



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE ECOLOGIA E ANÁLISE AMBIENTAL

**Especialização Alimentar Limita a Amplitude do Nicho Térmico em
Abelhas Neotropicais**

Mariana Taveira Corrêa

Goiânia
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome completo da autora: [Mariana Taveira Corrêa](#)

Título do trabalho: [Especialização alimentar limita a amplitude do nicho térmico em abelhas neotropicais](#)

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Luisa Mafalda Gigante Rodrigues Carvalheiro**,
Coordenadora de Pós-Graduação, em 05/09/2025, às 09:38, conforme horário oficial de Brasília, com
fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mariana Taveira Corrêa**, **Usuário Externo**, em 05/09/2025,
às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5632829** e o código CRC **F9E8DBD8**.

Mariana Taveira Corrêa

Especialização Alimentar Limita a Amplitude do Nicho Térmico em Abelhas Neotropicais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do grau de Ecólogo e Analista Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Luísa Mafalda Gigante Rodrigues Carvalheiro

Coorientador: Dra. Renata Santos Souza

Goiânia
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Corrêa, Mariana Taveira

Especialização alimentar limita a amplitude do nicho térmico em abelhas neotropicais [manuscrito] / Mariana Taveira Corrêa. - 2025. XXII, 23 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Luísa Mafalda Gigante Rodrigues
Carvalho; co-orientadora Dra. Ranata Santos Silva .

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Ecologia e Análise Ambiental, Goiânia, 2025.

Bibliografia.

Inclui mapas, gráfico, tabelas.

1. Polilética. 2. Oligolética. 3. Tolerância térmica . 4. Vulnerabilidade às mudanças climáticas. I. Carvalho, Luísa Mafalda Gigante Rodrigues , orient. II. Título.

CDU 574



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de junho do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Especialização alimentar limita a amplitude do nicho térmico em abelhas neotropicais”, de autoria de Mariana Taveira Corrêa, do curso de Ecologia e Análise Ambiental, do Instituto de Ciências Biológicas da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo orientador Profa. Dra. Luisa Mafalda Gigante Rodrigues Carvalho (Departamento de Ecologia, ICB/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Profa. Dra. Marília Bruzzi Lion (Departamento de Ecologia, ICB/UFG) e Me. Igor Madureira De Assis (ICB/UFG). O trabalho foi co-orientado pela Dra. Renata Santos Souza (Departamento de Ecologia, ICB/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição da estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 10 valores, tendo sido o TCC considerado **aprovado**.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Luisa Mafalda Gigante Rodrigues Carvalho**, **Coordenadora de Pós-Graduação**, em 04/09/2025, às 14:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marília Bruzzi Lion**, **Professora do Magistério Superior**, em 04/09/2025, às 14:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Igor Madureira De Assis**, **Usuário Externo**, em 04/09/2025, às 19:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5631107** e o código CRC **2BC22E4A**.

Dedico este trabalho aos meus pais que dedicaram toda uma vida para me criar e estiveram sempre ao meu lado por todos os meus 22 anos.

AGRADECIMENTOS

Para começar, queria agradecer primeiramente à minha família, ao meu pai, **Wesley Corrêa de Freitas**, à minha mãe, **Tânia Maria Taveira de Moraes** e a minha irmãzinha **Marina**. Eles fizeram o possível e o impossível para me criar e apoiar em toda a minha trajetória até hoje. Mesmo com dificuldades, sempre me apoiaram e me deram força. Eles foram os únicos que me acompanharam tanto nos momentos felizes quanto nos tristes. Sou muito grata por tê-los e mais privilegiada ainda por saber que nem todos têm essa relação. Passamos por momentos muito difíceis em nossas vidas, mas nesta, minha primeira vitória, eu não poderia, e seria uma desonra, deixar de citá-los e exaltá-los como parte disso.

Queria também demonstrar minha homenagem ao eterno amor da minha vida, a **Feinha**, que na reta final deste TCC veio a falecer. Não poderia deixar de lembrá-la. Para muitos, ela podia ser apenas uma cachorra caramelo raivosa, mas para mim era meu tudo, que me entendia e se comunicava comigo da maneira mais linda que existe. É com lágrimas de felicidade que eu agradeço aos meus pais, mas com lágrimas de saudades que eu me lembro do meu amor.

Agradeço também à minha Orientadora, **Luísa**, e à minha Co-orientadora, **Renata**, que me ajudaram a construir todo o meu trabalho. Elas me ensinaram e orientaram da maneira mais respeitosa, simpática e sincera. Juntamente a este agradecimento, quero agradecer a todo o pessoal do Laboratório de Ecologia de Comunidades (LEC), assim como à gentileza e às conversas edificantes da **Waira**. Sou grata por aprender e ter a oportunidade de conviver com profissionais excelentes no que fazem.

Sou grata à UFG por me proporcionar oportunidades profissionais e também pessoais, onde conheci profissionais excelentes e pessoas incríveis. Que a universidade continue sempre assim, oferecendo oportunidades e acessibilidade àqueles que não as tiveram ao longo da vida.

E, por fim, homenageio **meus amigos**, principalmente aqueles que compartilharam as dificuldades ao longo desses quatro anos de muita história, mas que também dividiram muitas risadas. Mesmo nos momentos de estresse, conseguíamos arrancar sorrisos uns dos outros. Conhecê-los foi outra consequência pela qual agradeço à universidade.

Agradeço também às minhas amigas de ensino médio, **Stheffany**, que, mesmo em cursos e faculdades diferentes, sempre conseguimos nos encontrar e dividir vivências e a **Ana Paula**, que não só compartilhou quatro anos de curso comigo, mas também uma história que vem de antes. Stheffany e Ana são pessoas às quais expressei minha eterna gratidão e agradeço a quem for por tê-las colocado em meu caminho.

RESUMO

As interações entre plantas e polinizadores regulam uma função ecossistêmica fundamental, na qual abelhas e plantas se beneficiam mutuamente. As espécies de abelhas podem apresentar diferentes graus de especialização alimentar: as oligoléticas (com dieta polínica restrita a uma família ou gênero) e as poliléticas (uma dieta polínica mais ampla com várias famílias de plantas). Essa relação planta-polinizador depende da sincronia entre o ciclo de vida das abelhas e o período de floração. Uma sincronia ameaçada por variações térmicas, pode afetar principalmente as espécies oligoléticas devido à sua estratégia especializada. Espécies com menor tolerância térmica podem ser mais suscetíveis. No entanto, pouco se sabe sobre espécies especialistas em um contexto climático, assim como poucos estudos integram nicho térmico para espécies neotropicais. Para investigar se a amplitude do nicho térmico das abelhas brasileiras está relacionada com a especialização alimentar de suas larvas, selecionamos 20 espécies (9 especialistas e 11 generalistas) de abelhas nativas da região neotropical (Brasil), pertencentes às tribos Augochlorini, Eucerini, Megachilini e Meliponini, abrangendo desde polinizadoras de culturas até especialistas em flora nativa, com dados de temperaturas mínimas e máximas de uma base de dados de ocorrências. Os resultados indicam que espécies oligoléticas apresentaram menor amplitude de nicho térmico que poliléticas. Estes resultados evidenciam a maior vulnerabilidade das espécies oligoléticas às alterações climáticas. Tais descobertas destacam a importância de investigações futuras que aprofundem a compreensão dessas respostas ecológicas diferenciadas num contexto de aquecimento global constante. Ressaltando a necessidade de pesquisas que garantam sua persistência frente às mudanças climáticas aceleradas.

Palavras-chave: Polilética, Oligolética, Tolerância térmica, Vulnerabilidade às mudanças climáticas .

Thermal Niche and Dietary Specialization in Neotropical Bees

ABSTRACT

The interactions between plants and pollinators regulate a fundamental ecosystem function, in which bees and plants mutually benefit. Bee species can exhibit varying degrees of dietary specialization: oligolectic (with pollen diets restricted to one family or genus) and polylectic (a broader pollen diet with multiple plant families). This plant-pollinator relationship depends on the synchrony between the bees' life cycle and the flowering period—a synchrony threatened by thermal variations, which may particularly affect oligolectic species due to their specialized strategy. Species with lower thermal tolerance may be more susceptible. However, little is known about specialist species in a climatic context, and few studies integrate thermal niche data for Neotropical species. To investigate whether the thermal niche breadth of Brazilian bees is related to their larval dietary specialization, we selected 20 species (9 specialists and 11 generalists) of native bees from the Neotropical region (Brazil), belonging to the tribes Augochlorini, Eucerini, Megachilini, and Meliponini, ranging from crop pollinators to specialists in native flora, with minimum and maximum temperature data from an occurrence database. The results indicate that oligolectic species exhibited a narrower thermal niche breadth than polylectic species. These findings highlight the greater vulnerability of oligolectic species to climate change. Such discoveries underscore the importance of future investigations to deepen the understanding of these differentiated ecological responses in the context of constant global warming, emphasizing the need for research to ensure their persistence in the face of accelerated climate change.

Keywords: Polylectic, Oligolectic, thermal tolerance, vulnerability to climate change.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	MÉTODOS	02
3	RESULTADOS	04
4	DISCUSSÃO	07
5	CONCLUSÃO	09
6	REFERÊNCIAS	10

INTRODUÇÃO

Abelhas e plantas com flores têm uma relação mutualística, onde ambas se beneficiam de maneira intrínseca. A visitação das abelhas facilita a polinização cruzada, um processo que aumenta significativamente as chances de sucesso reprodutivo para as plantas ao promover a transferência de pólen entre diferentes indivíduos, enquanto as plantas oferecem alimento proteico e energético, principalmente na forma de pólen e néctar (Rech et al., 2014; Faegri et al., 2013). No que se refere à coleta de pólen, há abelhas especialistas em pólen, que dependem especificamente do pólen de apenas uma família de planta (oligoléticas), e espécies generalistas (poliléticas), que não se restringem a uma única família, coletando pólen de várias famílias (Cane & Sipes, 2006; Cane & Sipes, 2007). Esta última estratégia tem vantagens, como a maior disponibilidade de recursos e, obviamente, a não dependência de apenas uma família de flores (Albrecht et al., 2012). Ocorrem também benefícios nas interações oligoléticas, onde a especialização alimentar em abelhas pode conferir vantagens adaptativas, como a redução da competição (Minckley et al., 1994) e o aumento da eficiência na coleta e digestão do pólen (Praz et al., 2008). No entanto, a especialização em pólen, embora vantajosa em diversos aspectos, acarreta uma vulnerabilidade significativa para a reprodução de abelhas oligoléticas. Essas abelhas dependem da sincronia entre seu ciclo de vida e o período de floração de seus recursos florais específicos, uma sincronia ameaçada por variações de temperatura (Biesmeijer et al., 2006). Quando essa sincronia falha ou há ausência de pólen, as abelhas podem entrar em condição de diapausa, um estado de dormência fisiológica induzido pela abelha por escassez de recurso. Santos (2020) mostrou para espécies de *Tetrapedia diversipes*, o que restringe drasticamente sua capacidade reprodutiva. Sendo uma estratégia arriscada, dependendo da sincronia e disponibilidade de recursos florais durante seu ciclo de vida torna a estratégia oligolética particularmente incerta em contextos de mudanças ambientais.

A especialização alimentar dessas abelhas (oligoleticas e polileticas) estão representadas em diversas tribos como Anthidiini, Augochlorini, Colletini, Emphorini, Eucerini, Euglossini, Exomalopsini, Megachilini, Meliponini, Tapinotaspidini e Oxaeini, muitas delas com grande interesse agrícola. Por exemplo, as Meliponini (abelhas sem ferrão) são essenciais na polinização de culturas como café, maracujá e tomate, enquanto as Megachilini são polinizadoras importantes de feijão, e as Eucerini contribuem para diversas plantas campestres (EMBRAPA, 2023; Imperatriz et. al, 2012).

As mudanças climáticas, juntamente com a conversão de habitats naturais em áreas agrícolas e o uso de agrotóxicos, representam alguns dos principais fatores do declínio global da biodiversidade. O aquecimento do planeta está redefinindo os limites térmicos dos ecossistemas

e colocando em risco serviços ecossistêmicos essenciais (Newbold et al., 2015; Azpiroz et al., 2012; Potts et al., 2010). Esse impacto é particularmente severo para polinizadores do Sul Global (IPBES, 2016; Dicks et al., 2021), sendo as abelhas oligoléticas, já restritas a nichos alimentares estreitos, as primeiras a sofrer (Winfree et al., 2011). Evidências mostram que espécies especialistas estão desaparecendo em regiões onde as temperaturas ultrapassam sua tolerância fisiológica (Biesmeijer et al., 2006), enquanto generalistas se adaptam explorando novos habitats (Kerr et al., 2015). Essas mudanças já alteraram significativamente a distribuição geográfica, abundância populacional, características morfológicas e padrões fenológicos das espécies (MacLean e Beissinger, 2017; Pacifici et al., 2015). Estes declínios são especialmente preocupantes considerando que as abelhas polinizam cerca de 70% das principais culturas globais (Ricketts et al., 2008). De acordo com projeções do IPCC (2023), as alterações nos padrões de precipitação e temperatura decorrentes das emissões antropogênicas podem elevar a temperatura média global entre 2°C e 4°C até 2050. O aquecimento urbano, embora possa favorecer abelhas tolerantes ao calor (Hamblin et al., 2018), suscitibiliza a vulnerabilidade de espécies oligoléticas, sensíveis a perturbações de habitat (Winfree et al., 2011), e de polinizadores dependentes de plantas específicas, que já apresentam declínio populacional acentuado em comparação às espécies poliléticas (Biesmeijer et al., 2006). A diminuição da produção de néctar e pólen em plantas sob estresse hídrico, consequência do aquecimento, agrava a situação (Scaven et al., 2013), assim como os efeitos diretos da interação entre temperatura e tolerância térmica nas abelhas (Oyen et al., 2018).

O aumento das temperaturas afeta negativamente o forrageamento, pois as abelhas precisam manter a temperatura corporal estável durante o voo, evitando atividade em condições de calor extremo para prevenir morte por hipertermia (Menezes, 2021; Souza et al., 2019). Nesse contexto, estratégias de conservação focadas em abelhas vulneráveis, como as oligoléticas, são fundamentais, incluindo a expansão da arborização urbana com plantas favoráveis aos polinizadores, a adoção de políticas públicas para reduzir emissões de poluentes e mitigar as crises climáticas (Santos et al., 2020). A projeção de dados climáticos, reconhecida como fator crítico na maioria dos países, permite antecipar proporções de impactos como a degradação de habitats e os efeitos do aquecimento global sobre espécies vulneráveis, orientando políticas públicas para mitigar esses processos (Dicks et al., 2021).

O objetivo deste trabalho foi investigar se a amplitude do nicho térmico das espécies de abelhas varia de acordo com o nível de generalização ou especialização alimentar de suas larvas (poliléticas vs. oligoléticas). Estudos prévios têm demonstrado que a amplitude do nicho climático de uma espécie é um fator determinante na sua capacidade de resposta às mudanças

ambientais (Herrera et al., 2018). Assim, esperamos que abelhas mais generalistas apresentem uma maior amplitude de nicho térmico, enquanto espécies especialistas, tenderão a ocupar uma faixa térmica mais limitada.

METODOLOGIA

Para testar nossa hipótese, selecionamos 20 espécies de abelhas neotropicais abelhas essas que são classificadas como visitante de apenas um família classificadas como oligoléticas e visitantes de mais de uma poliléticas. Assim sendo 11 poliléticas e 9 oligoléticas, priorizando aquelas com maior grau de parentesco filogenético, com padrões evolutivos mais semelhantes. As espécies pertencem a quatro famílias, sendo elas Andrenidae, Apidae, Colletidae e Megachilidae. Os registros de ocorrência foram extraídos da base de dados de ocorrência de abelhas brasileiras gerida pelo Laboratório de Ecologia de Comunidades da UFG. Esses dados de ocorrência consistem em informações extraídas de bases de dados públicas (GBIF, SpeciesLink, Sisbio) e privadas (museus, coleções particulares), coletadas por seu grupo de pesquisa e colaboradores. A base de dados abrange registros desde 1700 até 2023, mas para os objetivos deste trabalho eu fiz a filtragem para selecionar apenas as informações pertinentes de 1990 a 2023, de forma a terem uma correspondência temporal com os dados climáticos. Esta base integra: (i) coordenadas geográficas georreferenciadas, (ii) classificação polínica das espécies, e (iii) metadados temporais. Após a triagem dos anos (1990-2023), trabalhamos com um total de 1.095 pontos de ocorrência válidos, distribuídos pelo território brasileiro.

Análise de nicho térmico

Para avaliar a influência da temperatura máxima na distribuição de espécies, utilizamos dados do Terra Climate (1990–2024) de temperaturas das médias anuais de mínimas e máximas. No QGIS, sobreposemos camadas de ocorrência de espécies oligoléticas (9 spp) e poliléticas (11 spp) a rasters (resolução espacial de 4 km) de temperaturas máximas, ambos na projeção WGS 84 (EPSG:4326), onde extraí as informações de maior e menor registro das máximas e mínimas anuais dos pontos de ocorrência para cada espécies, dessa camada raster de temperatura. A representação mostrou gradientes térmicos idênticos, com escalas cromáticas definidas: tons avermelhados para temperaturas elevadas e azulados para as baixas (Figura 1). Conseguimos discernir: (a) os limites térmicos máximos de cada grupo, e (b) a maior restrição espacial das oligoléticas. Assim, foi possível comparar visualmente nichos térmicos e padrões de amplitude térmicas e conseguir reconhecer os padrões das espécies.

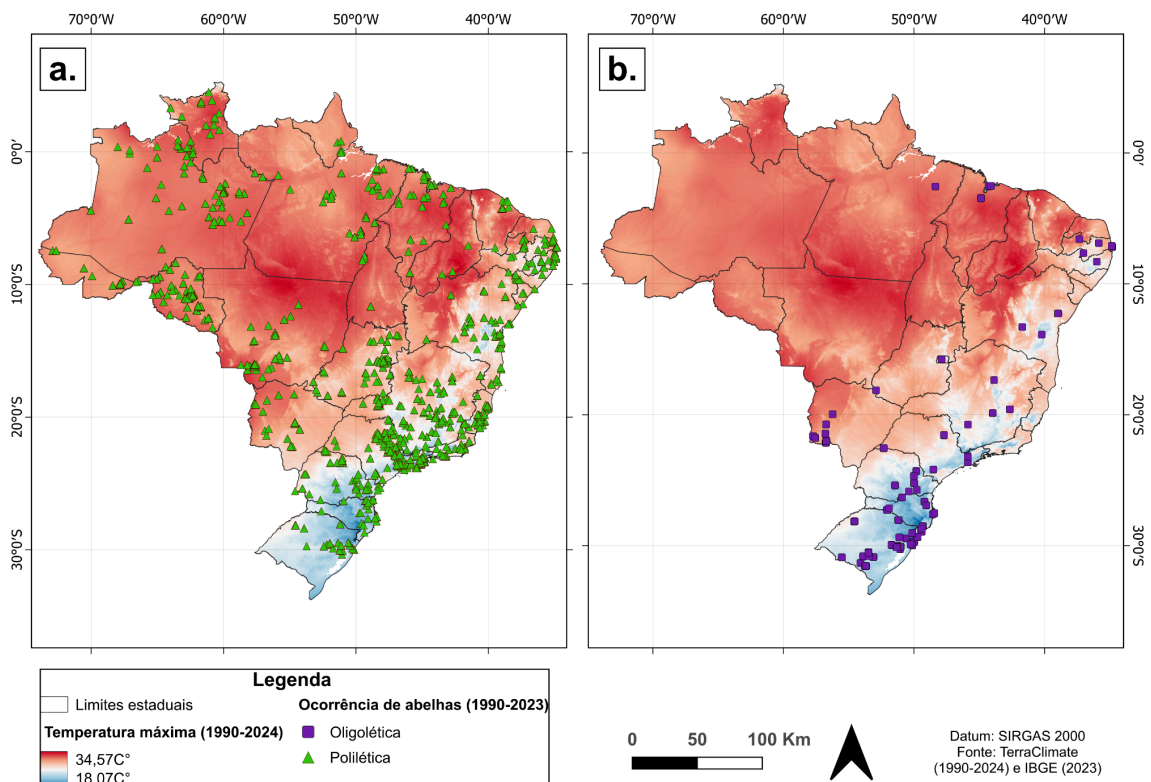


Figura 1. Distribuição geográfica do nicho térmico de abelhas poliléticas e oligoléticas no Brasil. (A) Mapa de temperaturas máximas anuais com ocorrências de espécies poliléticas (n=11). (B) Mapa de temperaturas máximas anuais com ocorrências de espécies oligoléticas (n=9). As escalas cromáticas representam gradientes térmicos idênticos em ambos os mapas (tons vermelhos: temperaturas mais altas; tons azuis: mais baixas). Pontos coloridos indicam registros de ocorrência georreferenciados, sobrepostos aos valores de temperatura máxima.

Análise estatística

Para comparar os nichos térmicos entre abelhas poliléticas e oligoléticas, para cada ponto de ocorrência das espécies, extraímos dos rasters os valores máximos e mínimos de temperatura anual de acordo com a camada Terra Climate. A amplitude térmica anual foi calculada como a diferença absoluta entre as temperaturas máximas e mínimas. Para avaliar se havia diferença entre as médias de amplitude térmica entre espécies de abelhas oligoléticas e poliléticas utilizamos um teste T de student. Para seguir com as análises avaliamos os pressupostos de normalidade dos dados com o teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias verificadas pelo teste de Levene. Também fizemos o cálculo do ponto médio, um valor central, sendo a média entre dois termos representando assim para as espécies uma temperatura ótim. No software estatístico R (Versão 4.4.3) realizamos os testes (Test T, Normalidade e Homogeneidade) e no Excel o ponto médio e a amplitude.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as informações das 20 espécies e suas respectivas classificações polínicas, juntamente com os resultados extraídos dos registros de temperatura (mínima e máxima) e as variações das amplitudes do nicho climático. Estas foram calculadas pela diferença entre a temperatura mínima e máxima, que variou entre o registro da *Melipona quadrifasciata* de 7,4°C e a *Eulaema nigrita* de 34,3°C entre as espécies.

Tabela 1. Esta tabela apresenta os parâmetros de temperatura e descreve os limites térmicos (mínima, máxima, amplitude e ponto médio) das 20 espécies de abelhas, organizadas por família (Andrenidae, Apidae, Colletidae e Megachilidae), hábito alimentar (oligoléticas ou poliléticas) e o N amostral que diz a quantidade de ocorrências para cada espécie.

Espécie	Família	Especialização alimentar	N amostral	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Amplitude	Ponto Médio
<i>Ancylloscelis romeroi</i>	Apidae	Oligolética	95	12.3	28.1	15.8	20.2
<i>Cephalurgus anomalus</i>	Andrenidae	Oligolética	54	11.6	27.1	15.5	19.4
<i>Florilegus festivus</i>	Apidae	Oligolética	41	11.6	31.5	19.9	21.6
<i>Florilegus fulvipes</i>	Apidae	Oligolética	320	13.5	27.4	13.9	20.5
<i>Melissoptila paraguayensis</i>	Apidae	Oligolética	52	10.9	29.8	18.9	20.4
<i>Peponapis fervens</i>	Apidae	Oligolética	109	11.5	26.9	15.4	19.2
<i>Ptilothrix plumata</i>	Apidae	Oligolética	145	11.5	32.6	21.1	22.1
<i>Tetraglossula anthracina</i>	Colletidae	Oligolética	35	11.1	27.7	16.6	19.4
<i>Hypanthidium obscurius</i>	Megachilidae	Oligolética	105	13.1	29.9	16.8	21.5
<i>Eulaema cingulata</i>	Apidae	Polilética	2711	10.6	33.3	22.7	22.0
<i>Eulaema nigrita</i>	Apidae	Polilética	10071	10.6	34.3	23.7	22.5
<i>Exomalopsis analis</i>	Apidae	Polilética	598	11.0	33.2	22.1	22.1
<i>Exomalopsis auropilosa</i>	Apidae	Polilética	1408	11.0	32.3	21.3	21.7
<i>Oxaea flavescens</i>	Andrenidae	Polilética	482	12.2	32.3	20.1	22.3
<i>Melipona quadrifasciata</i>	Apidae	Polilética	3057	7.4	33.2	25.8	20.3
<i>Paratrigona lineata</i>	Apidae	Polilética	27	16.1	28.9	12.8	22.5
<i>Trigona hyalinata</i>	Apidae	Polilética	2575	11.7	32.4	20.7	22.1
<i>Colletes petropolitanus</i>	Colletidae	Polilética	31	12.3	33.1	20.7	22.7
<i>Megachile laeta</i>	Megachilidae	Oligolética	41	12.5	28.3	15.8	20.4
<i>Megachile terrestris</i>	Megachilidae	Oligolética	17	12.3	30.6	18.3	21.4

Os teste de pressupostos mostrando que os dados de amplitude de visitação floral atenderam aos requisitos para a aplicação do teste t paramétrico: a normalidade foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk para ambos os grupos (oligoléticas: $W = 0,98$; $P = 0,501$; poliléticas: $W = 0,97$; $P = 0,653$), indicando distribuição normal dos dados, e a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Levene ($F_{(1,18)} = 0,65$; $P = 0,431$), revelando que as variâncias entre os grupos eram estatisticamente equivalentes. Esses resultados validaram o uso do teste t para amostras.

Após a checagem dos pressupostos, observamos uma diferença significativa na amplitude térmica entre as poliléticas e oligoléticas (Figura 2). A comparação das médias das amplitudes revelou diferença significativa ($t_{(18)} = -2,31$; $p = 0,033$) entre a amplitude térmica de abelhas oligoléticas ($M = 17,10$) foi menor do que em abelhas poliléticas ($M = 20,36$), com uma diferença média de 3,26. O intervalo de confiança, que não inclui o zero, reforça a robustez desta diferença entre os grupos.

Além disso, a um gráfico das amplitudes térmicas por espécie, permitindo visualizar as variações entre as espécies analisadas, juntamente com a dispersão dos pontos médios das temperaturas por espécie também (Figura 3). É possível perceber uma diferença na amplitude térmica entre os grupos. Embora a análise dos pontos médios não revele uma variação visual tão nítida entre oligoléticas e poliléticas como um todo, notamos que algumas espécies específicas apresentam distinções em suas preferências térmicas, com implicações para suas estratégias de forrageamento. Por exemplo, a oligolética *Peponapis fervens*, exibiu ponto médio mais baixo ($19,20^{\circ}\text{C}$) uma espécie que está muito associada à distribuição do seu recurso floral (Giannini et al., 2010), indicando uma preferência por condições que podem estar alinhadas às exigências de suas plantas específicas. Em contrapartida, muitas poliléticas, a exemplo de *Eulaema nigrita* ($22,48^{\circ}\text{C}$), apresentaram pontos médios mais elevados, o que sugere maior afinidade por temperaturas médias mais quentes, característica que pode facilitar o acesso a uma variedade mais ampla de recursos florais em diferentes ambientes.

Comparação da Amplitude Térmica Oligoléticas vs Poliléticas

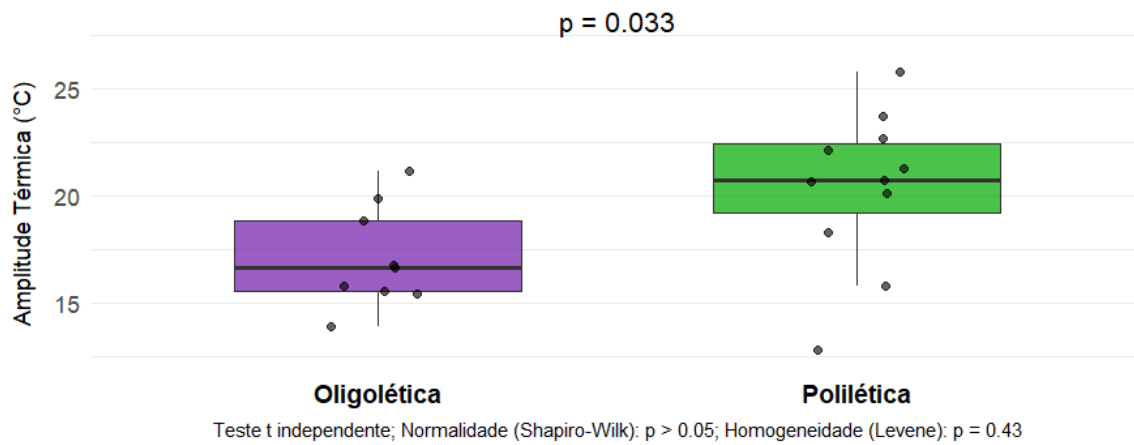


Figura 2. Boxplot comparando a amplitude térmica anual entre abelhas oligoléticas (n=9) e poliléticas (n=11). Os dados atenderam aos pressupostos paramétricos: normalidade (Shapiro-Wilk: $p=0,501$ para oligoléticas; $p=0,653$ para poliléticas) e homogeneidade de variâncias (Levene: $p=0,431$). A linha central em cada caixa representa a mediana, os limites superior e inferior mostram os quartis (25-75%), e os bigodes estendem-se até $1,5\times$ o intervalo interquartil. Pontos individuais indicam valores extremos. A análise foi realizada utilizando um teste t para amostras independentes com variâncias iguais, conforme validado pelos testes preliminares. A escala do eixo Y representa a amplitude térmica em °C, calculada como diferença entre temperaturas máximas e mínimas anuais.

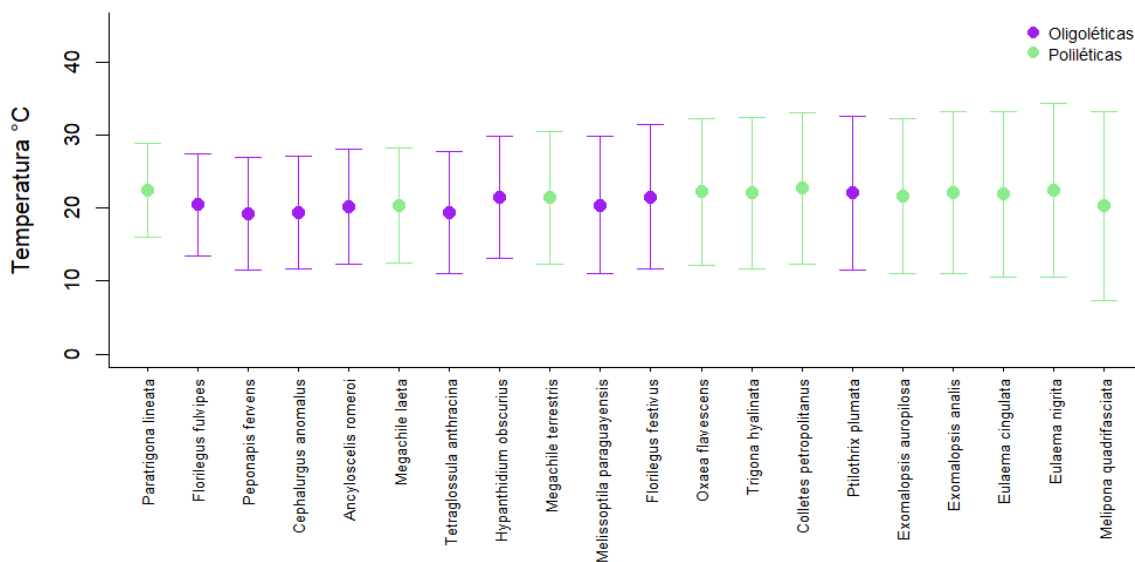


Figura 3. Gráfico combinado mostrando a amplitude térmica (bigodes) e o ponto médio (pontos) de 20 espécies de abelhas neotrópicas, separadas por especialização alimentar (roxo=oligoaléticas, verde=poliléticas). As barras representam a variação total de temperatura suportada (máxima-mínima), enquanto os pontos indicam a temperatura preferencial média de cada espécie.

DISCUSSÃO

Os resultados confirmam a correlação entre o nicho térmico e especialização alimentar das abelhas, corroborando a hipótese de que generalistas ocupam nichos mais amplos. Nossos dados revelam uma relação entre especialização e plasticidade fenotípica, onde espécies generalistas podem compensar variações ambientais através da exploração diversificada de recursos (Biesmeijer et al., 2006; Herrera et al., 2014). Já abelhas oligoléticas, com sua estreita amplitude ecológica (Santos, 2020), dependem de condições microclimáticas específicas e sincronia com a floração de suas plantas hospedeiras, um mecanismo ameaçado pelas mudanças climáticas (Scaven et al., 2013). Embora as generalistas tendem a ser mais resilientes, o aumento contínuo das temperaturas pode ultrapassar até seus próprios limites de tolerância, levando a extinções locais (Soroye et al., 2020; Rasmont et al., 2012). Além disso, pode ser agravada pela competição por recursos em habitats fragmentados (Kremen et al., 2002). Assim, mesmo a generalização trófica não as protege integralmente dos impactos climáticos e antrópicos combinados.

Nesse contexto, estudos sugerem que as abelhas demonstraram baixa capacidade de aclimação térmica, indicando que sua resiliência a eventos extremos depende mais de adaptações comportamentais do que fisiológicas (Gonzalez et al., 2023). Essa constatação reforça a importância de estratégias de conservação baseadas na manutenção e restauração de habitat para mitigar os impactos das mudanças climáticas, oferecendo os refúgios e recursos necessários para sua sobrevivência. E nossos resultados demonstram que as abelhas generalistas possuem uma amplitude térmica significativamente maior que as especialistas, sugerindo maior capacidade de adaptação a variações de temperatura

Nossas conclusões devem ser interpretadas considerando limitações metodológicas, pois embora nossas análises sejam fortes para o território brasileiro, não capturaram variações em microclimas locais que podem modular a tolerância térmica das espécies (Sunday et al., 2011). Estudos em fragmentos de Mata Atlântica mostram que o dossel florestal reduz a temperatura média em 9,5% e aumenta a umidade em 7,6% comparado a áreas abertas (Gotardo et al., 2019), criando microclimas favoráveis para espécies sensíveis. A heterogeneidade entre biomas (como a sazonalidade do Cerrado versus a estabilidade amazônica) gera nichos térmicos não representados em nossos dados, sugerindo que futuros estudos devem incluir variáveis como precipitação e altitude (Sydney et al., 2010; Rebêlo et al., 1999; Hoiss et al., 2012).

Nosso estudo proporciona resultados promissores, principalmente quando temos lacunas sobre como as mudanças de temperatura estão afetando o forrageamento das abelhas (Gerard,

2022), mas também a escassez de dados que limitam a avaliação dos impactos das mudanças climáticas, especialmente para as abelhas brasileiras (Carvalho et al., 2025). Dessa forma, por meio de análises mais críticas, é possível organizar ações de conservação para mitigar riscos e declínios populacionais, com ênfase nas abelhas oligoléticas, sem negligenciar as poliléticas. Recomenda-se a implementação de estratégias de conservação que integrem dados climáticos e geotecnologias (SIG). Conforme demonstrado nesta pesquisa, o SIG foi crucial para extrair as informações de temperaturas, entendesse e conseguíssemos chegar aos nossos resultados. Esta abordagem é particularmente relevante para espécies vulneráveis, como as abelhas oligoléticas estudadas, que apresentam maior sensibilidade às mudanças climáticas.

Nosso trabalho serve como base para futuras pesquisas, como análises mais restritas a biomas específicos, considerando as políticas públicas regionais e as necessidades particulares de cada ecossistema. A inclusão de variáveis microclimáticas e sazonais em modelos preditivos pode aprimorar o planejamento de áreas protegidas, garantindo a persistência dessas espécies em um cenário de mudanças ambientais aceleradas.

CONCLUSÃO

Neste estudo, confirmamos que a amplitude do nicho térmico de abelhas neotropicais está ligada à sua especialização alimentar, com espécies oligoléticas apresentando uma faixa de tolerância térmica significativamente menor em comparação às poliléticas, o que as torna mais vulneráveis às mudanças climáticas devido à sua estrita dependência de condições ambientais específicas e da sincronia com seus recursos florais. Assim, ressalta-se a urgência de estratégias de conservação direcionadas que considerem as particularidades ecológicas desses polinizadores essenciais, visando garantir sua persistência em um cenário de aquecimento global acelerado e suas implicações para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, M. et al. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 279, n. 1748, p. 4845-4852, 2012.
- ABATZOGLOU, J. T. et al. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. 2018. Disponível em: <https://www.climatologylab.org/terraclimate.html>
- BIESMEIJER, J. C. et al. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.
- CANE, J. H.; SIPES, S. Floral specialization by bees: analytical methods and a revised lexicon for oligolecty. In: *Plant-pollinator interactions: from specialization to generalization*. [S. l.]: [s. n.], 2006. p. 99-122.
- CANE, J. H.; SIPES, S. Characterizing floral specialization by bees: Analytical methods and a revised lexicon for oligolecty. 2007.
- CARVALHEIRO, L. G. et al. Challenges to quantify the knowledge deficiencies about tropical pollinators in light of global environmental changes – Brazilian bees as a case study. *Sociobiologia*, v. 72, n. 2, p. e11276-e11276, 2025.
- DICKS, L. V. et al. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nat Ecol Evol*, v. 5, p. 1453–1461, 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Polinização na Agricultura*. Brasília. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/abelhas-nativas/criacao>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- FAEGRI, K.; VAN DER PIJL, L. *Principles of pollination ecology*. [S. l.]: [s. n.], 2013.
- GÉRARD, M. et al. Exposure to elevated temperature during development affects bumblebee foraging behavior. *Behavioral Ecology*, v. 33, n. 4, p. 816-824, 2022.
- GIANNINI, T. C et al. Modelagem de nicho ecológico e distribuição geográfica de polinizadores e plantas: Um estudo de caso de espécies de *Peponapis fervens* (Smith, 1879) (Eucerini: Apidae) e *Cucurbita* (Cucurbitaceae). *Informática Ecológica*, 5(1), 59-66, 2010.
- GONZALEZ, V. H. et al. Bees display limited acclimation capacity for heat tolerance. *Biology Open*, v. 13, n. 3, 2024.
- GOTARDO, R. et al. Comparação entre variáveis microclimáticas de local aberto e florestal em um bioma da Mata Atlântica, sul do Brasil. *Ciência Florestal*, v. 29, p. 1415-1427, 2019.
- HAMBLIN, April L.; YOUNGSTEADT, Elsa; FRANK, Steven D. Wild bee abundance declines with urban warming, regardless of floral density. *Urban Ecosystems*, v. 21, p. 419-428, 2018.
- HERRERA, J. M. et al. A amplitude do nicho climático determina a resposta das abelhas (*Bombus* spp.) ao aquecimento climático nas áreas montanhosas do norte da Península Ibérica.

Jornal de Conservação de Insetos, v. 22, p. 771-779, 2018.

HOISS, Bernhard et al. Altitude acts as an environmental filter on phylogenetic composition, traits and diversity in bee communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 279, n. 1746, p. 4447-4456, 2012.

IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia et al. Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais [prefácio]. 2012.

IPBES. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Bonn, Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014. 151 p. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.).

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

KREMEN, C.; WILLIAMS, N. M.; THORP, R. W. Pollination of native crops by native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 26, p. 16812-16816, 2002.

MACLEAN, S. A.; BEISSINGER, S. R. Species' traits as predictors of range shifts under contemporary climate change: A review and meta-analysis. *Global Change Biology*, v. 23, n. 10, p. 4094-4105, 2017.

MENESES, Hiara Marques. Efeito do grau de antropização, clima e dieta na criação de colônias da abelha jandaíra (*Melipona subnitida* Ducke) em área de caatinga. 2021.

MINCKLEY, R. L. et al. Behavior and phenology of a specialist bee (*Dieunomia triangulifera*) and sunflower (*Helianthus annuus*) pollen at a high-elevation site. *Ecological Entomology*, v. 19, n. 4, p. 387-397, 1994.

NEWBOLD, T. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, v. 532, n. 7598, p. 45-51, 2015.

OYEN, K. J.; DILLON, M. E. Altitudinal variation in bumble bee (*Bombus*) critical thermal limits. *Journal of Thermal Biology*, v. 74, p. 123-132, 2018.

PACIFICI, M. et al. Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, v. 5, n. 3, p. 215-224, 2015.

POTTS, S. G. et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

PRAZ, C. J.; MÜLLER, A.; DORN, S. Specialized bees fail to develop on non-host pollen: evidence for physiological adaptations to pollen diet in oligolectic bees. *Apidologie*, v. 39, n. 6, p. 616-625, 2008.

RASMONT, P.; ISERBYT, S. The Bumblebees Scarcity Syndrome: Are heat waves leading to local extinctions of bumblebees (Hymenoptera: Apidae: Bombus)? *Annales de la Société entomologique de France*, p. 275-280, 2012.

REBÊLO, J. M. M.; SILVA, F. S. Distribuição das abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) no estado do Maranhão, Brasil. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 28, p. 389-401, 1999.

RECH, A. R. et al. *Biologia da Polinização*. 2014.

RICKETTS, T. H. et al. Landscape effects on crop pollination services: global patterns and ecological mechanisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 9, p. 3629-3634, 2008.

SANTOS, P. K. F. O genoma de *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera, Apidae) e a evolução da diapausa em abelhas. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

SCAVEN, V. L.; RAFFERTY, N. E. Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. *Current Zoology*, v. 59, n. 3, p. 418–426, 2013.

SOROYE, P. et al. Climate change contributes to widespread declines among bumblebees across continents. *Science*, v. 367, p. 685-688, 2020.

SOUZA JUNIOR, J. B. F. Termorregulação e atividade de forrageamento de *Melipona subnitida* no bioma Caatinga. 2019.

SUNDAY, J. M. et al. Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 278, n. 1713, p. 1823-1830, 2011.

SYDNEY, N. V. et al. Padrões espaciais na distribuição de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) da região Neotropical. *Papéis Avulsos de Zoologia*, v. 50, p. 667-679, 2010.

WINFREE, R. et al. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology Letters*, v. 14, n. 4, p. 405-411, 2011.