os estudos sobre manejo de abelhas nativas em cultivos agrícolas, sobretudo na lavoura cafeeira. Neste estudo, tivemos o objetivo de avaliar o manejo potencial de *Melipona quadrifasciata anthidioides* em cultivos de café arábica (*Coffea arabica* L.) no Sul de Minas Gerais, Brasil. Especificamente, avaliamos o efeito da introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*, durante a florada, sobre a produção de café. Para isso, consideramos como variáveis-resposta a taxa de frutificação, o tamanho e o peso das sementes entre áreas com introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* e áreas sem caixas ninho desta subespécie. Além disso, avaliamos também a contribuição dos polinizadores para a produção de café entre ramos que ficaram expostos permitindo o acesso dos visitantes florais e ramos que foram cobertos e isolados de polinizadores. A influência da densidade de ninhos de abelhas nativas e exóticas e a distância dos cultivos em relação aos remanescentes florestais próximos das áreas de cultivo também foram avaliados nos modelos aditivos generalizados para localização, escala e forma. A introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* aumentou a taxa de frutificação em 19% ($p < 0,001$), o tamanho das sementes em 10% ($p < 0,001$) e o peso em 35% ($p < 0,001$). O acesso de polinizadores às flores resultou em aumento de 46% na taxa de frutificação ($p < 0,001$), 3% no tamanho das sementes ($p < 0,001$) e 5%, no peso das sementes ($p = 0,025$). Já a densidade de ninhos de abelhas nativas e exóticas no entorno dos cultivos contribuiu para o aumento de 28% na taxa de frutificação ($p < 0,001$), de 6% no tamanho das sementes ($p < 0,001$) e 24% no peso das sementes ($p < 0,001$). O efeito da distância dos remanescentes florestais foi variável, mas significativo para taxa de frutificação ($p < 0,001$) e peso das sementes ($p < 0,001$), aumentando em 25% e 23%, respectivamente. Desta forma, os remanescentes florestais são importantes para conservar a diversidade de polinizadores e contribuem para melhorar a produção de café. Os resultados indicam que *M. quadrifasciata anthidioides* pode ser manejada para melhorar a produção de café. O manejo é recomendado em situações de baixa densidade de polinizadores no entorno dos cultivos e em áreas cultivadas distantes de remanescentes florestais. Contudo, o manejo de polinizadores gera custos adicionais na gestão da produção de café e a restauração e conservação de ambientes naturais deve ser priorizadas e a fim de garantir a conservação da biodiversidade como um todo e demais serviços ecossistêmicos além da polinização.

Palavras chave: *Coffea arabica* L., conservação, rendimento agrícola, polinização, manejo.

ABSTRACT

Bee pollination is important for numerous agricultural crops including coffee. However, there are no studies on the management of *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 in coffee plantations. Therefore, the objective of this work was to introduce boxes with *M. quadrifasciata anthidioides* nests in properties with coffee crops in the south of Minas Gerais, in order to evaluate the possible use of *M. quadrifasciata anthidioides* during flowering to increase production. For this, the response rate was the fruiting rate and grain production and weight. Areas with the introduction of *M. quadrifasciata anthidioides* nest boxes were compared to areas without nest boxes of the species, in which the coffee branches were covered and isolated from pollinators were compared to uncovered branches allowing the access of floral visitors. The influence of the density of native bee nests and the distance of forest remnants close to the cultivation areas were also evaluated. Pollinator access resulted in an increase of 46% in the fruiting rate ($p < 0.001$), 5% in weight 5% ($p = 0.025$) and 3% in seed size ($p < 0.001$). The results showed that the management of *M. quadrifasciata anthidioides* improved the production, since the unmanaged areas had less fruit ($p < 0.001$) and size ($p < 0.001$) and weight ($p < 0.001$) of the grains. Thus, management increased the fruiting rate by 19%, weight by 35% and size by 10%. In addition, the density of nests around the crops contributed to an increase in the rate of fruiting by 28% ($p < 0.001$) and weight by 24% ($p < 0.001$) and size in 6% ($p < 0.001$) of the grains. The distance was a significant variation factor for fruiting rate ($p < 0.001$) and seed weight ($p < 0.001$) increasing by 25% and 23%, respectively. In this way, the forest remnants are important to conserve the diversity of pollinators and to improve coffee production. The results indicate that nests of *M. quadrifasciata anthidioides* can be managed to improve coffee production. The forest remnants are important because they house several coffee pollinators, including the subspecies *M. quadrifasciata anthidioides*. The species is of great ecological and economic importance and needs to be conserved in its natural habitat to promote an increase in coffee pollination levels in the main producing region, the South of Minas Gerais, or be managed for further improvements in production.

Keywords: *Coffea arabica* L., conservation, crop yield, pollination, management.

1 INTRODUÇÃO

A polinização é considerada um fator fundamental na produção agrícola de muitos cultivos em todo o mundo, aumentando a qualidade e quantidade dos frutos e sementes e diminuindo má formações, aumentando o teor de óleos, encurtando o ciclo de algumas culturas e podendo uniformizar o amadurecimento dos frutos causando menores perdas na produção (WILLIAMS *et al.*, 1991). Em todo o mundo, as abelhas são o grupo de polinizadores mais abundante na agricultura, pois mais de 90% dos 107 principais cultivos agrícolas dependem desses insetos para a polinização (KLEIN *et al.*, 2007). Das plantas cultivadas e polinizadas por animais, 70% do total de 1.330 cultivos nas regiões tropicais produzem mais frutos e sementes, aumentando a produção e a qualidade quando polinizadas adequadamente (ROUBIK, 2018). O valor da polinização no mundo foi estimado entre US\$ 235 bilhões e US\$ 577 bilhões (IPBES, 2020). Já no Brasil, a polinização biótica representa um valor estimado de 12 bilhões de dólares (GIANNINI *et al.*, 2015a). De fato, grande parte das culturas apresentam um importante aumento na produção quando polinizadas de maneira correta (FREITAS, 1998). No entanto, as populações destes animais estão diminuindo, prejudicando a produção de grande parte da agricultura que depende de polinizadores (AIZEN *et al.*, 2009). Assim, o desenvolvimento de práticas de cultivo mais modernas e sustentáveis na agricultura, que ao mesmo tempo sejam amigáveis aos polinizadores, são de suma importância, e conseqüentemente fator limitante na produção, principalmente em países tropicais (COUTO e COUTO, 2006).

A produção de café do Brasil corresponde a aproximadamente um terço da produção mundial, elevando-o ao plano de primeiro produtor e exportador do produto (CONAB, 2018). A safra de 2019 rendeu 51 milhões de sacas, mesmo sendo um ano de bienalidade negativa e somando-se as duas espécies mais cultivadas e representativas no país, arábica e conilon (BRASIL, 2019). Dos estados brasileiros, Minas Gerais se mantém como o maior produtor, concentrando a maior área plantada no Sul de Minas (BRASIL, 2019). Nesta região, o município de Campos Gerais possui a segunda maior área plantada de café, 25.000 ha, posicionando-se como a segunda maior cidade produtora de café do Estado (EMATER, 2019).

Na cafeicultura moderna, é importante ressaltar a produção sustentável, condições de trabalho adequadas, preocupando-se em não prejudicar o meio ambiente, sendo importante o monitoramento e controle da qualidade dos grãos produzidos agregando valor ao produto (MAPA, 2009). Mais além, estudos mostram que a produção do café é incrementada quando ocorre a polinização realizada pelas abelhas (KLEIN *et al.*, 2003; ROUBIK, 2002). Sendo assim, um aumento de 13 a 39% na produtividade do café foi constatado em arbustos de café

expostos a polinizadores, em comparação com arbustos isolados nos quais não houve influência de polinizadores (AMARAL, 1952; MALERBO-SOUZA *et al.*, 2003; MALERBO-SOUZA e HALAK, 2012; SILVA, 2013).

Para aumentar a produtividade agrícola uma estratégia a ser implementada é o manejo de abelhas nativas para aumentar a quantidade e a qualidade da produção (FREE, 1993; FREITAS, 1998; KLEIN *et al.*, 2007). A meliponicultura é definida como a criação racional de abelhas nativas sem ferrão (NOGUEIRA-NETO, 1953). Muitos autores afirmam que a meliponicultura apresenta-se como uma saída estratégica e sustentável para a conservação dos recursos naturais, promovendo a conservação de grande diversidade de abelhas silvestres, e ao mesmo tempo, das florestas nativas (VENTURIERI *et al.*, 2012; LOREZON e MORGADO, 2008). O aumento do interesse do público em geral, da comunidade científica e de órgãos públicos nesta temática é uma excelente oportunidade para ajudar a aumentar a conservação, compensando a perda de habitat e aumentando a polinização de flores de espécies em ambientes naturais e em culturas agrícolas (VENTURIERI *et al.*, 2012). A meliponicultura também pode diminuir os efeitos de endocruzamento causados em pequenas populações e promove a conservação da biodiversidade, tornando a criação e manejo de abelhas nativas uma alternativa importante (JAFFÉ *et al.*, 2010).

As abelhas nativas podem ser manejadas em cultivos agrícolas. Apesar da diversidade de espécies de abelhas nativas sem ferrão associadas a cultivos agrícolas (101 espécies) no Brasil, apenas 12 espécies foram usadas para manejo com intuito de aumentar a produção agrícola (BPBES/REBIPP, 2019). Uma das vantagens da criação dessas abelhas nativas sem ferrão é o fato de possuírem o ferrão atrofiado, portanto são mais fáceis de serem manuseadas até mesmo por pessoas alérgicas quando comparadas à criação de *Apis mellifera*. As abelhas nativas sem ferrão também podem ser manuseadas sem a utilização de roupas especiais, tornando os custos de criação menores. Assim, a meliponicultura pode ser praticada para a conservação de áreas naturais e restauração de áreas degradadas. Portanto, a meliponicultura permite a convivência de pessoas em áreas protegidas, podendo ser definida como uma atividade que concilia o desenvolvimento socioeconômico com a conservação da biodiversidade (KERR, 1998).

Estudos buscando avaliar o potencial de uso de diferentes espécies de polinizadores em cultivos agrícolas tem sido realizados, tanto em campo aberto como em casas de vegetação, mesmo que de forma incipiente ainda, frente a diversidade de abelhas nativas e plantas cultivadas (IMPERATRIZ-FONSECA; KLEINERT-GIOVANNINI, A.; PIRES, 2006; SLAA

et al., 2006). Mais além, poucos estudos de polinização com relação a produção de frutos e sementes utilizando a metodologia de controle de acesso de polinizadores às flores foram realizados para as culturas agrícolas, bem como estudos que buscam identificar os principais polinizadores das culturas agrícolas (KLEIN *et al.*, 2007). Porém, estudos sobre a relação entre polinizadores e a produção de alimentos têm aumentado em décadas recentes, ao mesmo tempo que grupos de pesquisa nesta área também têm apresentado aumento no país (BPBES/REBIPP, 2019). Estes estudos, são muito importantes para o estabelecimento de políticas voltadas ao manejo apropriado de plantas cultivadas e silvestres e a conservação dos animais polinizadores (BPBES/REBIPP, 2019). Sendo assim, este conhecimento pode contribuir para ressaltar a importância e garantir o serviço ecossistêmico de polinização, a despeito de ainda haver uma brecha entre polinização e polinizadores de várias espécies vegetais ligadas às culturas agrícolas no país (BPBES/REBIPP, 2019). Por exemplo, Amaral (1972), em Piracicaba, SP, demonstrou aumento de 72% na produção de café, na presença de insetos polinizadores. O experimento conduzido por Malerbo-Souza e colaboradores (2003), apresentou um aumento na média de grãos de café produzidos, em um período de dois anos consecutivos, 1993 e 1994, e de 38% e 168%, respectivamente, em flores deixadas expostas a agentes polinizadores, quando comparada a flores isoladas de agentes polinizadores.

A polinização realizada por *M. quadrifasciata* pode beneficiar a produção em várias culturas agrícolas. Estudos mostraram que plantações de tomates polinizadas por *M. quadrifasciata* tiveram sua produção de sementes aumentada em 47%. Além disso, os tomates apresentaram uma concentração de açúcar incrementada em 14%, o que sugere que a introdução da mandaçaia foi favorável nesses cultivos (BARTELLI e NOGUEIRA-FERREIRA, 2014). A introdução de *M. quadrifasciata*, em casa de vegetação, resultou em frutos maiores e mais pesados em comparação com os frutos resultantes da polinização com *A. mellifera* (SANTOS; BEGO; ROSEINO, 2004). Em plantações de maçã, o manejo de *M. quadrifasciata* foi benéfico, uma vez que resultou em aumentos no número de frutos e sementes (VIANA *et al.*, 2014). Em cultivos de café, *M. quadrifasciata* foi identificada como polinizador (GIANNINI *et al.*, 2015b), no entanto estudos a contribuição de polinizadores manejados para a produção do café ainda são incipientes (NGO, 2011).

As abelhas nativas como *M. quadrifasciata anthidioides* (ANTONINI e MARTINS, 2003), dependem da conservação de ambientes naturais para forragear por recursos alimentares, construir seus ninhos em árvores e buscar abrigos para se protegerem de predadores (ELTZ *et al.*, 2003). Assim, a perda de habitat é uma das maiores ameaças às abelhas nativas (GOULSON

et al., 2008). Portanto, a fragmentação e a destruição dos habitats resultam na diminuição de alimentos e de locais para nidificação dos polinizadores, principalmente as abelhas que para forragearem, limitam-se a em um certo raio de alcance (KREMEN *et al.* 2007).

A proximidade dos remanescentes florestais em relação à lavoura de café influenciou positivamente a comunidade de abelhas nativas, sendo a quantidade de cobertura florestal no entorno um fator a ser considerado na produção de café (SATURNI *et al.*, 2016). Áreas cultivadas próximas de remanescentes florestais tiveram produção cerca de 14,6% maior e este aumento foi relacionado com a existência de polinizadores nestes locais (DE MARCO e COELHO, 2004). Assim, os remanescentes florestais são importantes, pois levam ao aumento da ocorrência de polinizadores nas lavouras de café (RICKETTS *et al.*, 2004). Mais além, uma densidade de polinizadores quatro vezes maior pode aumentar em até 80% a produção (VEDDELER *et al.*, 2006). Contudo, estudos sobre o papel da densidade de abelhas nativas na polinização ainda são pouco frequentes (NGO; MOJICA; PACKER, 2011). A polinização de café também pode ser influenciada por escalas que levam em conta a distância de forrageamento das abelhas (KREMEN *et al.*, 2007). Distâncias maiores das culturas agrícolas em relação aos habitats naturais e, conseqüentemente, populações de polinizadores nativos resultam em menor produtividade (GARIBALDI *et al.*, 2011). Logo, diferentes escalas de distância devem ser consideradas para entender a polinização em paisagens agrícolas.

As espécies de maior relevância na polinização do café considerando a distribuição geográfica das abelhas são: *A. mellifera* e *M. quadrifasciata anthidioides* (GIANNINI *et al.*, 2015b). Nogueira Neto, Carvalho e Antunes (1959) verificaram que estas abelhas foram mais eficientes na polinização do cafeeiro ao considerar que as duas espécies fazem contato com as anteras e o estigma das flores durante as visitas. Contudo, uma das principais vantagens no manejo de *M. quadrifasciata anthidioides* é que a espécie é pouco agressiva (NOGUEIRA-NETO, 1970). Portanto, neste trabalho, tivemos o objetivo de avaliar o possível uso de *M. quadrifasciata anthidioides* no cultivo de café para aumentar a produção. Para isso, foram introduzidas caixas com ninhos de *M. quadrifasciata anthidioides* em propriedades com lavoura de café no Sul de Minas Gerais, utilizando métodos de controle de acesso de polinizadores com o intuito de avaliar o quanto essa abelha pode contribuir para melhorar a produção. Para isso, foram consideradas como variáveis-resposta a taxa de frutificação o tamanho e peso das sementes de café. Áreas com introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* foram comparadas a áreas sem caixas ninho da espécie. Em ambas áreas, os ramos de café foram cobertos e isolados de polinizadores e foram comparados a ramos

descobertos permitindo o acesso dos visitantes florais. A influência da densidade de ninhos de abelhas nativas e a distância de remanescentes florestais próximos das áreas de cultivo também foram avaliados. Uma vez que não existem trabalhos sobre a introdução de ninhos desta espécie na lavoura cafeeira, os resultados deste estudo podem contribuir para aumentar o conhecimento sobre manejo de polinizadores do café, servindo como base para a elaboração de planos de manejo na lavoura de café e a conservação de polinizadores nativos presentes em remanescentes florestais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 INTRODUÇÃO DE *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepageletier, 1836 (Insecta, Hymenoptera, Apidae)

Foram selecionadas cinco localidades de cultivo de café arábica (*Coffea arabica* L.) na região Sul de Minas Gerais, nos municípios de Campos Gerais (21°14'7"S; 45°45'12"O) e Campo do Meio (20°16'0"S; 46°22'60"O) (Tabela 1) (Figura 1) para realização do experimento de introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*. Estes dois municípios, possuem a base econômica ligada à agricultura, com cultivos de café, milho, feijão, batata, soja e pastagens para pecuária de leite e corte, sendo a cafeicultura a principal atividade econômica (IBGE, 2020). Especificamente, o município de Campos Gerais, em 2019, foi classificado como o segundo maior município produtor de café do Brasil (EMATER, 2019). Nestas localidades, a altitude varia de 700m a 900m. A vegetação predominante é caracterizada como de transição entre Cerrado e Mata Atlântica, com clima temperado quente, sofrendo influência da altitude e de frentes frias, com inverno seco e verão chuvoso (MARTINS *et al.*, 2018).

As localidades estudadas denominadas Goiabeiras, Barra, Itapiché e CG ficam no município de Campos Gerais e a localidade Taboão fica no município de Campo do Meio (Tabela 1). A seleção da área experimental em cada propriedade considerou os seguintes critérios: espaçamento de 3 m entre linhas e 1 m entre os pés de café; idade do cultivo que variaram de cinco a dez anos; manejo convencional semelhante, com quatro adubações foliares e correção do solo. Durante o período de realização dos experimentos, incluindo o período de florada, os proprietários informaram que não foi utilizado nenhum inseticida para não interferir

na frequência e comportamento de forrageamento dos insetos. Cada área experimental foi demarcada dentro das lavouras com uma área de 144 m² em forma de quadrado de 12m x 12m, contendo quatro linhas com 12 pés cada, totalizando 48 pés de café. As localidades variaram em porcentagem de remanescente florestal no entorno da área amostrada (Figuras 2, 3, 4, 5 e 6). As áreas são distantes entre si no mínimo 3 km para evitar a interferência entre as abelhas manejadas dado que a distância máxima de voo de *M. quadrifasciata anthidioides* para forrageamento é de 2,5 km (NOGUEIRA-NETO, 1997). Nestas áreas, foi avaliada a produção de café após serem introduzidos caixas ninho de abelhas *M. quadrifasciata anthidioides* nos cultivos. Para isso, foram inseridos duas caixas ninho em cada uma de três áreas durante a florada de 2018 (Goiabeiras, Itapiché e Barra) e duas áreas (Taboão e CG) foram usadas como grupo controle sem introdução de caixas ninho (Figura 1).

Tabela 1. Localização da áreas estudadas nos municípios de Campos Gerais e Campo do Meio no Sul de Minas Gerais, Brasil.

Localidade	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Goiabeiras	Campos Gerais	21°12'53.11"S	45°53'23.55"W	816
Barra	Campos Gerais	21°13'56.54"S	45°56'17.01"W	804
Itapiché	Campos Gerais	21°11'23.56"S	45°55'14.74"W	805
CG	Campos Gerais	21°14'34.25"S	45°46'7.96"W	900
Taboão	Campo do Meio	21° 6'57.54"S	45°48'13.74"W	808

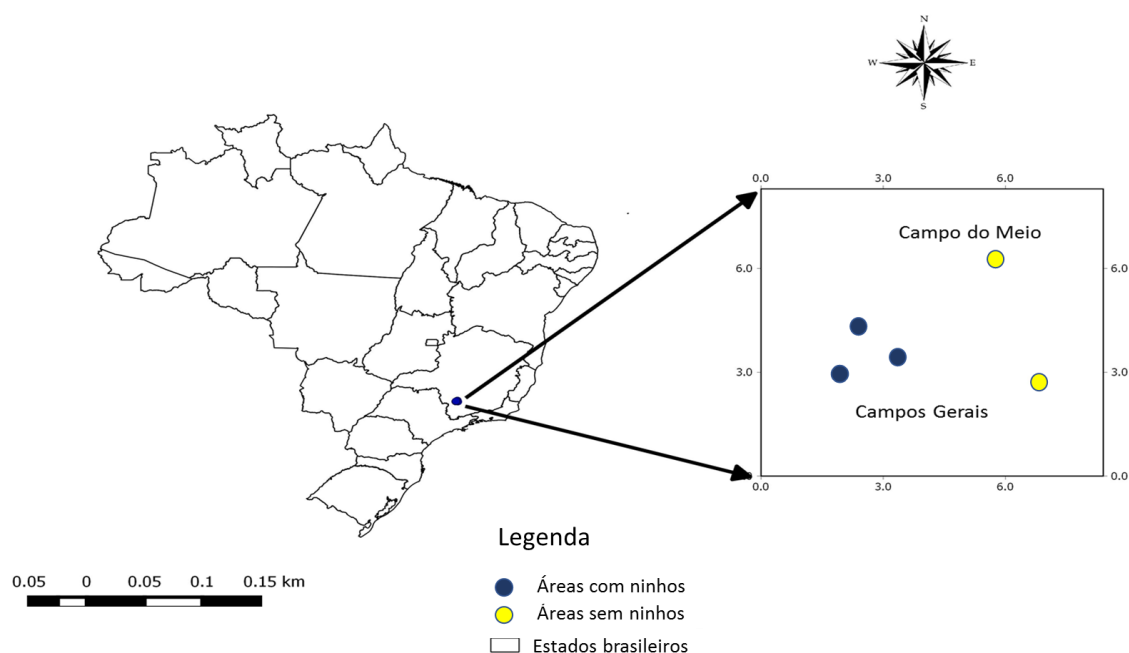


Figura 1 - Localização da área de estudo no Sul de Minas Gerais e locais do experimento introdução de caixas ninho de *Melipona quadrfasciata anthidioides* nos municípios de Campos Gerais e Campo do Meio, tendo como referência o mapa do Brasil. Os pontos azuis representam localidades com introdução de caixas ninho e os pontos amarelos representam localidades sem introdução de caixas ninho.

A principal florada de café, na qual foram realizadas as coletas, as observações e o experimento de polinização, ocorreu nos dias 25, 26, 27 e 28 de outubro de 2018. A florada foi monitorada, observando-se o dia de início da abertura dos botões florais para que as caixas com ninhos pudessem ser introduzidas com antecedência na lavoura, a tempo das abelhas realizarem a polinização das flores cobrindo todo o período da florada. A maturação dos frutos foi acompanhada até a colheita (abril de 2019) dos últimos grãos maduros, levando cerca de 217 dias, o que coincide com o intervalo entre o início da florada e a maturação dos frutos já registrado na literatura de cerca de 220 dias (CORTEZ; 1997, 2001).

As caixas com ninhos de *M. quadrfasciata anthidioides* foram colocados no centro das áreas experimentais a uma altura de um metro e meio acima do solo, para evitar o ataque de predadores. Durante o experimento, as caixas foram monitoradas, cobertas com pranchas de madeira para evitar o superaquecimento dos ninhos e evitar o ataque de possíveis predadores. As caixas de *M. quadrfasciata anthidioides* foram obtidas de um meliponário localizado no

município de Passos, Minas Gerais, do proprietário José Mauro Souza, que garantiu a qualidade dos ninhos como fortes e com grande número de campeiras.

2.2 CONTRIBUIÇÃO DE POLINIZADORES

Para verificar como a polinização influenciou a produção de café foi comparado o tratamento de exclusão de polinizadores (ramos cobertos) com o tratamento controle de polinização natural (ramos descobertos). Foram selecionados aleatoriamente 20 plantas em cada área. Assim que houve o desenvolvimento de inflorescências nas plantas de café, foram aleatoriamente marcados ramos com botões florais (três por pé de café) que foram cobertos com tecido *voile* que impede a entrada de insetos, com 20 repetições (plantas) em cada área. Outros ramos (três por pé de café) permaneceram descobertos, sendo livremente visitados por abelhas e outros insetos, com 20 repetições, nas mesmas plantas, em cada área. Com isso, foi estimada a taxa de frutificação (a partir de uma média de 45 flores por ramo, nos 300 ramos cobertos sem acesso de polinizadores e nos 300 ramos descobertos), tanto nas áreas com introdução de *M. quadrifasciata anthidioides*, quanto nas áreas sem introdução, totalizando 600 ramos analisados em todas as áreas. Sendo assim, em cada planta de café, três ramos foram isolados dos polinizadores e três ficaram expostos aos polinizadores, totalizando seis ramos em cada planta de café. A menor unidade amostral de tratamento foi o ramo de café. Os ramos com acesso de polinizadores após o período da florada foram cobertos para melhor monitoramento e evitar o ataque de predadores. O número de flores por ramo foi contado antes e depois de serem cobertas, para registrar a quantidade de flores que foi monitorada até a frutificação. Em seguida, foi calculada a taxa de frutificação pela razão entre o número de grãos contados próximo da colheita e o número de flores. Durante o monitoramento dos ramos de café, foram realizadas quatro recontagens, sendo uma do número de flores em novembro, imediatamente após a abertura das flores e outras três do número de grãos em desenvolvimento nos seguintes meses sequencialmente: janeiro, março e abril. A colheita e a contagem dos frutos foram realizadas quando estes já estavam maduros prontos para serem colhidos, entre o dia 15 de abril e 31 de maio de 2019. Foram realizadas várias colheitas entre as áreas à medida que amadureciam, sendo que grãos secos não foram colhidos. Os grãos colhidos foram colocados dentro de sacos de papel com a correta identificação do ramo, planta, tratamento e área. Em seguida, os grãos foram secos em estufa de secagem com circulação e renovação de ar, durante 72h a 60°C. Procurou-se usar vidraria padronizada para a secagem das sementes e as sementes foram descoladas da vidraria e revolvidas durante a secagem. As sementes secas foram

armazenadas no Laboratório de Botânica da UNIFAL-MG. As sementes secas foram pesadas e medidas (comprimento). Para a pesagem foi utilizada balança de precisão laboratorial de quatro dígitos, e para medir o comprimento das sementes foi utilizado paquímetro digital. No total, foram pesadas e medidas 8.660 sementes uma a uma.

2.3 DENSIDADE DE NINHOS DE ABELHAS NATIVAS E EXÓTICAS

Para verificar a influência de ninhos de outras espécies de abelhas nativas e exóticas na produção de café foi realizada inicialmente uma incursão no remanescente florestal mais próximo do local do experimento de polinização e em seu entorno (Figuras 2, 3, 4, 5 e 6) em cada localidade estudada, a fim de registrar a presença de ninhos de abelhas nativas e exóticas. As incursões foram realizadas de junho a agosto de 2019. Uma amostra de indivíduos de cada ninho foi coletada para identificação das espécies. Após observação direta dos ninhos, cada ninho foi devidamente identificado para futuras coletas de dados e foi realizado o georreferenciamento utilizando-se GPS Garmin portátil (modelo 76x). O método utilizado para verificar a presença de ninhos foi por meio de caminhadas ao acaso, procurando-se explorar todo o espaço e ambiente no remanescente florestal e ao redor das áreas cultivadas observando com detalhes todas as estruturas do ambiente (NOGUEIRA-NETO *et al.*, 1986), tais como: as árvores vivas e mortas, cupinzeiros, além de orifícios no solo e barrancos nos quais possíveis ninhos poderiam ser registrados. O tipo de uso da terra nas áreas percorridas para a busca dos ninhos, além dos remanescentes florestais, eram circundados predominantemente por lavouras de café e pastagens para criação de gado. As abelhas foram encontradas nas proximidades das áreas experimentais com ou sem ninhos introduzidos de *M. quadrifasciata anthidioides* e principalmente dentro dos remanescentes florestais mais próximos. Cada remanescente florestal e seu entorno foram percorridos por cerca de oito horas de observação nos horários de melhor visualização entre 8h e 17h (Figuras 2, 3, 4, 5 e 6). A densidade dos ninhos em cada área foi calculada pela razão entre o número total de ninhos encontrados e a área total percorrida pela busca dos ninhos. Durante a busca dos ninhos foram encontrados um total de 45 ninhos (Material suplementar 1) de abelhas nativas e exóticas dentro dos remanescentes florestais e ao redor destes. Foram amostrados, em todas as áreas, um total de 152,5 ha com densidade total de 0,28 ninhos/ha. A densidade de ninhos em cada localidade foi: Goiabeiras (0,8/ha), Taboão (0,27/ha), CG (0,26/ha), Barra (0,07/ha) e Itapiché (0,037/ha). Especificamente, foram registrados 6 ninhos de *Apis mellifera*: Goiabeiras (4), Taboão (zero), CG (1), Barra (zero) e

Itapiché (1); e 38 ninhos de abelhas nativas: Goiabeiras (27), Taboão (5), CG (3), Barra (2) e Itapiché (1).



Figura 2 – Área amostrada na busca de ninhos de abelhas nativas e exóticas (polígono demarcado em amarelo) e local onde foi realizado o experimento em destaque na área Goiabeiras, município de Campos Gerais. Coordenadas da área: $21^{\circ}12'53.11''\text{S}$ - $45^{\circ}53'23.55''\text{W}$.
Fonte: Google Earth (2020).



Figura 3 - Área amostrada na busca de ninhos de abelhas nativas e exóticas (polígono demarcado em amarelo) e local onde foi realizado o experimento em destaque na área Itapiché, município de Campos Gerais. Coordenadas da área: $21^{\circ}11'23.56''\text{S}$ - $45^{\circ}55'14.74''\text{W}$. Fonte: Google Earth (2020).



Figura 4 - Área amostrada na busca de ninhos de abelhas nativas e exóticas (polígono demarcado em amarelo) e local onde foi realizado o experimento em destaque na área Barra, município de Campos Gerais. Coordenadas da área: $21^{\circ}13'56.54''\text{S}$ - $45^{\circ}56'17.01''\text{W}$. Fonte: Google Earth (2020).



Figura 5 - Área amostrada na busca de ninhos de abelhas nativas e exóticas (polígono demarcado em amarelo) e local onde foi realizado o experimento em destaque na área CG, município de Campos Gerais. Coordenadas da área: 21°14'34.25"S - 45°46'7.96"W. Fonte: Google Earth (2020).



Figura 6 - Área amostrada na busca de ninhos de abelhas nativas e exóticas (polígono demarcado em amarelo) e

local onde foi realizado o experimento em destaque na área Taboão, município de Campo do Meio.
Coordenadas da área: 21° 6'57.54"S - 45°48'13.74"W.
Fonte: Google Earth (2020).

2.4 DISTÂNCIA DOS REMANESCENTES FLORESTAIS

A distância entre o remanescente mais próximo e a área experimental correspondente a cada localidade foi considerada como um possível fator de influência na produção de café e variou de 20 a 600m. As distâncias foram calculadas em linha reta entre a área do experimento de polinização e a borda do remanescente florestal mais próximo, onde foi concentrada a busca dos ninhos de abelhas nativas e exóticas. As distâncias foram: Goiabeiras (20m), Barra (100m), Taboão (175m), Sidinei (485m) e Itapiché (600m).

2.5 VISITANTES FLORAIS

Para verificar a presença de outros insetos polinizadores que podem influenciar nos resultados do experimento, foi avaliada a frequência de visitação dos insetos coletados nas flores do cafeeiro ao decorrer dos dias da principal florada. Para isso, foi feita a contagem nos primeiros 25 minutos de cada horário, das 7h00 às 18h00, em cada área. Essa contagem foi realizada percorrendo-se as quatro linhas dos cafezais, durante 25 minutos, em cada horário anotando-se o horário de coleta (MALERBO-SOUZA e HALAK, 2012). Em cada área, a coleta ativa durou 8h, totalizando 40h em todas as áreas. A constância (C) desses insetos foi obtida utilizando-se a fórmula: $C = (P \times 100) / N$, onde P é o número de coletas de uma espécie sobre N que é o número total de coletas efetuadas (SILVEIRA-NETO *et al.*, 1976). As espécies encontradas forrageando foram coletadas e identificadas e foi calculado a riqueza (S) de cada área como o número total de espécies coletadas.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis explicativas comparadas nos modelos foram introdução das caixas ninho, contribuição de polinizadores,, densidade dos ninhos do remanescente florestal mais próximo e a distância do local do experimento com relação ao remanescente mais próximo. As variáveis de resposta referentes ao aumento na produção foram: taxa de frutificação (razão entre frutos formados e flores marcadas), tamanho e peso das sementes. O modelo estatístico utilizado para analisar a taxa de frutificação foi o modelos aditivos generalizados para localização, escala e forma (GAMLSS) (RIGBY e STASINOPOULOS, 2005), utilizando o ambiente RStudio. Os modelos GAMLSS empregam uma abordagem de regressão distributiva em que todos os

parâmetros da distribuição condicional da variável resposta são modelados aplicando variáveis explicativas. Estes modelos são mais complexos e realísticos que permitem que a família de distribuição da variável resposta não seja exclusivamente exponencial e inclui uma ampla variedade de famílias de distribuição (RIGBY e STASINOPOULOS, 2005). Dentre as famílias de distribuição dos modelos GAMLSS testadas para os dados, foi selecionada a distribuição betabinomial para análise das taxas de frutificação. Esta família tem distribuição discreta conjugada à distribuição binomial, frequentemente utilizada para capturar a superdispersão de dados com distribuição binomial (NAVARRO e PERFORNS, 2020). Já a família de distribuição usada no modelo estatístico com efeito misto para o peso, foi a distribuição normal no pacote GAMLSS. No modelo estatístico do tamanho das sementes, usou-se modelo linear de efeito misto, no pacote GAMLSS para dados normais, com distribuição normal (RIGBY e STASINOPOULOS, 2005). Os modelos foram selecionados com base na análise dos resíduos (Material suplementar 2) e nos valores de AIC, considerando-se $\Delta AIC \leq 2$ (Tabela 1). A diferença entre os tratamentos foi calculada utilizando os valores de (p) do teste de Wald. O teste de Wald é um teste de hipóteses, que é obtido por comparação entre a estimativa de máxima verossimilhança do parâmetro e a estimativa de seu erro padrão (HOSMER e LEMESHOW, 2013).

O relacionamento entre os parâmetros e as variáveis explicativas dos melhores modelos ajustados foram plotados (melhores parâmetros) com as variáveis explicativas que foram significativas para as variáveis resposta. Estes modelos foram: *introdução + contribuição + densidade + distância* para taxa de frutificação, *introdução + contribuição + densidade + distância* para peso das sementes e *introdução + contribuição + densidade* para tamanho das sementes, pois a distância não foi significativa neste último, sendo assim foi excluída do modelo (Tabela 1). Os fatores aleatórios usados nos modelos foram as localidades onde foram realizados os experimentos e as plantas. Em seguida, as relações entre os parâmetros e as variáveis preditoras significativas dos melhores modelos foram plotadas (Figuras 7, 8 e 9). Os valores percentuais de aumento em cada variável resposta foram obtidos pela diferença percentual entre os valores preditos e os controles (i.e., ausência de ninhos e exclusão de polinizadores). Já as diferenças percentuais entre a densidade de ninhos de abelhas nativas e a distância dos remanescentes florestais foram obtidas pela diferença entre os valores entre a maior e a menor densidade, e da diferença entre a maior e a menor distância, respectivamente.

3 RESULTADOS

A introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*, a contribuição de polinizadores, a densidade de ninhos de abelhas nativas e a distância dos remanescentes florestais influenciaram a produção de café (Tabela 1) (Figuras 7, 8 e 9) (Material suplementar 2). O aumento da produção pelo manejo de *M. quadrifasciata anthidioides* resultou em aumento de 19% na taxa de frutificação, 10% no tamanho das sementes e 35% no peso das sementes. A contribuição de polinizadores resultou em aumento de 46% na taxa de frutificação, 3% no tamanho das sementes e 5% no peso das sementes. Enquanto a densidade de ninhos de abelhas nativas no entorno dos cultivos contribuiu para o aumento da taxa de frutificação (28%), o peso (24%) e o tamanho (6%) das sementes. A distância dos remanescentes florestais foi um fator de variação positiva para taxa de frutificação e peso das sementes em 25% e 23%, respectivamente. Contudo, este efeito não foi proporcional, ou seja, o efeito na taxa de frutificação e no peso das sementes foi significativo apenas entre a menor e a maior distância dos cultivos em relação aos remanescentes florestais.

Tabela 2 – Seleção de modelos usados para explicar os efeitos de manejo, exclusão de polinizadores, densidade de abelhas nativas e distância dos remanescentes florestais sobre a taxa de frutificação, tamanho e peso das sementes. Estimativas da contribuição das variáveis preditoras sobre as variáveis de resposta analisadas por modelos aditivos generalizados para localização, escala e forma (GAMLSS): variável resposta, modelo, AIC, variável preditora, fator de melhora, sentido resultado, estimativa, valor t e valor de (p).

Variável resposta	Modelo	AIC	Variável preditora	Fator de melhora	Sentido do resultado	Estimativa	Valor t	Valor de p
Taxa de frutificação	Manejo + exclusão + densidade + distância	3760	manejo	sem caixas	diminuindo	-0.38	-3.69	<0.001
			exclusão	com acesso	aumentando	0.57	5.9	<0.001
			densidade	nº ninhos	aumentando	1.45	6.95	<0.001
			distância	remanescentes florestais	variando	0.001	3.86	<0.001
Tamanho das sementes	Manejo + exclusão + densidade + distância	21423	manejo	sem caixas	diminuindo	-0.42	-21.7	<0.001
			exclusão	com acesso	aumentando	0.13	6.9	<0.001
			densidade	nº ninhos	aumentando	0.29	9.9	<0.001
			distância	remanescentes florestais	não significativo	-	-	-
Peso das sementes	Manejo + exclusão + densidade + distância	37231	manejo	sem caixas	diminuindo	<0.001	-22	<0.001
			exclusão	com acesso	aumentando	<0.001	2.2	0.025
			densidade	nº ninhos	aumentando	<0.001	15.5	<0.001
			distância	remanescentes florestais	variando	<0.001	3.3	<0.001

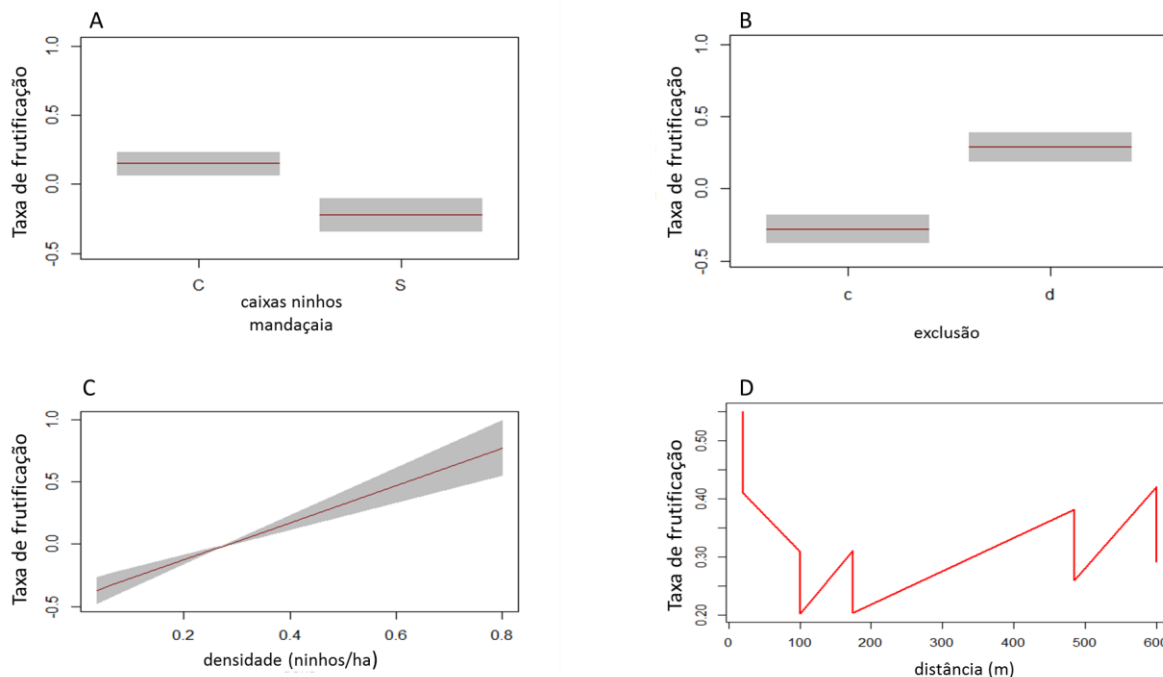


Figura 7 – Efeito da introdução das caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* (A) (19%) (c = com caixas ninho, s = sem caixas ninho), do acesso de polinizadores (46%) (d = acesso de polinizadores, c = exclusão de polinizadores), densidade de ninhos de abelhas nativas (número de ninhos/hectare) (C) (28%) e distância dos remanescentes florestais (D) (25%) sobre a taxa de frutificação em áreas de cultivo de café arábica (*Coffea arabica*) no Sul de Minas Gerais, Brasil.

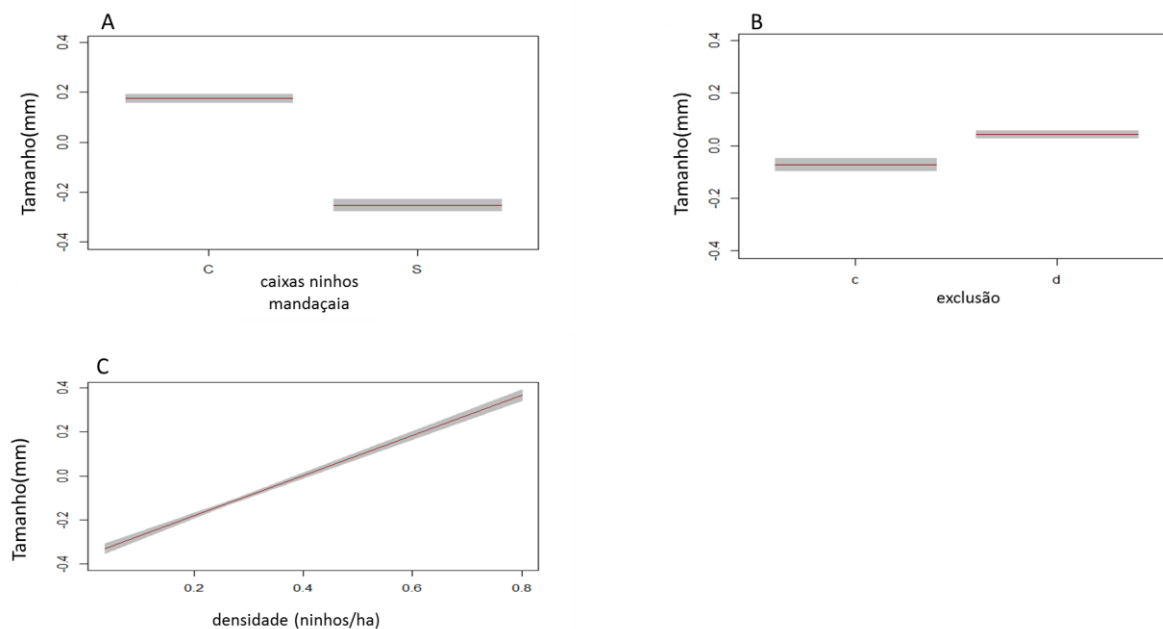


Figura 8 - Efeito da introdução das caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* (A) (10%) (c = com caixas ninho, s = sem caixas ninho), do acesso de polinizadores (B) (3%) (d = acesso de polinizadores, c = exclusão de polinizadores) e densidade de ninhos de abelhas nativas (número de ninhos/hectare) (C) (6%) sobre o tamanho das sementes em áreas de cultivo de café arábica (*Coffea arabica*) no Sul de Minas Gerais, Brasil.

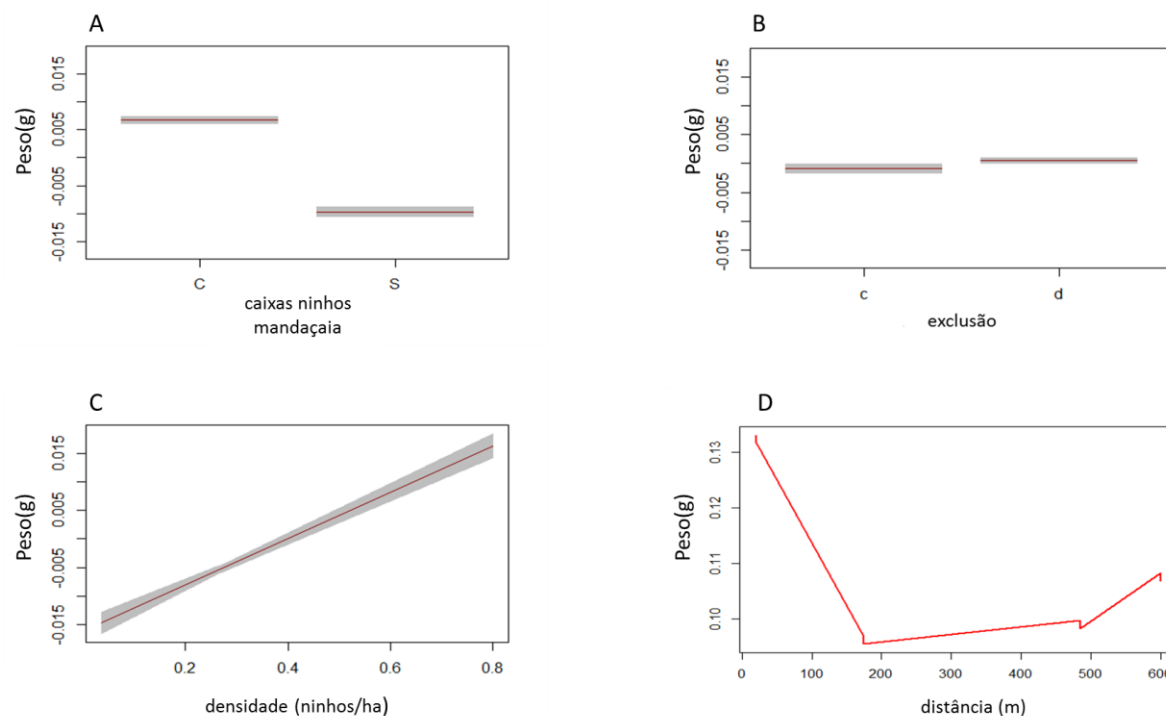


Figura 9 - Efeito da introdução das caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* (A) (35%) (c = caixas ninho, s = sem caixas ninho), do acesso de polinizadores (B) (5%) (d = acesso de polinizadores, c = exclusão de polinizadores), densidade de ninhos de abelhas nativas (número de ninhos/hectare) (C) (24%) e (*Coffea* distância dos remanescentes florestais (D) (23%) sobre o peso das sementes em áreas de cultivo de café arábica *arabica*) no Sul de Minas Gerais, Brasil.

Foram capturados um total de 87 insetos nas flores de café durante a principal florada em outubro de 2018, representando uma riqueza de 20 espécies diferentes entre abelhas, vespas e besouros. Os gêneros e espécies mais constantes foram: *Apis mellifera* (41,5%); *Trigona spinipes* (12,6%); *Geotrigona* sp. 1 (9,2%); *Plebeia* sp.1 e *Trigona* sp.1 (5,8%), *Tetragonisca cf. angustula* e *Vespidae* sp.1 (3,5%) (Tabela 2). Os registros de *M. quadrifasciata anthidioides* são de espécimes provenientes das caixas ninho introduzidas que foram observados nas flores de café (Tabela 2) (Figura 15).

Melipona quadrifasciata anthidioides foi registrada visitando a flor do cafeeiro, (Figura 10). Ao visitar as flores, a espécie apresenta voo rápido por entre as flores, por vezes coletando pólen ou néctar. As abelhas das caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*, assim que foram colocadas nas áreas, rapidamente saíram para reconhecimento do local e forrageamento. Não foi registrada nenhuma mandaçaia na coleta ativa durante o experimento de polinização nas áreas sem a introdução das caixas ninho. Um ninho selvagem da espécie foi encontrado durante caminhada, em um remanescente florestal na área de estudo em Campos Gerais, em uma área sem manejo de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*.



Figura 10 - *Melipona quadrifasciata anthidioides* visitando a flor de café.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que a introdução das caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*, bem como o acesso de polinizadores às flores de café contribuíram para aumentar a taxa de frutificação, o tamanho e o peso das sementes. Além disso, a densidade de ninhos de abelhas nativas no entorno do cultivo de café também contribuiu para aumentar a taxa de frutificação, o tamanho e o peso das sementes, enquanto o efeito da distância dos cultivos em relação aos remanescentes florestais foi variável entre as áreas. De maneira geral, a taxa de frutificação e o tamanho das sementes foram maiores em áreas mais próximas dos remanescentes florestais.

O uso potencial de *M. quadrifasciata* para polinização e incremento da produção de café ainda não havia sido testada até onde sabemos. A espécie já havia sido registrada como visitantes floral no cafeeiro (GIANNINI, *et al.*, 2015b), podendo ser um polinizador eficiente devido ao seu tamanho corporal permitir tocar as estruturas reprodutivas das flores (NOGUEIRA-NETO; CARVALHO; ANTUNES, 1959). Contudo, o manejo da espécie para polinização foi estudado para aumento da produção de pimentão, tomate e maçã (BARTELLI; NOGUEIRA-FERREIRA, 2014; VIANA *et al.*, 2014). Neste estudo, demonstramos que a introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata anthidioides* teve um efeito positivo na produção de café. Este efeito pode ser considerado benéfico tanto em termos quantitativos - quanto a quantidade de frutos produzidos (taxa de frutificação), quanto qualitativos - sobre o tamanho e peso das sementes. Estes efeitos positivos se traduzem tanto em termos ganhos de quantidade produzida por área, quanto por maior valor agregado no mercado para grãos maiores (MAPA, 2003). Desta forma, a introdução de caixas ninho de *M. quadrifasciata* durante a florada de café pode trazer benefícios para a produção, mas ressaltamos a necessidade de respeitar seu uso potencial para o manejo em áreas que ocorre naturalmente e uma avaliação da quantidade mais apropriada de caixas por área ainda deve ser melhor avaliada.

Este estudo corrobora com as evidências de que os polinizadores contribuem para aumentar a produção de café. Estudos prévios já haviam demonstrado que o acesso de polinizadores às flores de café, quando comparados às flores isoladas, produzem de 10% a 30% mais frutos, e, em alguns casos de maior tamanho e peso (AMARAL, 1952; ROUBIK, 2002; MALERBO-SOUZA *et al.*, 2003; MALERBO-SOUZA e HALAK, 2012; SILVA, 2013; SATURNI *et al.*, 2016), mesmo em *C. arabica* que é uma espécie autocompatível (CARVALHO; KRUG; MENDE, 1950). Desta forma, o acúmulo de evidências sobre o efeito positivo da polinização para a produção de café arábica deve ser ressaltado como um aspecto relevante a ser considerado na gestão da produção de café.

Além disso, o contexto ao redor da área cultivo também traz benefícios para a produção de café. Até o momento, poucos estudos haviam avaliado a influência da densidade de ninhos na produção cafeeira (NGO; MOJICA; PACKER, 2011). Apesar da influência positiva da densidade de ninhos de abelhas nativas registrada neste estudo, os valores, de 0,037/ha a 0,8/ha, ainda são inferiores ao registrado em estudos nos Neotrópicos, de 0,89/ha a 3.33/ha (KLEINERT, 2006; SOUZA, 2014). Abelhas nativas requerem substratos em árvores, principalmente de grande porte, para abrigar seus ninhos, sendo a parte de habitat um fator limitante na área de estudo. Desta forma, a restauração de áreas naturais e conservação dos

remanescentes florestais já existentes no entorno dos cultivos de café podem considerar espécies de plantas preferenciais para nidificação e forrageamento das abelhas nativas com o intuito de conservar o serviço ecossistêmico de polinização na agricultura e agregar benefícios à produção de café.

Mais além, maior diversidade de abelhas nos remanescentes florestais pode aumentar o serviço de polinização resultando em aumento na produção (KLEIN *et al.*, 2003). Neste sentido, os remanescentes florestais próximos às áreas de cultivos de café podem abrigar maior diversidade de polinizadores que contribuem para maior produção (RICKETTS *et al.*, 2004). Assim, a proximidade da lavoura de café em relação aos remanescentes florestais influencia positivamente a comunidade de abelhas nativas, sendo um fator para aumento na produção (SATURNI *et al.*, 2016). A produção cafeeira nas fazendas com cultivos próximos a remanescentes florestais foi maior cerca de 14,6% e este aumento foi associado a presença de polinizadores nestes locais (DE MARCO e COELHO, 2004). Neste estudo, a distância dos remanescentes florestais da área do experimento não aumentou de forma proporcional a produção em todas as áreas, sendo o efeito maior em áreas mais próximas de remanescentes para taxa de frutificação e peso das sementes. Neste caso, a ausência clara de efeito pode estar associada ao fato que todas as áreas experimentais estão próximas a remanescentes florestais, no raio de alcance de voo das abelhas nativas e exóticas dos ninhos encontrados nestes remanescentes florestais.. Sendo assim, a distância da lavoura em relação a remanescentes florestais também devem ser considerada na gestão da produção de café com o intuito de aumentar o serviço de polinização.

A diversidade de visitantes florais em cultivos de café é mais associada às abelhas, mas outros grupos de insetos podem ser registrados nas flores. Malerbo Souza e Halak (2012) registraram três espécies nas flores do cafeeiro: *Apis mellifera*, *Trigona spinipis* e *Tetragonisca angustula*. Já Silva (2013) registraram cinco espécies nas flores do cafeeiro, que foram *A. mellifera*, *T. spinipes*, *Schwarziana quadripunctata*, *Paratrigona* sp. e uma espécie de Halictini. Neste estudo, registramos 20 espécies de visitantes florais, sendo 65% espécies de abelhas, 3% vespas e 0,5% besouros. Apesar desta diversidade em termos de riqueza de visitantes florais, a maior parte (57%) dos espécimes coletados está concentrada em apenas três espécies: *A. mellifera* (37%), *T. spinipes* (12%) e *Geotrigona* sp. 1 (8%). De fato, *A. mellifera*, tem sido amplamente registrada em estudos de polinização de café (RAMALHO e JESUS, 1990; MALERBO-SOUZA *et al.*, 2003; MALERBO-SOUZA e HALAK, 2012). *Apis mellifera*, é uma espécie exótica e generalista que compete diretamente com outras espécies de abelhas

nativas (GAMITO e MALERBO-SOUZA, 2006). Portanto, cenários de elevada abundância de *A. mellifera* podem afetar o comportamento de forrageamento de outras espécies nativas. Desta forma, é necessária a conservação do habitat natural para manter populações viáveis de diversas espécies de abelhas nativas (ROUBICK, 1989). A conservação da diversidade de polinizadores garante o serviço de polinização e gera benefícios para a produção de inúmeros cultivos agrícolas além do café.

Melipona quadrifasciata é considerada um polinizador eficaz para a flor de café (NOGUEIRA-NETO; CARVALHO; ANTUNES, 1959). A espécie apresenta maior atividade externa em horários de temperatura mais baixas e de umidade relativamente alta (GUIBU *et al.*, 1988), usualmente de manhã, entre 5h e 9h (PADILHA, 2017). Na área de estudo, registramos poucas visitas da espécie na flor de café, apesar do efeito positivo da introdução das caixas ninho sobre a produção. Um aspecto que pode ter influenciado o baixo número de visitas da espécie nas flores do café foi temperatura alta durante o dia, o que interfere no comportamento de forrageamento da espécie. De fato, as três visitas de mandaçaia foram registradas pela manhã. No entanto, uma avaliação mais detalhada sobre a quantidade ideal de caixas ninho a serem introduzidas na lavoura durante a florada ainda deve ser melhor estudada.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, ressaltamos a importância dos polinizadores para aumentar a produção de café. Este incremento na produção se deu em termos quantitativos (taxa de frutificação) e qualitativos (tamanho e peso das sementes), com potencial de agregar valor ao produto. Destacamos ainda que lavouras próximas à remanescentes florestais também podem ter aumento de produção, pois estes remanescentes florestais oferecem locais para nidificação de abelhas nativas e exóticas. O manejo de *M. quadrifasciata anthidioides* com introdução de caixas ninho nas lavouras de café durante a florada podem ser usados para melhorar a produção de café em uma situação de escassez de polinizadores, em áreas que possuem baixa densidade de ninhos naturais ou com o intuito de promover melhorias adicionais na produção. Contudo, é fortemente recomendável a conservação dos ninhos naturais de abelhas, sobretudo nativas, existentes nas proximidades das lavouras cafeeiras, principalmente dentro dos remanescentes florestais, uma vez que não requerem investimentos adicionais de aluguel ou compra de colmeias, o que pode aumentar os custos com a gestão da produção de café.

6 AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e faz parte da dissertação de dissertação de ESB como requisito para obter o grau de mestre em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG. Agradecemos a Natalia da Silva Martins Fonseca por auxiliar com as análises, Liedson Tavares de Sousa Carneiro por auxiliar com a identificação do material entomológico e aos produtores rurais que permitiram o desenvolvimento deste estudo em suas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIZEN, M. A. *et al.* How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long term trends in crop production. **Annals of Botany**, v. 103, p. 1579-1588, 2009.

AMARAL, E. Ensaio sobre a influência de *Apis mellifera* L. na polinização do cafeeiro (Nota prévia). **Bol. Esc. Agre. Luiz de Queiroz**, v. 9, 1952.

AMARAL, E. **Polinização entomófila de *Coffea arabica* L. L., raio de ação e coleta de pólen pela *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera; Apidae), em cafezal florido.** 82f. Tese de Livre Docência. Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

ANTONINI, Y.; MARTINS, R.P. O valor de uma espécie arbórea (*Caryocar brasiliense*) para uma abelha sem ferrão *Melipona quadrifasciata quadrifasciata*. **Journal of Insect Conservation**. <https://doi.org/10.1023/A:1027378306119>. v. 7, p. 167-174, 2003.

BARTELLI, B. F.; NOGUEIRA-FERREIRA, F. H. Pollination services provided by *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Coffea arabica) in greenhouses with *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). **Sociobiology**, v. 61, n. 4, p. 510–516, 2014.

BPBES/REBIPP: Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. Marina Wolowski; Kayna Agostini; André Rodrigo Rech; Isabela Galarda Varassin; Márcia Maués; Leandro Freitas; Liedson Tavares Carneiro; Raquel de Oliveira Bueno; Hélder Consolaro; Luisa Carvalheiro; Antônio Mauro Saraiva; Cláudia Inês da Silva; Padgurschi M. C. G. (Org.). 1ª edição, Campinas, SP. 184 páginas. ISBN: 978-85-60064-83-0. 2019

CARVALHO, A.; KRUG, C.; MENDES, J. **O dimorfismo dos ramos em *Coffea arabica* L.** *Bragantina*, v. 10, p. 151-159. 1950.

BRASIL. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 5 – Safra 2019, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-44. ISSN 2318-7913. 2019.

CONAB. Campanha Nacional de Abastecimento. **Safra de café 2010**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/conteudos>. 2010. Acesso em: 10 julho 2018.

CORTEZ, J. G. Aptidão climática para a qualidade da bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Técnico**, v. 18, n. 187, p. 27-31, 1997.

CORTEZ, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, p. 71, 2001.

COUTO, R. H. N.; COUTO, L. A. Apicultura: manejo e produtos. 3.ed. FUNEP, Jaboticabal, p. 193, 2006.

DE MARCO, J. R. P.; COELHO, F. M. Services performed by the ecosystem: Forest remnants influence agricultural cultures pollination and production. **Biodiversity and Conservation**, Madri, v. 13, p. 1245 - 1255, 2004.

ELTZ, T.; ROUBIK, D. W.; WHITTEN, W. M. Fragrances, male display and mating behavior of *Euglossa hemichlora* – a flight cage experiment. **Physiological Entomology**, cap. 28, p. 251-260, 2003.

EMATER. **Campos Gerais conta com a segunda maior safra de café do estado**. <http://www.emater.mg.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2019.

FREE, J. B. **Insect Pollination of Crops**. 2. ed. London: Academic Press, 1993.

FREITAS, B. M. O uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas. Mensagem doce. **APACAME**, São Paulo, n. 46, p. 16-20, 1998.

GAMITO, L. M.; MALERBO-SOUZA, D. T. Visitantes florais e produção de frutos em cultura da laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 483-488, 2006.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. **Ecol. Lett.**, v. 14, p. 1062-1072, 2011.

GIANNINI T. C. *et al.* Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecol Model**, v. 244, p. 127-131, 2012.

GIANNINI, T. C. *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 1-9, 2015a.

GIANNINI T. C.; BOFF S.; CORDEIRO G. D.; *et al.* Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie**, doi: 10.1007/s13592-014-0316-z, v. 46, p. 209–223, 2015b.

GOOGLE EARTH-MAPAS. <Http://mapas.google.com>. Consulta realizada em 13/12/2020.

GOULSON, D.; LYE, G. C.; DARVILL, B. “Decline and Conservation of Bumble Bees”. **Annual Review of Entomology**, v. 53, p. 191-208, 2008.

GUIBU, L. S.; RAMALHO, M.; KLEINERT-GIOVANNINI, A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Exploração dos recursos florais por colônias de *Melipona quadrifasciata* (Apidae, Meliponinae). **Rev. Brasil. Biol.**, v. 48 cap. 2, p. 299-305, 1988.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. New York: John Wiley & Sons, 2013.

IBPES. **Plataforma Intergovernamental de Política Científica sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. Disponível em <https://www.ipbes.net/>. Acesso em: 15 abr. 2020.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; DE JONG, D.; SARAIVA, A. M.(eds.). Bees as Pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting the best practices. **Holos**. Ed., Ribeirão Preto, 114, p. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brasil em síntese**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/campos-gerais.html>. 5 dez. 2020.

JAFFE, M. G.; GULLONE, E.; HUGHES; E. K. The roles of temperamental dispositions and perceived parenting behaviours in the use of two emotion regulation strategies in late childhood. **Journal of Applied Developmental Psychology**, p. 47-59, 2010.

KERR, W. E. Meliponicultura – A importância da meliponicultura para o país. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 3, p. 42-44, 1998.

KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 274, p. 303-313, 2007.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). **Am. J. Bot.**, v. 90, p. 153-157, 2003.

KLEINERT, A. M. P. **Demografia de ninhos de meliponíneos em biomas neotropicais**. USP. Tese Livre docência). Instituto de Biociências. p. 93, 2006.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Bornträger. Banda 1, Parte C, p. 1-44, 1936.

KREMEN, C.; GREENLEAF, S.S.; WILLIAMS, N.M.; WINFREE, R. Bee foraging ranges and their relationship to body size. **Oecologia**, v. 153, cap.3, p. 589-596, 2007.

KRUG, C. A.; CARVALHO, E. A. The genetics of *Coffea*. *Hereditas*, **Lund. Suppl.** p. 611-612, 1949.

LOREZON, M. C. A.; MORGADO, L. N. Mel com biodiversidade. **Ciência Hoje**, v. 42, n. 249, p. 65-67, 2008.

MALERBO-SOUZA, D. T.; HALAK, A. L. Agentes polinizadores e produção de grãos em cultura de café arábica cv. “Catuaí Vermelho”. **Científica**, Jaboticabal, v. 40, p. 1-11, 2012.

MALERBO-SOUZA, D.T.; NOGUEIRA-COUTO, R.H.; COUTO, L.A. Polinização em cultura de laranjeira (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-rio). **Brazilian journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v.40 n.4, p.237-242, 2003.

- MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Produção e Agroenergia. **Café Sustentável Riqueza do Brasil**. Brasília, DF, p. 10, 2009.
- MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica). v. 4, 2018.
- NAVARRO, D. A. N.; PERFORNS, A. M. Y. University of Adelaide. THE BETA-BINOMIAL MODEL. **An introduction to the Beta-Binomial model**. COMPSCI 3016: Computational Cognitive Science. Disponível em: https://compcogsci-3016.djnavarro.net/technote_betabinomial.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.
- NGO, H.T.; MOJICA, A. C.; PACKER, L. Coffee plant – pollinator interactions: a review. **Can. J. Zool.**, DOI:10.1139/Z11-028. cap. 89, p. 647-660, 2011.
- NOGUEIRA-NETO, P. **A criação de abelhas indígenas sem ferrão (Meliponinae)**. São Paulo: Chácaras e Quintais, p. 280, 1953.
- NOGUEIRA-NETO, P. **A Criação de Abelhas Indígenas sem Ferrão**. Editora Tecnapis, São Paulo, 1970.
- NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão**. São Paulo: Nogueirapis, p. 446, 1997.
- NOGUEIRA-NETO, P. CARVALHO, A.; ANTUNES, H. Efeito da exclusão dos insetos polinizadores na produção do café Bourbon. **Bragantia**, Instituto Agrônomo de Campinas, v.18, p. 441- 468, 1959.
- NOGUEIRA NETO, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P.; VIANA, B. F.; CASTRO, M. S. **Biologia e manejo de abelhas sem ferrão**. São Paulo, Brasil: Tecnapis, 54 p., 1986.
- PADILHA V. J. C. **Diagnóstico de modelos criação e comportamento de forrageamento de *Melipona scutellaris* e *M. quadrifasciata* em área de Mata Atlântica de Sergipe, nordeste do Brasil**. **Dissertação**. Universidade Federal da Paraíba Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. João Pessoa – PB, 2017.
- RAMALHO, F. S.; JESUS, F. M. M. Evaluation of electrodynamic and conventional insecticides against cotton boll weevil and pink bollworm. **int. Pest. Control**, v. 31, cap. 3, p. 56-60, 1990.
- RICKETTS, H. T. *et al.* Economic value of tropical forest to coffee production. **Proceedings of National Academy of Sciences**, v. 101, n. 34, p. 12579-12582, 2004.
- RIGBY, R. A. and STASINOPOULOS D. M. Generalized additive models for location, scale and shape, (with discussion), **Appl. Statist.**, v. 54, part 3, p. 507-554, 2005.

ROUBIK D.W. **The pollination of cultivated plants: a compendium for practitioners. Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO)**, Roma, 2018.

ROUBIK, D. W. **Ecology and natural history of tropical bees**. New York: Cambridge University Press, p. 514, 1989.

ROUBIK. D. W. The value of bees to the coffee harvest. **Nature**, p. 417-708, 2002.

SANTOS. S. A. B.; BEGO, L. R.; ROSEINO, A. C. Pollination in tomatoes, *Lycopersicon esculentum*, by *Mellipona quadrifasciata* anthidioides e *Apis Mellifera* (Hymenopta apinae). **Proc. 8th IBRA Int. Conf. Trop. Bees e VI encontro sobre abelhas**. p. 688, 2004.

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

SILVA, M. F. Abelhas visitantes florais e produção de frutos e sementes em café convencional. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, 2013.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; D. BARBIN; VILLA NOVA, N. A. **Manual de Ecologia dos insetos**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, p. 419, 1976.

SLAA, E. J. *et al.* Stingless Bees in Applied Pollination: Practice and Perspectives. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 293-315, 2006.

SOUZA, C. S. **Riqueza, abundância relativa e densidade de ninhos de meliponíneos (Apidae, meliponini) em duas áreas de estágios sucessionais distintos de vegetação do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo (23°38'S; 46°38'36W)**. Dissertação (Mestrado em ciências - Ecologia). Departamento de ecologia - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, p. 83, 2014.

VEDDELER, D.; KLEIN, A.M.; TSCHARNTKE, T. Contrasting responses of bee communities to coffee flowering at different spatial scales. **Oikos**, cap. 112, p. 594-601, 2006.
VENTURIERI G. C. *et al.* Meliponicultura no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. In: Imperatriz-Fonseca VL, Canhos D, Alves DA, Saraiva AM (org) **Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. EDUSP, São Paulo, p. 213-236, 2012.

VIANA, B.; COUTINHO, J.; GARIBALDI, L.; CASTAGNINO, G.; GRAMACHO, K.; SILVA, F. Stingless bees further improve apple pollination and production. **Journal of Pollination Ecology**, v.14, p.261-269, 2014.

WILLIAMS, P. H.; HUMPHRIES, C. J.; VANE-WRIGHT, R. I. Measuring biodiversity: taxonomic relatedness for conservation priorities. **Austr. Syst. Bot.**, vol. 4 cap. 4, p. 665-679, 1991.

MATERIAL SUPLEMENTAR 1 - Imagens dos ninhos de abelhas nativas e exóticas encontrados nos remanescentes florestais e no entorno dos cultivos de café na área de estudo, no Sul de Minas Gerais, Brasil.

Localidade Goiabeiras, município de Campos Gerais

Ninho 1



Ninho 2



Ninho 3



Ninho 4



Ninho 5



Ninho 6



Ninho 7



Ninho 8



Ninho 9



Ninho 10



Ninho 11



Ninho 12



Ninho 13



Ninho 14



Ninho 15



Ninho 16



Ninho 17



Ninho 18



Ninho 19



Ninho 20



Ninho 21



Ninho 22



Ninho 23



Ninho 24



Ninho 25



Ninho 26



Ninho 27



Ninho 28



Ninho 29



Ninho 30

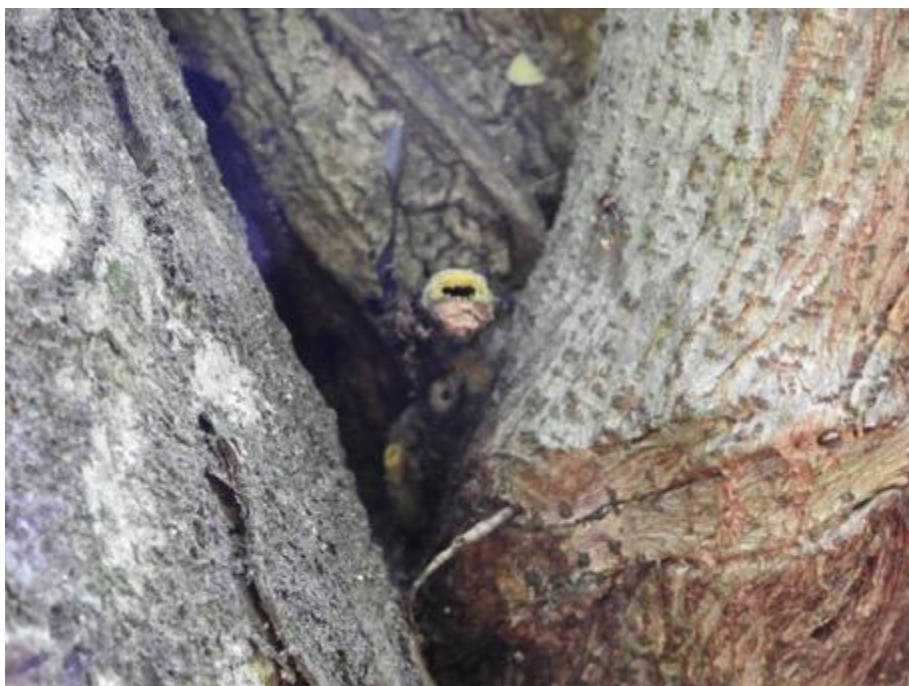


Localidade Barra, município de Campos Gerais

Ninho 1



Ninho 2



Localidade Itapiché, município de Campos Gerais

Ninho 1



Ninho 2



Localidade CG, município de Campos Gerais

Ninho 1



Ninho 2



Ninho 3



Localidade Taboão, município de Campo do Meio

Ninho 1



Ninho 2



Ninho 3



Ninho 4

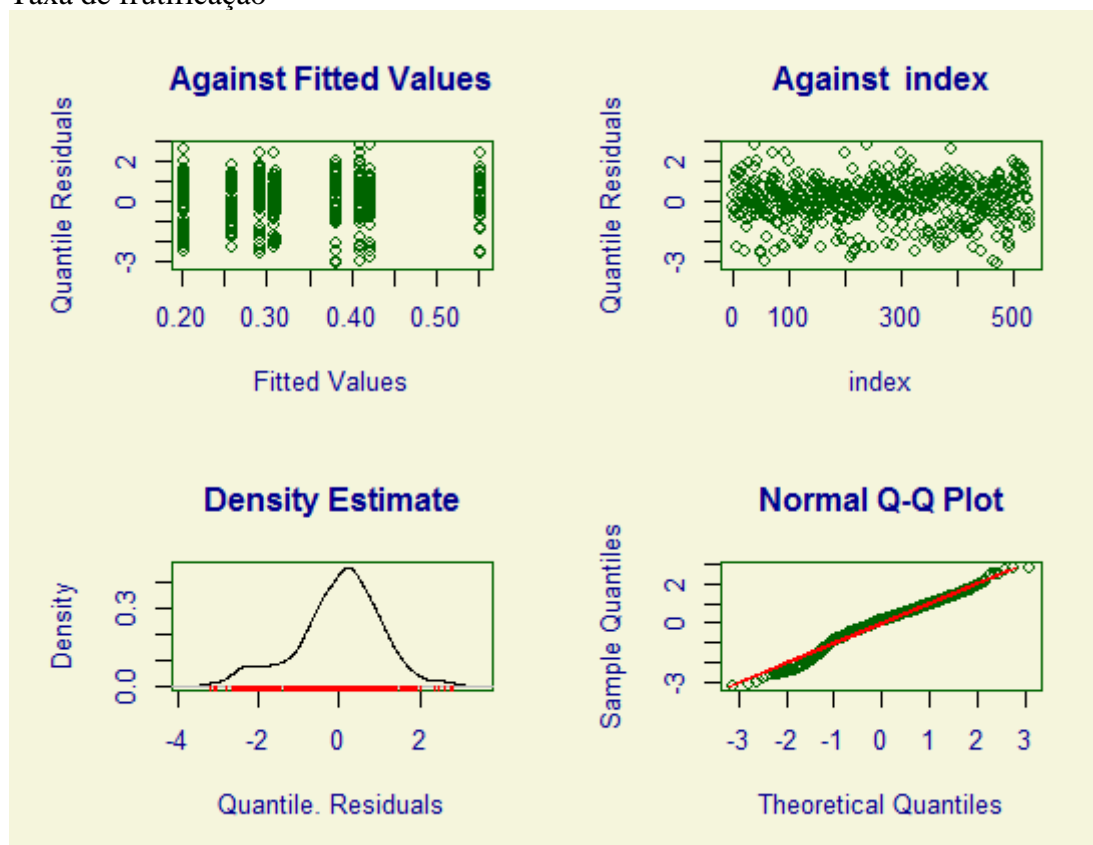


Ninho 5

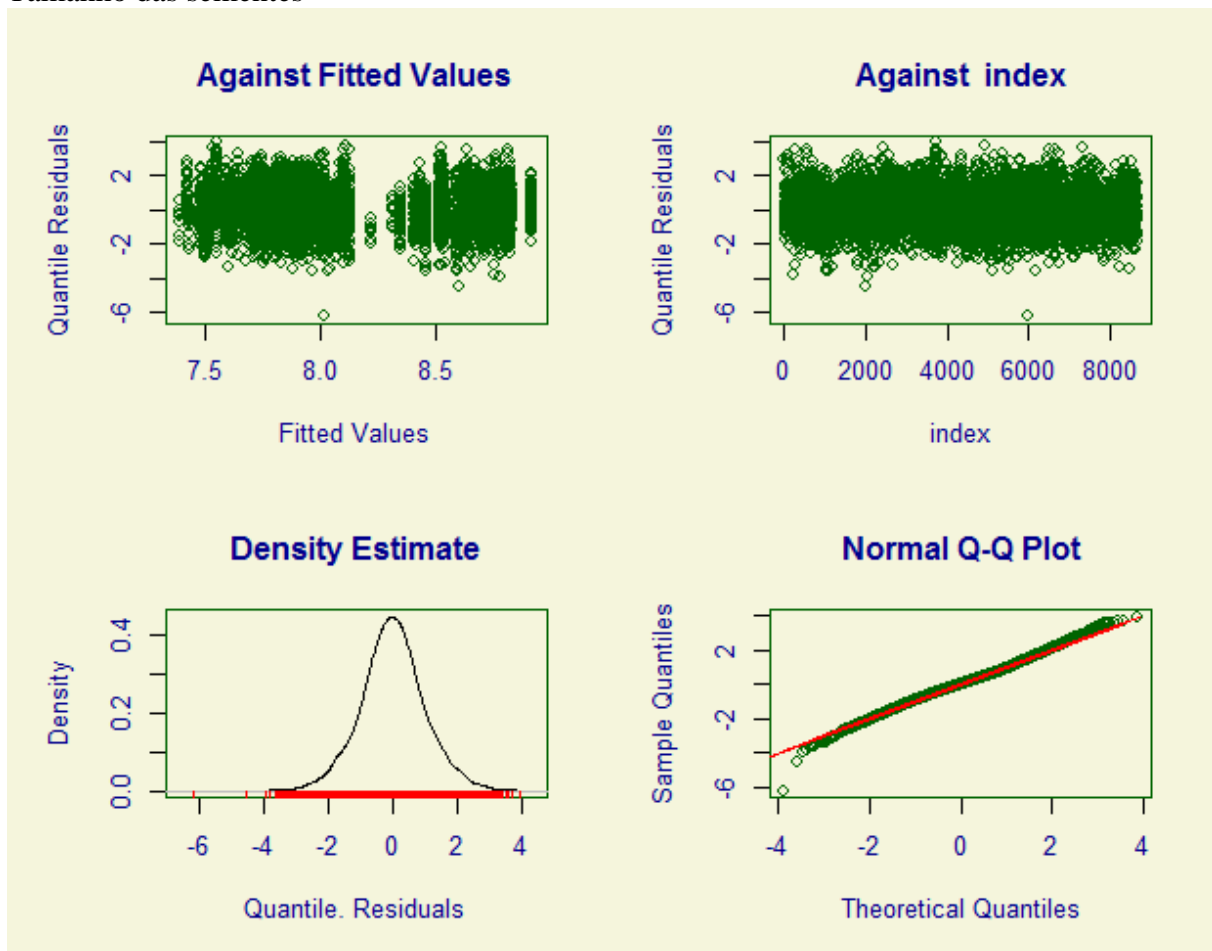


Material suplementar 2 – Resíduos dos modelos aditivos generalizados para localização, escala e forma (GAMLSS) selecionados que incluíram o efeito das variáveis preditoras (manejo + exclusão + densidade + distância) sobre cada cada variável resposta (taxa de frutificação, tamanho e peso das sementes).

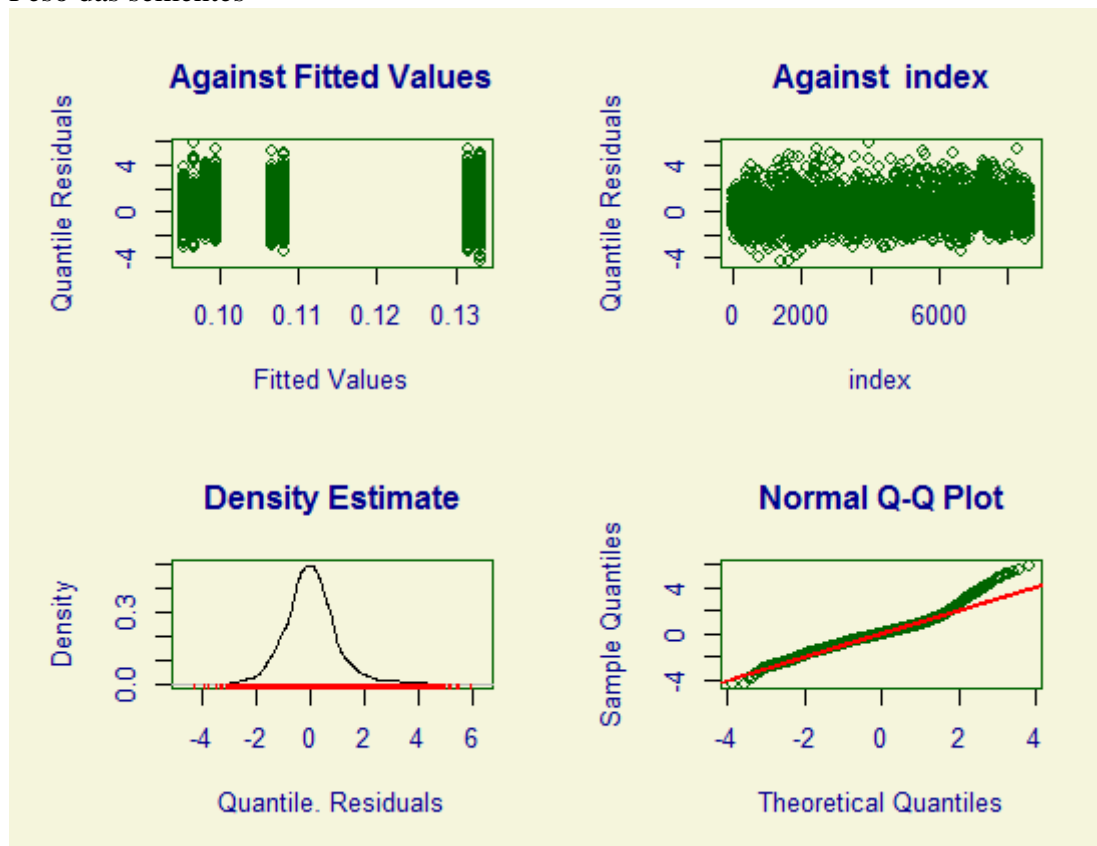
Taxa de frutificação



Tamanho das sementes



Peso das sementes



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo confirmou que *Melipona quadrifasciata anthidioides* prefere áreas com temperaturas mais constantes, porém com altitudes mais elevadas e locais mais úmidos. No entanto, os remanescentes de Mata Atlântica são importantes para a conservação da espécie, pois oferecem melhores condições para a ocorrência da espécie, como por exemplo locais de nidificação e recursos alimentares. Nos remanescentes florestais da área de estudo, foi registrado um ninho de *M. quadrifasciata anthidioides*. O registro de ninhos de outras espécies de abelhas nativas, ressaltam que os remanescentes de vegetação nativa de Mata Atlântica são de suma importância para abrigar a diversidade da apifauna brasileira e garantir serviços ecossistêmicos importantes como a polinização.

A introdução das caixas ninho melhorou significativamente a taxa de frutificação, o peso e o tamanho das sementes de café nas áreas estudadas. Na coleta ativa durante a florada, *Apis mellifera*, *T. spinipes* e *Geotrigona sp.* foram as espécies mais frequentes nas flores do cafeeiro. *Melipona quadrifasciata anthidioides* foi registrada com menor constância das demais e apenas nas áreas em que foi introduzida, e mesmo assim os ninhos introduzidos apresentaram resultados positivos na produção. Já o acesso de polinizadores às flores e a densidade dos ninhos de abelhas nativas ao redor das áreas aumentaram a taxa de frutificação o peso e tamanho das sementes. A polinização do café está sujeita a várias influências como por exemplo a densidade próxima de ninhos de outras espécies e distâncias de remanescentes florestais. Porém, a pesquisa reflete uma situação de introdução de abelha nativa de fácil manejo (NOGUEIRA-NETO; CARVALHO; ANTUNES, 1959) para polinização de café em ambiente aberto e em pleno sol, o que é mais próximo de uma situação realista aplicável de introdução de caixas ninho na lavoura cafeeira no estilo convencional. Neste trabalho, a densidade dos ninhos pré-existentes ao redor das lavouras de café foi tão importante para os frutos de café quanto a introdução artificial de ninhos de *M. quadrifasciata anthidioides*. Sendo assim, a densidade de ninhos ao redor das lavouras e principalmente nos remanescentes florestais devem ser considerados ao se fazer o manejo de polinizadores.

Como *M. quadrifasciata anthidioides* prefere locais onde a altitude é maior com clima mais ameno, é enfático a importância da espécie na polinização de cafés do sul de Minas Gerais, importante região produtora do país e do mundo. Especialmente, os cafés de regiões com altitudes mais elevadas, que possuem microclimas mais favoráveis, ou que possuem remanescentes florestais próximos que ofereçam condições de se encontrar a espécie. Portanto,

a conservação dos remanescentes florestais de vegetação nativa é de suma importância para as lavouras cafeeiras, pois podem abrigar polinizadores nativos importantes para o café e as demais culturas agrícolas, como *M. quadrifasciata anthidioides*. Esta espécie pode ser manejada em lavouras cafeeiras para melhorar a produção. O aumento da produção com o serviço ecossistêmico de polinização pode conter a expansão agrícola contribuindo para a conservação do meio ambiente. Por fim, ressalta-se a importância da conscientização dos proprietários rurais quanto a relevância da conservação dos remanescentes florestais e dos polinizadores em geral que possuem grande potencial para contribuir para o aumento da produção de café e demais cultivos agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, E. **Polinização entomófila de *Coffea arabica* L. L., raio de ação e coleta de pólen pela *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera; Apidae), em cafezal florido.** 1972. 82f. Tese de Livre Docência. Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

BRASIL. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 5 – Safra 2019, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-44. ISSN 2318-7913. 2019.

BPBES/REBIPP. **Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil.** Marina Wolowski; Kayna Agostini; André Rodrigo Rech; Isabela Galarda Varassin; Márcia Maués; Leandro Freitas; Liedson Tavares Carneiro; Raquel de Oliveira Bueno; Hélder Consolaro; Luisa Carvalheiro; Antônio Mauro Saraiva; Cláudia Inês da Silva; Padgurschi M. C. G. (Org.). 1ª edição, Campinas, SP. 184 páginas. ISBN: 978-85-60064-83-0. 2019.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 23 de mar. 2020.

FERREIRA, K.; TORRES, G. A.; CARVALHO, I. V.; DAVIDE, L. C. Abnormal meiotic behavior in three species of Crotalaria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1641-1646, 2009.

GALLAIN, *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, p. 810-821, 2009.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608-1611, 2013.

GIANNINI T. C.; ACOSTA A. L.; GARÓFALO C. A., *et al.* Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecol Model**, v. 244, p. 127-131, 2012.

GIANNINI T. C.; BOFF S.; CORDEIRO G. D.; *et al.* Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie**, doi: 10.1007/s13592-014-0316-z, v. 46, p. 209–223, 2015.

GONÇALVES, W.; RAMIRO, D. A.; GALLO, P. B.; GIOMO, G. S. **Manejo de nematóides na cultura do cafeiro.** In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO-CAFÉ, 10, 2004, Mococa. Anais. Instituto Biológico, Mococa, p. 48-66, 2004.

HEARD, T. A. The role of stingless bees in crop pollination. **Annual Review of Entomology**, v. 44, p. 183-206, 1999.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M.; GONÇALVES, L. S. A Iniciativa Brasileira de Polinizadores e os avanços atuais para a compreensão dos serviços ambientais prestados pelos polinizadores. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 100-106, 2007.

- JUNIOR P. M.; SIQUEIRA M. F. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, v. 5, nº. 1-2 dez., 2009.
- KERR, W. E. Estudos sobre o gênero *Melipona*. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 5, p. 181-276, 1948.
- KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B.**, v. 274, p. 303-313, 2007.
- KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). **Am. J. Bot.**, v. 90, p. 153-157, 2003.
- MALERBO-SOUZA, D. T.; HALAK, A. L. Agentes polinizadores e produção de grãos em cultura de café arábica cv. “Catuaí Vermelho”. **Científica**, Jaboticabal, v. 40, p. 1-11, 2012.
- MICHENER, C. D. **The bees of the world**. 2. ed. Maryland, USA: The Johns Hopkins University Press, 2007.
- MOURE. **Catálogo de abelhas Moure**. Disponível em: <http://moure.cria.org.br/>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- NOGUEIRA-NETO, P.; CARVALHO, A.; ANTUNES, H. Efeito da exclusão dos insetos polinizadores na produção do café Bourbon. **Bragantia** v.18, p. 441- 468, 1959.
- NOGUEIRA NETO, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P.; VIANA, B. F.; CASTRO, M. S. **Biologia e manejo de abelhas sem ferrão**. São Paulo, Brasil: Tecnapis, 54 p., 1986.
- NOGUEIRA-NETO, P.; SAKAGAMI, S. F. Nest structure of a subterranean stingless bee *Geotrigona mombuca* (Smith) (Meliponinae, Apidae, Hymenoptera). **An. Acad. Bras. Ciências** v.38 n.1 ,p. 187-194, 1966.
- RAMALHO, M. Stingless bees and mass flowering trees in the canopy of Atlantic Forest: a tight relationship. **Acta Botânica Brasílica**, Belo Horizonte, v. 18, n. 1, p. 37-47, 2004.
- RICKETTS, T. H. *et al.* “Landscape Effects on Crop Pollination Services: Are There General Patterns?”. **Ecology Letters**, v. 11, p. 499-515, 2008.
- ROUBIK, D. W. The value of bees to the coffee harvest. **Nature**, p. 417-708, 2002.
- SANTOS. S. A. B.; BEGO, L. R.; ROSEINO A. C. Pollination in tomatoes, *Lycopersicon esculentum*, by *Melipona quadrifasciata* anthidioides e *Apis Mellifera* (Hymenopta apinae). **Proc. 8th IBRA Int. Conf. Trop. Bees e VI encontro sobre abelhas**. p. 688, 2004.
- SATURNI, F. T.; JAFFÉ, R.; METZGER. J. P. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, São Paulo, v. 235, p. 1-12. 2016.

SLAA, E. J. *et al.* “Stingless Bees in Applied Pollination: Practice and Perspectives”. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 293-315, 2006.

TEIXEIRA, K. O. **Distribuição potencial das subespécies de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836, no Brasil em relação às mudanças climáticas** / Karina de Oliveira Teixeira. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, p. 108, 2018.

VIANA B. F. *et al.* How well do we understand landscape effects on pollinators and pollination services? **J Pollinat Ecol**, v. 7, p. 31-41, 2012.

VIANA, D. B. F. *et al.* stingless bees further improve apple pollination and production. **Journal of Pollination Ecology**, v. 14, n, 25, p. 261-269, sept. 2014.