



Mudanças climáticas e o declínio das abelhas

CLIMATE CHANGE AND THE DECLINE OF BEES

JULIANA BRITO SANTOS¹, MATHEUS CAVALCANTE VIANA², CLÉA DOS SANTOS FERREIRA MARIANO³, RODOLPHO SANTOS TELLES MENEZES⁴, DAVI GALVÃO NERY⁵, SIMONE NUNES BRANDÃO⁶

1 - MESTRANDA EM ZOOLOGIA PELA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

2 - DOUTORANDO EM ZOOLOGIA PELA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

3 - DOUTORA EM ENTOMOLOGIA, DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

4 - DOUTOR EM GENÉTICA E BIOLOGIA MOLECULAR, DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, SANTA MARIA, RS, BRASIL.

5 - GRADUANDO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

6 - DOUTORA EM CIÊNCIAS NATURAIS, DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, ILHÉUS, BA, BRASIL.

E-MAIL: JBSANTOSLIFE@GMAIL.COM, MATHEUSMAKIO120@GMAIL.COM, CSFMARIANO@GMAIL.COM, RSTMENEZES@GMAIL.COM, DAVI.GALVAON@GMAIL.COM, BRANDAO.SN.100@GMAIL.COM

Abstract: The Earth has been in constant transformation since its formation 4.6 billion years ago; this includes changes in climate, biological diversity and ecosystems. However, human actions, through unsustainable practices, are altering climate cycles and ecosystems, causing rapid changes in the Earth's system. This article addresses the impact of current climate change on bees and its serious consequences for human societies. We begin describing briefly the timeline from the initial evolution of bees to the present day, discussing the main climate changes that occurred and relating these events to the evolution of bees and flowering plants. We conclude the article by discussing how the undesired effects of current climate change, and other factors, can drastically reduce wild and managed bee populations, and compromise agricultural production and the maintenance of ecosystems.

Resumo: A Terra se mantém em constante transformação desde sua formação há 4,6 bilhões de anos; isso inclui mudanças no clima, na diversidade biológica e nos ecossistemas. Entretanto, ações humanas, por meio de práticas insustentáveis, estão alterando os ciclos climáticos e os ecossistemas, causando mudanças rápidas no Sistema Terra. O presente artigo aborda o impacto das mudanças climáticas atuais sobre as abelhas e suas graves consequências para as sociedades humanas. Começamos percorrendo a linha do tempo desde a evolução inicial das abelhas até os dias de hoje, discutindo as principais mudanças climáticas que ocorreram e relacionando tais eventos com a evolução das abelhas e das plantas com flores. Concluímos o artigo discutindo de que forma os efeitos indesejados das mudanças climáticas atuais, além de outros fatores, podem reduzir drasticamente populações de abelhas selvagens e manejadas, além de comprometer a produção agrícola e a manutenção de ecossistemas.

Citation/Citação: Santos, J. B., Viana, M. C., Mariano, C. S. F., Menezes, R. S. T., Nery, D. G., & Brandão, S. N. (2022). Mudanças climáticas e o declínio das abelhas. *Terra Didática*, 18(Publ. Contínua), 1-12, e022022. doi: 10.20396/td.v18i00.8669210.

Keywords: Environmental changes, Extinction, Hymenoptera, Temperature.

Palavras-chave: Alterações ambientais, Extinção, Hymenoptera, Temperatura.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 09/05/2022

Revised/Corrigido: 09/06/2022

Accepted/Aceito: 31/07/2022



Introdução

O Planeta Terra é uma “casa” que vem sendo compartilhada por todos os seres vivos que existem hoje e também pelos que já se extinguiram. Mas nós, seres humanos, temos interferido nos ciclos climáticos da Terra, e desse modo, estamos acelerando processos climáticos que, talvez se fossem acontecer, levariam milhões de anos. Dessa forma, é muito provável que os organismos não tenham tempo suficiente para se adaptar às novas condições (Trenberth et al., 2002) e ecossistemas inteiros estão correndo risco de desaparecer. A perda de habitats e as mudanças climáticas são exemplos da interferência humana, que tem levado à crise da biodiversidade, e também tem afetado populações humanas mais vulneráveis (Tabarelli et al., 2005, Heywood, 2011, Daskalova et al., 2020).

Eventos extremos mais frequentes já fazem parte da vida da população brasileira, como os episódios de chuvas intensas, enchentes e deslizamentos que ocorreram em 2022 em cidades do Sul da Bahia, Minas Gerais, e na região serrana do Rio de Janeiro. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*), a elevação do nível do mar já coloca em risco a existência de países insulares como as Maldivas, no Oceano Índico (IPCC, 2019). Apenas em 2021, queimadas duradouras e consideravelmente mais intensas do que nas décadas anteriores causaram perdas humanas e grandes prejuízos ambientais e financeiros no estado da Califórnia nos Estados Unidos, Portugal e na Austrália. Além disto, secas extremas como as que vêm ocorrendo no bioma Cerrado, assim como

ondas de calor e de frio também são consequências das mudanças climáticas provocadas pela humanidade (IPCC, 2021). Desta forma, torna-se urgente informar a população brasileira sobre a emergência climática que estamos vivenciando.

Assim sendo, a compreensão de dois conceitos torna-se necessária: tempo e clima. O tempo está relacionado aos fenômenos de curto prazo, que podem ser notados em nosso cotidiano, exemplos são dias quentes e frios, chuvas, tempestades, correntes de ventos, ciclones entre outros. Já o clima é um padrão de longo prazo, descrito por meio de médias dos fatores de tempo em décadas. O clima não é estático, variando de um ano para outro, e também em períodos muito longos, ou seja, em escala geológica (IPCC, 2001). Desta forma, a ocorrência de dias de frio extremo não nega que a Terra como um todo venha aquecendo nos últimos dois séculos, desde que atividades humanas vêm liberando na atmosfera gases de efeito estufa, como o CO₂, o metano e o óxido nitroso.

Algumas pequenas ações podem ajudar a motivar crianças e adultos a refletirem sobre a importância da preservação da natureza, e consequentemente do consumo consciente, alguns exemplos são: (I) reciclagem dos resíduos não orgânicos, (II) compostagem de resíduos orgânicos, (III) o uso consciente da água, (IV) e discussões sobre os impactos das emissões de gases de efeito estufa por atividades humanas. Os gases que causam o efeito estufa absorvem e reemitem parte da radiação do Sol, aquecendo a Terra. Na verdade, é o efeito estufa que possibilita a vida na Terra, pois sem este a temperatura média do planeta seria por volta de -18°C, ou seja, toda água estaria congelada. Mas as atividades humanas desde a revolução industrial (por volta do ano 1880) vêm emitindo quantidades significativas dos gases de efeito estufa. É importante salientar que estudos científicos demonstram, com alto grau de confiabilidade, que são estas emissões humanas que estão causando um aumento expressivo e rápido da temperatura global (IPCC, 2021). O aquecimento, por sua vez, gera mudanças no sistema climático da Terra, com consequências catastróficas para os seres humanos e demais seres vivos, como desertificação e aumento na frequência e intensidade dos eventos extremos (p. ex., ondas de frio e de calor, inundações e secas extremas e duradouras, ciclones, incêndios florestais de grande extensão e duração, etc.).

Neste contexto, o objetivo do presente artigo é possibilitar reflexões e discussões sobre os efeitos das mudanças climáticas e ambientais, e suas con-

sequências para as abelhas e também as sociedades humanas. Na discussão sobre as mudanças climáticas, apresentamos conceitos básicos sobre o clima da Terra, e como este vem mudando ao longo das últimas dezenas de milhões de anos, desde que as abelhas evoluíram.

Abelhas

As abelhas são insetos do mesmo grupo das formigas e vespas, ou seja, da ordem Hymenoptera (insetos com asas membranosas). Existem mais de 20 mil espécies de abelhas descritas no mundo (Miche-ner, 2007). No Brasil são 2.500 espécies distribuídas em cinco famílias, Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae e Megachilidae (Silva et al., 2014).

As abelhas variam em coloração, forma, tamanho (de 2 a 50 mm) e em hábitos de nidificação (Fig.1). Existem espécies de abelhas que apresentam comportamento solitário e espécies que são eussociais. Estas últimas vivem em colônias e apresentam divisão em castas, com sobreposição de gerações. A eussocialidade é caracterizada pela divisão de trabalho reprodutivo, cuidado cooperativo com as crias e sobreposição de gerações, sendo considerada uma interessante novidade evolutiva das abelhas, dos cupins, das formigas e das vespas (Wilson & Hölldobler, 2005). Nas espécies de abelhas que vivem em colônias e apresentam divisão de trabalho em castas (rainhas, operárias e zangões), todas as atividades são coordenadas pela rainha por meio de feromônios, e são executadas pelas operárias. Já os zangões apenas fecundam a rainha.

As abelhas são conhecidas pelos alimentos que produzem ou armazenam, principalmente o mel, o pólen e o própolis. Entretanto, elas também se destacam pelo serviço ecossistêmico prestado, a polinização. Na coleta de recursos florais (néctar, pólen e óleo), as abelhas podem promover a polinização, que consiste na transferência dos grãos de pólen do órgão masculino (antera) da flor de uma planta para o órgão feminino (estigma) de outra planta da mesma espécie. É por intermédio desse mecanismo (polinização cruzada) que muitas espécies vegetais produzem frutos e sementes, gerando novas plantas e também variabilidade genética (Pinheiro et al., 2014). Cerca de 85% das plantas com flores dependem da polinização por animais, incluindo as abelhas (Ollerton et al., 2011).

As abelhas surgiram e se diversificaram na mesma época em que as plantas com flores (angiospermas) (Cardinal & Danforth, 2013). Atualmente estima-se

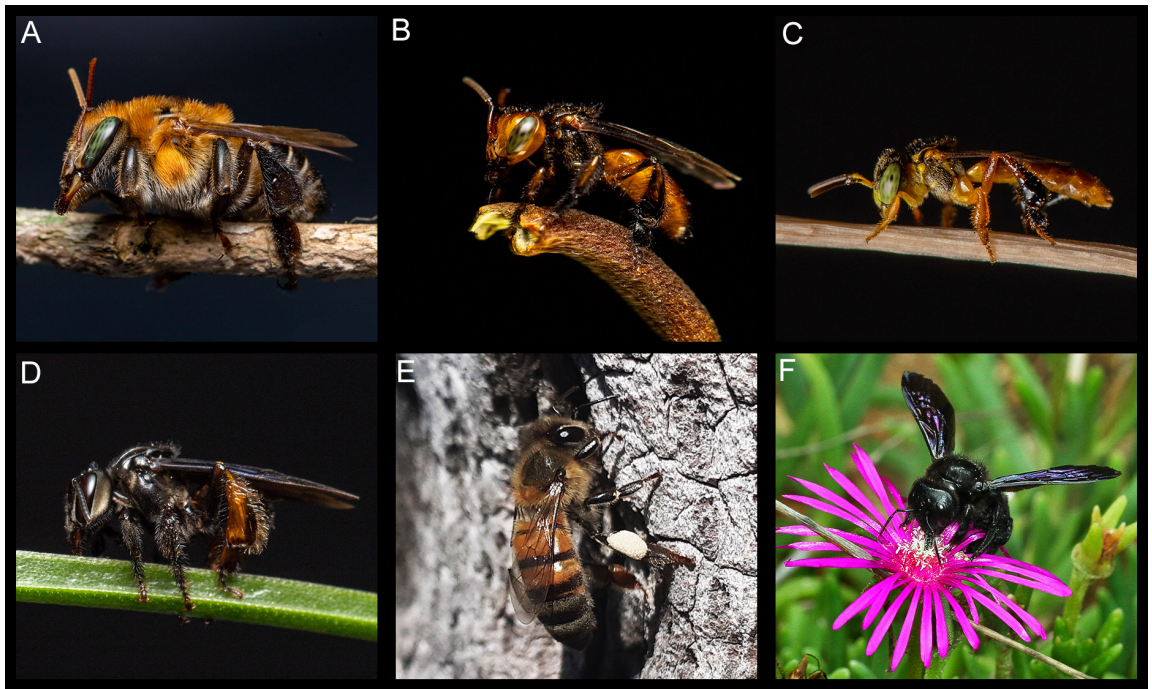


Figura 1. Exemplos de abelhas que ocorrem no Brasil (A-E), na Europa (E-F) e na Ásia (E-F). (A) *Melipona scutellaris* Latreille, 1811; (B) *Oxytrigona tataira* (Smith, 1863); (C) *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811); (D) *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793); (E) *Apis mellifera* Linnaeus, 1758; e (F) *Xylocopa violacea* (Linnaeus, 1758). De (A) a (D) são imagens de espécies pertencentes a Tribo Meliponini; a prancha não ilustra membros de todos os grupos de abelhas. Créditos das fotos: (A-D) Yan Jovita Ramos; (E) Juliana Brito Santos; (F) Philippe Garcelon.

que existam 250 mil espécies de plantas com flores (Wikström et al., 2001). A polinização das plantas por abelhas coletoras de pólen e néctar provavelmente promoveu o isolamento reprodutivo de algumas plantas que viviam dentro de uma mesma área geográfica, o que possibilitou a diversificação dos dois grupos em paralelo (Grant, 1994, Hu et al., 2008).

Estudos utilizando dados genômicos e paleontológicos sugerem que as abelhas surgiram durante o período Cretáceo, que começou há 147 milhões de anos (Ma) e terminou em 65,5 (Ma) (Branstetter et al., 2017, Peters et al., 2017). Datado de aproximadamente 100 Ma, o fóssil de abelha mais antigo é o da espécie *Melittosphex burmensis* (Fig. 2), o qual exibe características únicas presentes nas abelhas (pelos ramificados no corpo e ausência de espinho). A espécie também apresenta algumas estruturas (esporão e basitarso posterior delgado) observadas em vespas apoides atuais, indicando proximidade evolutiva entre os dois grupos (Poinar & Danforth, 2006). *Discoscapa apicula* é a segunda abelha primitiva descrita do âmbar birmanês do Cretáceo Médio, um fóssil que também exibe características de abelha Anthophila e de vespas apoides (Poinar, 2020). Outro fóssil importante é o da abelha sem ferrão *Cretotrigona prisca*, datado em 65 Ma (Engel, 2000).

Mudanças no clima do planeta Terra desde o Cretáceo

Durante o Cretáceo Médio (127-89 Ma), o nível do mar era mais alto do que o dos dias atuais, de forma que entre 120 e 80 Ma aproximadamente 78% da superfície do planeta era coberta por água (ao invés dos atuais 71% da Terra) (Hay, 2011). No início do Cretáceo, as temperaturas tropicais eram próximas das atuais, mas, no Cretáceo Médio, o clima da Terra passou por aquecimento (Clarke & Jenkyns, 1999). Por causa da elevação da temperatura, o gelo marinho e continental era pouco abundante e incomum nas regiões polares. Assim, o polo norte era predominantemente coberto por água, e o polo sul possuía pouco ou nenhum um gelo cobrindo o continente antártico (Ahlberg et al., 2002, Hay, 2011).

No final do período Cretáceo, a Terra passou por alguns eventos de flutuações climáticas, iniciados por volta de 73 Ma, quando ocorreu uma diminuição de mais ou menos 5°C na temperatura do planeta, tanto no ambiente terrestre quanto nos oceanos. O evento seguinte foi um novo aumento da temperatura em 2°C, por volta de 70 a 68,5 Ma,

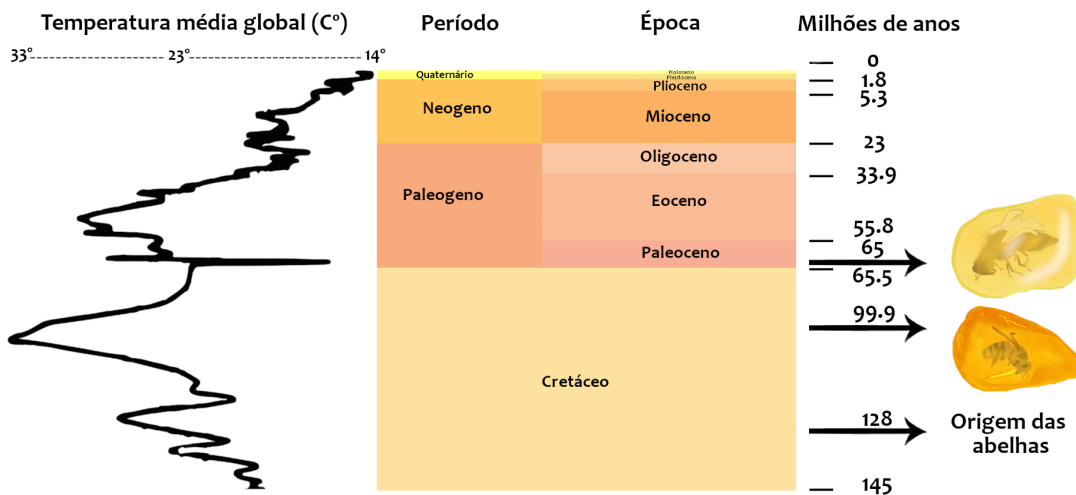


Figura 2. Origem e fósseis de abelhas (Poinar & Danforth, 2006, Engel, 2000, Branstetter et al., 2017, Peters et al., 2017, Poinar, 2020) e as mudanças na temperatura média global (Scotese et al., 2021) desde o período Cretáceo. Dados genômicos indicam que a história evolutiva das abelhas teve início em algum momento entre 128 e 100 milhões de anos atrás (Poinar & Danforth, 2006, Branstetter et al., 2017, Peters et al., 2017)

e outro resfriamento por volta de 65,5 Ma, no início do Paleoceno (Adatte et al., 2002). O final do Cretáceo e início do Paleoceno coincidem com o evento que causou a extinção em massa dos dinossauros e de diversas outras linhagens de vertebrados e invertebrados, quando uma parcela significativa das formas de vida da Terra se extinguiu. Este foi um dos cinco grandes eventos de extinção em massa (Raup & Sepkoski, 1982).

No fim do Paleoceno, época geológica entre 65,5 e 55,8 Ma (Gradstein et al., 2008), houve um aquecimento expressivo no clima da Terra, que ficou conhecido como “Máximo Térmico do Paleoceno-Eoceno” (Zachos et al., 1993), quando a temperatura do planeta aumentou rapidamente em quase 5°C (Kennett & Stott, 1991). No “Máximo Térmico do Paleoceno-Eoceno”, a biodiversidade e os ecossistemas foram intensamente afetados pelo aumento brusco na temperatura, que provavelmente foi causado pela abrupta liberação de um grande volume de metano que estava no subsolo (Dickens et al., 1997). A quantidade de metano liberada durante o período é comparável ao nível atual de emissões do mesmo gás pelas indústrias e pecuária (Bains et al. 1999). Este evento, consideravelmente mais rápido do que os outros períodos de aquecimento global natural, teve velocidade de aquecimento semelhante ao atual. Além disto, a disposição dos continentes, o que influencia o clima da Terra de forma significativa, era semelhante à disposição atual (Wilf, 2000). Por este motivo, o “Máximo Térmico do Paleoceno-Eoceno” é utiliza-

do como modelo para a compreensão dos processos de mudanças climáticas atuais, e para que se possam estimar as respostas dos organismos e ecossistemas atuais às mudanças causadas pela Humanidade.

Durante o fim do Eoceno e início do Oligoceno (mais ou menos 33,7 Ma), ocorreram mudanças relevantes no clima. Neste período, as regiões polares começaram a acumular um maior volume de gelo (Coxall et al., 2005), que se mantém até hoje nos polos (Hay et al., 2005, DeConto et al., 2008). Uma das principais causas deste abrupto resfriamento foi a diminuição de CO₂ na atmosfera do planeta (DeConto & Pollard, 2003, Huber & Nof, 2006), além da separação da Antártida da América do Sul e da Tasmânia (a sul da Austrália), o que proporcionou o surgimento da Corrente Circumpolar Antártica, que por sua vez provocou o isolamento térmico do continente Antártico.

No Mioceno (23 a 5,3 Ma) (Gradstein et al., 2008), a temperatura pode ter ficado mais elevada do que aquelas vistas atualmente, mesmo com as concentrações de CO₂ em níveis menores que hoje em dia (Knorr et al., 2011). A temperatura há 15 Ma pode ter chegado a 3°C a mais que a média atual da Terra, alcançando 18,4°C, em um evento relativamente recente de aquecimento do planeta, e que não teve relação com atividades humanas. Esse evento é conhecido como “Ótimo Climático do Mioceno Médio” (You et al., 2009). Análises de tempo de divergência utilizando dados moleculares indicaram que gêneros de abelhas da subfamília Neopasiphaeinae, além de outros himenópteros,

se diferenciaram e iniciaram sua diversificação durante o Mioceno (Almeida et al., 2019, Menezes et al., 2020).

Durante o Plioceno, que compreende a época de 5,3 a 1,8 Ma (Gradstein et al., 2008), ocorreram eventos climáticos marcantes: período quente de curta duração, isso há cerca de 3 milhões de anos, quando possivelmente ocorreu uma redução na quantidade de gelo (Pollard & DeConto, 2009) nos polos e nas altas montanhas, e conseqüentemente um aumento do nível no mar em aproximadamente 22 metros acima do nível atual (Miller et al., 2012). O Plioceno passou por épocas de períodos glaciais e interglaciais, que estão relacionados à “obliquidade” da Terra, ou inclinação do eixo de rotação da Terra, que varia entre 22,1° e 24,5° em um ciclo que dura 41 mil anos (Reboita et al., 2015).

O Holoceno começou há 11,6 mil anos atrás, no pico da última era glacial, e segue esquentando até hoje, mas também com períodos de resfriamento. Na parte inicial do Holoceno (de 11,6 mil a 9 mil anos atrás), a fase dos ciclos de precessão dos equinócios (a direção no espaço, para onde o eixo da Terra “aponta”) e a obliquidade da Terra favoreceram a persistência de geleiras na América do Norte. Quanto mais gelo no planeta, mais este reflete a energia solar de volta para o espaço, diminuindo a temperatura. Na segunda parte do Holoceno (de 9 mil a 5 mil anos atrás), as temperaturas se mantiveram mais elevadas, diminuindo o volume das geleiras. Por fim, de 5 mil anos atrás até o período pré-industrial (ano 1850), as geleiras avançaram com a diminuição da temperatura (Wanner et al., 2008).

A partir da revolução industrial por volta de 1880, atividades humanas vêm liberando grandes quantidades de gases de efeito estufa para a atmosfera. Exemplos destas atividades são o uso de combustíveis fósseis (gasolina, diesel e gás natural) no transporte e geração de energia, que libera grandes quantidades de gás carbônico (CO₂) e óxido nítrico (N₂O); a pecuária, que libera o metano (NH₄), e a irrigação de larga escala para a agricultura que libera grandes quantidades de vapor d’água. O tempo de permanência destes gases na atmosfera varia, mas o CO₂, por exemplo, permanece de 300 a 1.000 anos. Essas emissões estão também relacionadas ao aumento da população humana no planeta e o conseqüente aumento no consumo de energia, além do desmatamento, da substituição de plantas que transpiram por plantas que conservam água, e o aumento significativo nas construções (que

absorvem energia do Sol, não deixando que esta retorne para o espaço, ou retardando seu retorno) (Hay, 2011).

As emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades humanas desde a revolução industrial até os anos 2000 geraram um aumento de 35% na concentração dos gases na atmosfera (Houghton & Hackler, 2001, Pielke et al., 2002). Como conseqüência, existe um aumento da temperatura média global em mais de 1°C, que põe em risco a maioria dos ecossistemas, já que a temperatura tem influência direta sobre os organismos (Hughes, 2000, Wuethrich, 2000, Walther et al., 2001). O aumento da temperatura tem causado mudanças na distribuição de espécies de aves (Cotton, 2003, Gordo et al., 2005, Hitch & Leberg, 2007), anfíbios (Blaustein et al., 2010), peixes (Perry et al., 2005), plantas (Klanderud & Birks, 2003, Lenoir et al., 2008) e insetos (Warren et al., 2001, Hill et al., 2002, Aguirre-Gutiérrez et al., 2016) em direção aos polos ou regiões de maior altitude, pois nestas prevalecem temperaturas mais baixas (Walther et al., 2002, Parmesan & Yohe, 2003, Giannini et al., 2012). As mudanças climáticas afetam os insetos de várias formas e podem até ocasionar a extinção de várias espécies, incluindo os polinizadores (González-Varo et al., 2013), que desempenham papel fundamental nos ecossistemas naturais (Ollerton et al., 2011) e também em sistemas agrícolas (Klein et al., 2007). Além da alteração na distribuição geográfica, o aumento da temperatura pode causar mudanças no comportamento dos animais, e na fenologia das plantas podendo provocar a dissociação entre a planta e seu polinizador (Visser & Both, 2005, Parmesan, 2006, Hegland et al., 2009).

Declínio populacional das abelhas na atualidade:

O desaparecimento das abelhas em diversas regiões do planeta tem causado preocupação entre os pesquisadores (Brown & Paxton, 2009), pois os serviços prestados por estes insetos são essenciais para o equilíbrio dos ecossistemas. A polinização permite a manutenção de ecossistemas saudáveis e diversos, uma vez que os frutos e sementes são utilizados na alimentação de muitas espécies. Assim sendo, a diminuição na abundância das abelhas tem efeito cascata, diminuindo a reprodução de plantas, que estão na base da teia trófica dos ecossistemas terrestres (Kevan, 1999).

Em sistemas agrícolas, as abelhas têm grande importância por serem polinizadoras efetivas de 90% dos 107 principais cultivos já estudados no

mundo (Klein et al., 2007). No Brasil, calcula-se que a polinização pelas abelhas relacionada apenas à produção agrícola tem um valor anual de US\$12 bilhões (Giannini et al., 2015) (Tab.1).

1. Mudanças climáticas e as abelhas

Uma série de fatores antropogênicos contribui para o declínio populacional cada vez mais acentuado das abelhas. Exemplos de fatores são a alteração cada vez mais intensa no uso de terra, a introdução de espécies exóticas, doenças (Cariveau & Winfree, 2015), e também as mudanças climáticas.

As mudanças climáticas estão modificando padrões climáticos, influenciando assim comunidades de abelhas no mundo de várias maneiras (Phillips et al., 2018, Kammerer et al., 2021), como por exemplo, expondo as espécies a condições ambientais estressantes, com temperatura e precipitação fora da tolerância fisiológica de cada espécie, o que pode causar diminuição no número de indivíduos nas populações de abelhas, e também pode levar a extinções locais (Sunday et al., 2014). Por exemplo, a abelha *Bombus bellicosus*, conhecida popularmente no Brasil como mamangava, era amplamente encontrada no Paraná na década de 80, porém, desde 2004, não há mais registros desta espécie do estado (Martins & Melo, 2010). O desaparecimento da espécie foi posteriormente documentado em outro estudo brasileiro (Martins et al., 2015), no qual apontou-se que a principal causa foi o aumento da temperatura, juntamente com mudanças no uso da terra.

Diversos estudos estimam que as mudanças climáticas serão a principal causa de extinções em vários grupos de organismos (Burns et al., 2003, Thomas et al., 2004). Giannini e colaboradores

(2020) fizeram projeções da distribuição de 216 espécies de abelhas na Floresta Amazônica (Floresta Nacional de Carajás) no futuro. Os resultados mostram que 95% das espécies podem ter retração em sua área de ocorrência, e 71% das espécies poderão perder mais de 80% da sua área de ocorrência. Um resultado equivalente foi apresentado por Giannini e colaboradores (2012), que observaram uma diminuição da distribuição futura (2050 e 2080) e redução de até 35% da área projetada para espécies de abelhas endêmicas de Mata Atlântica.

No hemisfério norte, em análise de modelagem de nicho de espécies para três grupos de polinizadores, Aguirre-Gutiérrez e colaboradores (2016) encontraram mudanças na distribuição de espécies em direção ao polo norte para 48% das 358 abelhas encontradas nos Países Baixos, apenas entre 1970 e 2014. Essa mudança na distribuição geográfica das espécies para regiões com altitude e latitude mais altas podem ter como consequência extinções locais (Jones & Cheung, 2015).

Mudanças nos padrões climáticos sazonais, juntamente com o aumento da frequência de eventos climáticos extremos, podem alterar a disponibilidade de recursos que as flores disponibilizam, causando incompatibilidade fenológica (ou seja, um descompasso) entre plantas e seus polinizadores (Both et al., 2009, Bartomeus et al., 2011, Rafferty & Ives, 2011). A variação na temperatura está positivamente relacionada ao comportamento de forrageamento (busca por alimentos) em insetos polinizadores. Assim, quando as abelhas são submetidas a altas temperaturas, existe uma diminuição de seus serviços de polinização, pois gastam menos tempo nas flores e mais tempo esfriando seus corpos (Heinrich, 1993).

Tabela 1. Nível de dependência de polinizadores de alguns vegetais produzidos para alimentação humana no Brasil (de acordo com Giannini et al., 2020)

Cultura	Abelhas polinizadoras	Nível de dependência
Castanha-do-pará	<i>Apis mellifera</i> , <i>Centris similis</i> , <i>Epicharis flava</i> , <i>Eulaema nigrita</i> , <i>Xylocopa frontalis</i>	Essencial
Melancia	<i>Apis mellifera</i> , <i>Tetragonisca angustula</i> , <i>Trigona spinipes</i> , <i>Xylocopa frontalis</i>	Essencial
Melão	<i>Apis mellifera</i> , <i>Trigona spinipes</i>	Essencial
Maracujá	<i>Bombus morio</i> , <i>Bombus pauloensis</i> , <i>Centris similis</i> , <i>Epicharis flava</i> , <i>Eulaema nigrita</i>	Essencial
Maçã	<i>Apis mellifera</i> , <i>Melipona quadrifasciata</i>	Alta
Goiaba	<i>Centris aenea</i> , <i>Centris tarsata</i> , <i>Epicharis flava</i> , <i>Eulaema nigrita</i> , <i>Exomalopsis auripilosa</i>	Alta
Tomate	<i>Oxaea flavescens</i> , <i>Bombus morio</i> , <i>Bombus pauloensis</i> , <i>Centris aenea</i> , <i>Centris similis</i> , <i>Centris tarsata</i>	Alta

2. Espécies invasoras

Após a introdução em uma nova área, as espécies inseridas podem se dispersar por mecanismos naturais ou por intermédio de ações humanas. Ao ampliar ainda mais sua distribuição geográfica e, quando se estabelecem em uma nova região, estas espécies podem causar danos variados à região invadida (Hulme et al., 2008). Os impactos da introdução de espécies invasoras são alterações: (I) dos padrões de comportamento das espécies nativas; (II) na diversidade de espécies nativas (Hejda et al., 2009), e (III) na composição das comunidades (Simberloff et al., 2013). Todos esses fatores podem levar à extinção de espécies nativas.

Algumas espécies de abelhas foram introduzidas em diversas regiões geográficas (Velthuis & Doorn, 2006), por exemplo, *Apis mellifera* foi introduzida no Brasil em 1967, na cidade de São Paulo, com objetivo de compor um estudo de abelhas mais produtivas para a apicultura (Moritz et al., 2005). No Chile, *Bombus terrestris* foi introduzida em 1997 para auxiliar na polinização de tomate em plantações comerciais. Inicialmente, sua utilização era feita exclusivamente em estufas, no entanto, não demorou para que seu uso ao ar livre fosse aprovado no país. Desta forma, populações destas abelhas migraram para florestas e se dispersaram para a Argentina, onde foram encontradas em 2006 (Aizen et al., 2018). Em ambos os casos, os impactos negativos sobre os ecossistemas nativos foram amplamente documentados, como, por exemplo, a competição com espécies nativas e a perturbação das relações de plantas e com seus polinizadores (Dafni et al., 2010).

A globalização tem favorecido o aparecimento de espécies fora de sua área de distribuição natural (Perrings et al., 2005). Em outras palavras, o surgimento de novas rotas de comércio e o aumento no volume de mercadorias contribui para a disseminação de espécies invasoras, ampliando a frequência das introduções (Perrings et al., 2005, Carvalho, 2022). Além disso, as mudanças climáticas podem tornar adequadas, para uma determinada espécie, áreas que antes eram inadequadas, favorecendo a colonização de novos locais e, conseqüentemente, alterando a ocorrência geográfica de muitas espécies nativas nas comunidades de uma dada região (Kerr et al., 2015).

3. Uso da terra

A mudança no uso da terra é um dos fatores antropogênicos mais bem estudados (Burkle et al., 2013). As mudanças podem ter efeitos complexos

e em cascata nas comunidades de abelhas. Por exemplo, paisagens urbanas ou agrícolas geralmente apresentam menor diversidade e menor abundância de abelhas selvagens, quando comparadas a locais com vegetação semi-natural, como parques arborizados (Willmer, 2014) e, conseqüentemente, apresentam redução no serviço de polinização realizado pelas abelhas (Grab et al., 2019). Além disso, as abelhas mais afetadas por alterações na paisagem são as espécies especialistas, pois são dependentes de uma ou de poucas espécies de plantas.

Diferentes espécies apresentam diferentes tipos de traços funcionais, e isso tem influência direta nas respostas às mudanças climáticas (Pörtner & Peck, 2010, Scott & Johnston, 2012). Traços comportamentais, fisiológicos e de história natural podem contribuir para que as espécies sejam mais ou menos resistentes às mudanças no uso da terra, que são umas das principais causas das mudanças climáticas (Aguirre-Gutiérrez et al., 2016). Outros aspectos relacionados ao uso da terra são a utilização de agrotóxicos nos cultivos agrícolas, e a perda ou fragmentação de habitats. Estes processos têm contribuído para o declínio das populações e a mudança nas distribuições geográficas de abelhas selvagens, e são também uma das causas da redução do tamanho do corpo das abelhas, da diversidade filogenética e dos serviços de polinização (Willmer, 2014, Grab et al., 2019).

4. Doenças

A introdução de novas doenças é outro importante fator de risco, principalmente para as abelhas selvagens, que já sofrem significativamente com outros impactos. A introdução de espécies de abelhas em regiões, em que não ocorreriam naturalmente, facilita a propagação de patógenos, que podem então passar a acometer as abelhas nativas (Cariveau & Winfree, 2015, Carvalho 2022). Na América do Sul, um exemplo desse tipo de processo é o do vírus da asa deformada e seu vetor, o ácaro do gênero *Várroa*. Possivelmente, o vírus se espalhou globalmente por meio da introdução da abelha *Apis mellifera*, cujas colônias são amplamente comercializadas (Arismendi et al., 2021).

Considerações finais

Desde sua formação, o clima, a geografia e os ecossistemas da Terra vêm mudando, influenciando a evolução da vida e a distribuição das espécies e ecossistemas no planeta. As abelhas surgiram em

algum momento entre 128 e 100 milhões de anos atrás (durante o período Cretáceo) e, desde então vêm se adaptando ao longo de vários eventos, como aumento e diminuição na temperatura. Recentemente, as abelhas vêm sofrendo declínios populacionais e extinções locais devidos ao aumento geologicamente rápido da temperatura do planeta, à introdução de espécies exóticas e consequentemente de novas doenças e patógenos, ao uso de agrotóxicos nas plantações (em áreas de forrageamento) e da perda de habitats. São fatores que ameaçam a sobrevivência de seres tão importantes para a vida dos ecossistemas terrestres como os conhecemos hoje. A possível extinção global de espécies de abelhas ameaça também a Humanidade, já que estes insetos estão diretamente relacionados à produção de alimentos e também à sobrevivência de florestas. Algumas ações são caminhos que podem contribuir na conservação das abelhas, como por exemplo: (I) a criação de ambientes urbanos (praças arborizadas, jardins) favoráveis aos polinizadores é uma das medidas amigáveis de conservação das abelhas, que tem sido difundida em alguns países europeus; (II) políticas públicas de fiscalização municipal, estadual e nacional constituem uma alternativa de combate à venda de colônias de abelhas ameaçadas de extinção, além de compor uma barreira à introdução de espécies exóticas; (III) fomento a pesquisas e o investimento em Unidades de Conservação, e (IV) políticas públicas de incentivo à redução de emissões de gases estufa. Estas últimas são ações extremamente viáveis para o combate à crise climática e que promovem, consequentemente, a conservação das abelhas e outros animais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao colegiado, coordenação e técnicos administrativos do Programa de Pós-Graduação em Zoologia da Universidade Estadual de Santa Cruz por possibilitar a oferta da disciplina “Mudanças Climáticas e a Biodiversidade”, durante a qual o presente artigo de divulgação científica começou a ser escrito. Somos gratos também aos demais discentes da disciplina por terem contribuído com algumas sugestões, e a Yan Jovita Ramos e Philippe Garcelon pela permissão de uso das fotografias da Figura 1. O artigo é resultante do Projeto de Extensão da UESC “Divulgação Científica enquanto Avaliação em Disciplinas na Universidade”, coordenado por SNB.

Referências

- Aadte, T., Keller, G., & Stinnesbeck, W. (2002). Late Cretaceous to early Paleocene climate and sea-level fluctuations: The Tunisian record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178(3-4), 165-196. doi: 10.1016/S0031-0182(01)00395-9.
- Aguirre-Gutiérrez, J., Kissling, W. D., Carvalheiro, L. G., WallisDeVries, M. F., Franzén, M., & Biesmeijer, J. C. (2016). Functional traits help to explain half-century long shifts in pollinator distributions. *Scientific Reports*, 6(1), 24451. doi: 10.1038/srep24451.
- Ahlberg, A., Herman, A. B., Raikevich, M., Rees, A., & Spicer, R. A. (2002). Enigmatic Late Cretaceous high palaeo-latitude limestones in Chukotka, northeasternmost Asia. *Gff*, 124(4), 197-199. doi: 10.1080/11035890201244197.
- Aizen, M. A., Smith-Ramírez, C., Morales, C. L., Vieli, L., Sáez, A., Barahona-Segovia, R. M., Arbetman, M. P., Montalva, J.,...& Harder, L.D. (2018). Coordinated species importation policies are needed to reduce serious invasions globally: The case of alien bumblebees in South America. *Journal of Applied Ecology*, 56, 100-106. doi: 10.1111/1365-2664.13121.
- Almeida, E. A. B., Packer, L., Melo, G. A. R., Danforth, B. N., Cardinal, S. C., Quintero, F. B., & Pic, M. R. (2019). The diversification of neopasiphaeinae bees during the Cenozoic (Hymenoptera: Colletidae). *Zoologica Scripta*, 48(2), 226-242. doi: 10.1111/zsc.12333.
- Arismendi, N., Riveros, G., Zapata, N., Smaghe, G., González, C., & Vargas, M. (2021). Occurrence of bee viruses and pathogens associated with emerging infectious diseases in native and non-native bumble bees in southern Chile. *Biological Invasions*, 23(4), 1175-1189. doi: 10.1007/s10530-020-02428-w.
- Bains, S., Corfield, R. M., & Norris, R. D. (1999). Mechanisms of climate warming at the end of the Paleocene. *Science*, 285(5428), 724-727. doi: 10.1126/science.285.5428.724.
- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Wagner, D., Danforth, B. N., Colla, S., Kornbluth, S., & Winfree, R. (2011). Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(51), 20645-20649. doi: 10.1073/pnas.1115559108.
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. (2010). Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2(2), 281-313. doi: 10.3390/d2020281.
- Both, C., Van Asch, M., Bijlsma, R. G., Van Den Burg, A. B., & Visser, M. E. (2009). Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: Constraints or adaptations? *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 73-83. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01458.x.
- Branstetter, M. G., Danforth, B. N., Pitts, J. P., Faircloth, B. C., Ward, P. S., Buffington, M. L., Gates, M. W., Kula, R. R., & Brady, S. G. (2017). Phylogenomic insights into the evolution of stinging wasps and

- the origins of ants and bees. *Current Biology*, 27(7), 1019-1025. doi: 10.1016/j.cub.2017.03.027.
- Brown, M. J. F., & Paxton, R. J. (2009). The conservation of bees: A global perspective. *Apidologie*, 40(3), 410-416. doi: 10.1051/apido/2009019.
- Burkle, L. A., Marlin, J. C., & Knight, T. (2013). Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function. *Science*, 339(6127), 1611-1615. doi: 10.1126/science.1232728.
- Burns, C. E., Johnston, K. M., & Schmitz, O. J. (2003). Global climate change and mammalian species diversity in U.S. national parks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11474-11477. doi: 10.1073/pnas.1635115100.
- Cardinal, S., & Danforth, B. N. (2013). Bees diversified in the age of eudicots. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1755). doi: 10.1098/rspb.2012.2686.
- Cariveau, D. P., & Winfree, R. (2015). Causes of variation in wild bee responses to anthropogenic drivers. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 104-109. doi: 10.1016/j.cois.2015.05.004.
- Carvalho, A. F., (2022). Illegalities in the online trade of stingless bees in Brazil. *Insect Conservation and Diversity*, (Journal early view, 01.06.2022). doi: 10.1111/icad.12590.
- Clarke, L. J., & Jenkyns, H. C. (1999). New oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere. *Geology*, 27(8), 699-702. doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<0699:NOIEFL>2.3.CO;2.
- Cotton, P. A. (2003). Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(21), 12219-12222. doi: 10.1073/pnas.1930548100.
- Coxall, H. K., Wilson, P. A., Pälike, H., Lear, C. H., & Backman, J. (2005). Rapid stepwise onset of Antarctic glaciation and deeper calcite compensation in the Pacific Ocean. *Nature*, 433(7021), 53-57. doi: 10.1038/nature03135.
- Dafni, A., Kevan, P., Gross, C.L. & Goka, K. (2010) *Bombus terrestris*, pollinator, invasive and pest: An assessment of problems associated with its widespread introductions for commercial purposes. *Applied Entomology and Zoology*, 45, 101-113. doi: 10.1303/aez.2010.101.
- Daskalova, G. N., Myers-Smith, I. H., Björkman, A. D., Blowes, S. A., Supp, S. R., Magurran, A. E., & Dornelas, M. (2020). *Landscape-scale forest loss as a catalyst of population and biodiversity change*, 368(6497), 1341-1347. doi: 10.1126/science.aba1289.
- Deconto, R. M., & Pollard, D. (2003). Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO₂. *Nature*, 421(6920), 1313-1317. doi: 10.1038/nature01290.
- DeConto, R. M., Pollard, D., Wilson, P. A., Pälike, H., Lear, C. H., & Pagani, M. (2008). Thresholds for Cenozoic bipolar glaciation. *Nature*, 455(7213), 652-656. doi: 10.1038/nature07337.
- Dickens, G. R., Castillo, M. M., & Walker, J. C. G. (1997). A blast of gas in the latest Paleocene: Simulating first-order effects of massive dissociation of oceanic methane hydrate. *Geology*, 25(3), 259-262. doi: 10.1130/0091-7613(1997)025<0259:ABOGIT>2.3.CO;2.
- Engel, Mi. S. (2000). A New Interpretation of the Oldest Fossil Bee (Hymenoptera: Apidae). *American Museum Novitates*, 3296(3296), 1-11. doi: 10.1206/0003-0082(2000)3296<0001:ANIO-TO>2.0.CO;2.
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 849-857. doi: 10.1093/jec/fov093.
- Giannini, T.C., Alves, D.A., Alves, R., Cordeiro, G.D., Campbell, A.J., Awade, M., Bento, J.M.S., Saraiva, A.M. & Imperatriz-Fonseca, V.L. (2020) Unveiling the contribution of bee pollinators to Brazilian crops with implications for bee management. *Apidologie*, 51, 406-421. doi: 10.1007/s13592-019-00727-3.
- Giannini, Tereza C., Acosta, A. L., Garófalo, C. A., Saraiva, A. M., Alves-dos-Santos, I., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2012). Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecological Modelling*, 244, 127-131. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035.
- González-Varo, J. P., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Potts, S. G., Schweiger, O., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Szentgyörgyi, H.,... & Vilà, M. (2013). Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(9), 524-530. doi: 10.1016/j.tree.2013.05.008.
- Gordo, O., Brotons, L., Ferrer, X., & Comas, P. (2005). Do changes in climate patterns in wintering areas affect the timing of the spring arrival of trans-Saharan migrant birds? *Global Change Biology*, 11(1), 12-21. doi: 10.1111/j.1365-2486.2004.00875.x.
- Grab, H., Branstetter, M. G., Amon, N., Urban-Mead, K. R., Park, M. G., Gibbs, J., Blitzer, E. J., Poveda, K., Leob, G., & Danforth, B. N. (2019). Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science*, 363(6424), 282-284. doi: 10.1126/science.aat6016.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., & van Kranendonk, M. (2008). On the Geologic Time Scale 2008. *Newsletters on Stratigraphy*, 43(1), 5-13. doi: 10.1127/0078-0421/2008/0043-0005.
- Grant, V. (1994). Modes and origins of mechanical and ethological isolation in angiosperms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(1), 3-10. doi:10.1073/pnas.91.1.3
- Hay, W. W. (2011). Can humans force a return to a "Cretaceous" climate? *Sedimentary Geology*, 235(1-2), 5-26. doi: 10.1016/j.sedgeo.2010.04.015.
- Hay, W. W., Flögel, S., & Söding, E. (2005). Is the initiation of glaciation on Antarctica related to a change in the structure of the ocean? *Global and Planetary Change*, 45(1-3 SPEC. ISS.), 23-33. doi: 10.1016/j.gloplacha.2004.09.005.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjercknes, A. L., & Totland, (2009). How does climate warming affect

- plant-pollinator interactions? *Ecology Letters*, 12(2), 184-195. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x.
- Heinrich, B. (1993). *The hot-blooded insects: strategies and mechanisms of thermoregulation*. Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press. doi: 10.4159/harvard.9780674418516.
- Hejda, M., Pyšek, P., & Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*, 97(3), 393-403. doi: 10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x.
- Heywood, V. H. (2011). Ethnopharmacology, food production, nutrition and biodiversity conservation: Towards a sustainable future for indigenous peoples. *Journal of Ethnopharmacology*, 137(1), 1-15. doi: 10.1016/j.jep.2011.05.027.
- Hill, J. K., Thomas, C. D., Fox, R., Telfer, M. G., Willis, S. G., Asher, J., & Huntley, B. (2002). Responses of butterflies to twentieth century climate warming: Implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269(1505), 2163-2171. doi: 10.1098/rspb.2002.2134.
- Hitch, A. T., & Leberg, P. L. (2007). Breeding distributions of North American bird species moving north as a result of climate change. *Conservation Biology*, 21(2), 534-539. doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00609.x.
- Houghton, R. A., & Hackler, J. L. (2001). Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850 to 1990. *Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory*. doi: epubs/ndp/ndp050/ndp050.html.
- Hu, S., Dilcher, D. L., Jarzen, D. M., & Taylor, D. W. (2008). Early steps of angiosperm-pollinator coevolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(1), 240-245. doi: 10.1073/pnas.0707989105.
- Huber, M., & Nof, D. (2006). The ocean circulation in the southern hemisphere and its climatic impacts in the Eocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 231(1-2), 9-28. doi: 10.1016/j.palaeo.2005.07.037.
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Integrative Zoology*, 15(2), 56-61. doi: 10.1111/1749-4877.12006.
- Hulme, P. E., Bacher, S., Kenis, M., Klotz, S., Kühn, I., Minchin, D., Nentwig, W.,... & Vilà, M. (2008). Grasping at the routes of biological invasions: A framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45(2), 403-414. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01442.x.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change [Baede, A. P. M., Ahlonsou, E., Ding, Y., Schimel, D., Bolin, B., & Pollonais, S.]. (2001). *The climate system: an overview. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.j. van der Lide. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 88. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf. Acesso 08.04.2022.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change [Oppenheimer, M., Glavovic, B.C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A.K., Abd-Elgawad, A., Cai, R.,... & Sebesvari, Z.]. (2019) *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, D.C., Roberts, V., Masson-Delmotte, P., Zhai, M., Tignor, E., Poloczanska, K., Mintenbeck, A.,... & Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 321-445. doi: 10.1017/9781009157964.006.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N.,... & Zhou, B. (eds.)]. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. (in press). URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>. Acesso 08.04.2022.
- Jones, M. C., & Cheung, W. W. L. (2015). Multi-model ensemble projections of climate change effects on global marine biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 741-752. doi: 10.1093/icesjms/fsu172.
- Kammerer, M., Goslee, S. C., Douglas, M. R., Tooker, J. F., & Grozinger, C. M. (2021). Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, 27(6), 1250-1265. doi: 10.1111/gcb.15485.
- Kennett, P., & Stott, D. (1991). Abrupt deep-sea warming, palaeoceanographic changes and benthic extinctions at the end of the Palaeocene. *Nature*, 353, 225-229. doi: 10.1038/353225a0.
- Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S. G., Roberts, S. M., Rasmont, P.,... & Alberto. (2015). Climate change. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Across Continents*. 349(6244), 177-180. doi: 10.1126/science.aaa7031
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1-3), 373-393. doi: 10.1016/S0167-8809(99)00044-4.
- Klanderud, K., & Birks, H. J. B. (2003). Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *Holocene*, 13(1), 1-6. doi: 10.1191/0959683603hl589ft
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721.
- Knorr, G., Butzin, M., Micheels, A., & Lohmann, G. (2011). A warm Miocene climate at low atmospheric CO₂ levels. *Geophysical Research Letters*, 38(20), 1-5. doi: 10.1029/2011GL048873.
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., De Ruffray, P., & Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320(5884), 1768-1771. doi: 10.1126/science.1156831.
- Martins, A. C., & Melo, G. A. R. (2010). Has the bum-

- blebee *Bombus bellicosus* gone extinct in the northern portion of its distribution range in Brazil? *Journal of Insect Conservation*, 14(2), 207-210. doi: 10.1007/s10841-009-9237-y.
- Martins, A. C., Silva, D. P., De Marco, P., & Melo, G. A. R. (2015). Species conservation under future climate change: the case of *Bombus bellicosus*, a potentially threatened South American bumblebee species. *Journal of Insect Conservation*, 19(1), 33-43. doi: 10.1007/s10841-014-9740-7.
- Menezes, R. S. T., Lloyd, M. W., & Brady, S. G. (2020). Phylogenomics indicates Amazonia as the major source of Neotropical swarm-founding social wasp diversity: Phylogenomics of epiponine wasps. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1928). doi: 10.1098/rspb.2020.0480rspb20200480.
- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World*. 2 ed. In: Baltimore, USA: Johns Hopkins University Press.
- Miller, K. G., Wright, J. D., Browning, J. V., Kulpecz, A., Kominz, M., Naish, T. R., Cramer, B. S.,... & Sosdian, S. (2012). High tide of the warm Pliocene: Implications of global sea level for Antarctic deglaciation. *Geology*, 40(5), 407-410. doi: 10.1130/G32869.1.
- Moritz, R.F.A., Härtel, S. & Neumann, P. (2005). Global invasions of the western honeybee (*Apis mellifera*) and the consequences for biodiversity. *Ecoscience*, 12, 289-301. doi: 10.2980/i1195-6860-12-3-289.1.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42. doi: 10.1038/nature01286.
- Perrings, C., Dehnen-Schmutz, K., Touza, J., & Williamson, M. (2005). How to manage biological invasions under globalization. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(5), 212-215. doi: 10.1016/j.tree.2005.02.011.
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D. (2005). Ecology: Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308(5730), 1912-1915. doi: 10.1126/ciência.1111322.
- Peters, R. S., Krogmann, L., Mayer, C., Donath, A., Gunkel, S., Meusemann, K., Kozlov, A., ..., & Niehuis, O. (2017). Evolutionary History of the Hymenoptera. *Current Biology*, 27(7), 1013-1018. doi: 10.1016/j.cub.2017.01.027.
- Phillips, B. B., Shaw, R. F., Holland, M. J., Fry, E. L., Bardgett, R. D., Bullock, J. M., & Osborne, J. L. (2018). Drought reduces floral resources for pollinators. *Global Change Biology*, 24(7), 3226-3235. doi: 10.1111/gcb.14130.
- Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., Niyogi, D. D. S., & Running, S. W. (2013). The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity: The Market Approach*, 157-172. doi: 10.1098/rsta.2002.1027.
- Pinheiro, M., Gaglianone, M. C., Nunes, C. E. P., Sigrüst, M. R., & Alves-dos-Santos, I. (2014). Polinização por abelhas. In: Rech, A. R., Agostini, K., Oliveira P. E., & Machado, I.C. (2014). *Biologia da Polinização*. Rio de Janeiro: Cores Belchior. p.206-211.
- Poinar, G. O., & Danforth, B. N. (2006). A fossil bee from Early Cretaceous burmese amber. *Science*, 314(5799), 614. doi: 10.1126/science.1134103.
- Poinar, G. (2020). Discoscipidae fam. nov. (Hymenoptera: Apoidea), a new family of stem lineage bees with associated beetle triungulins in mid-Cretaceous Burmese amber. *Palaeodiversity*, 13(1), 1. doi: 10.18476/pale.v13.a1
- Pollard, D., & DeConto, R. M. (2009). Modelling West Antarctic ice sheet growth and collapse through the past five million years. *Nature*, 458(7236), 329-332. doi: 10.1038/nature07809
- Pörtner, H. O., & Peck, M. A. (2010). Climate change effects on fishes and fisheries: Towards a cause-and-effect understanding. *Journal of Fish Biology*, 77(8), 1745-1779. doi: 10.1098/rspb.2019.2046.
- Rafferty, N. E., & Ives, A. R. (2011). Effects of experimental shifts in flowering phenology on plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, 14(1), 69-74. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01557.x.
- Raup, D. M., & Sepkoski, J. J. (1982). Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*, 215(4539), 1501-1503. doi: 10.1126/science.215.4539.1501.
- Reboita, M. S., Pimenta, A. de P., & Natividade, U. A. (2015). Influência da inclinação do eixo de rotação da Terra na temperatura do ar global. *Terrae Didática*, 11(2), 67. doi: 10.20396/td.v11i2.8640680.
- Scotese, C.R., Song, H., Mills, B.J.W. & van der Meer, D.G. (2021). Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, 215, 103503. doi: 10.1016/j.earscirev.2021.103503.
- Scott, G. R., & Johnston, I. A. (2012). Temperature during embryonic development has persistent effects on thermal acclimation capacity in zebrafish. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(35), 14247-14252. doi: 10.1073/pnas.1205012109.
- Silva, C. I., Aleixo, K. P., Nunes-Silva, B., Freitas, B. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2014). *Guia ilustrado de abelhas polinizadoras no Brasil*. São Paulo: Instituto de Estudos Ambientais. 7p.
- Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(1), 58-66. doi: 10.1016/j.tree.2012.07.013
- Sunday, J. M., Bates, A. E., Kearney, M. R., Colwell, R. K., Dulvy, N. K., Longino, J. T., & Huey, R. B. (2014). Thermal-safety margins and the necessity of thermoregulatory behavior across latitude and elevation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(15), 5610-

5615. doi: 10.1073/pnas.1316145111

- Tabarelli, M., Pinto, L. P., Silva, J. M. C., Hirota, M., & Bede, L. (2005). Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology*, 19(3), 695-700. doi: 10.1111/j.1523-1739.2005.00694.x
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Diqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Townsend Peterson, A., Phillips, O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148. doi: 10.1038/nature02121.
- Trenberth, K. E., Miller, K., Mearns, L., & Rhodes, S. (2002). Effects of changing climate on weather and human activities. In *Journal of Chemical Education*, 79(4), 4-33. doi: 10.1021/ed079p433.3.
- Velthuis, H. W., & Doorn, A. Van. (2006). A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie*, 37(4), 421-451. doi: 10.1051/apido:2006019.
- Visser, M. E., & Both, C. (2005). Shifts in phenology due to global climate change: The need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1581), 2561-2569. doi: 10.1098/rspb.2005.3356.
- Walther, G. R., Burga, C. A., Edwards, P. J., & Eds. (2001). "Fingerprints" of Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges. [Proceedings of the International Conference "Fingerprints" for Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges, February 23-25, 2001, Ascona, Switzerland. Springer Science & Business Media. 339p.
- Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J., I, O. H., & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395. doi: 10.1038/416389a.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Curbasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M. & Widmann, M. (2008) Mid-to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1791-1828. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.06.013.
- Warren, M. S., Hill, J. K., Thomas, J. A., Asher, J., Fox, R., Huntley, B., Roy, D. B., Telfer, M. G., Jeffcoate, S., Harding, P., Jeffcoate, G., Willis, S. G., Greatorex-Davis, J. N., Moss, D., & Thomas, C. D. (2001). Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature*, 414, 65-69 (2001). doi: 10.1038/35102054.
- Wikström, N., Savolainen, V. & Chase, M.W. (2001) Evolution of the angiosperms: Calibrating the family tree. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268, 2211-2220. doi: 10.1098/rspb.2001.1782.
- Wilf, P. (2000). Late paleocene-early eocene climate changes in Southwestern Wyoming: Paleobotanical analysis. *Bulletin of the Geological Society of America*, 112(2), 292-307. doi: 10.1130/0016-7606(2000)112<292:LP ECCI>2.0.CO;2
- Willmer, P. (2014). Climate change: Bees and orchids lose touch. *Current Biology*, 24(23), R1133-R1135. doi: 10.1016/j.cub.2014.10.061.
- Wilson, E. O., & Hölldobler, B. (2005). Eusociality: Origin and consequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38), 13367-13371. doi: 10.1073/pnas.0505858102.
- Wuethrich, B. (2000). How Climate Change Alters Rhythms of the Wild. *Science*, 287(5454), 793-795. doi: 10.1126/science.287.5454.793
- You, Y., Huber, M., Müller, R. D., Poulsen, J., & Ribbe, J. (2009). Simulation of the middle miocene climate optimum. *Geophysical Research Letters*, 36(4), 1-5. doi: 10.1029/2008GL036571.
- Zachos, J. C., Lohmann, K. C., Walker, J. C. G., & Wise, W. (1993). Abrupt climate change and transient climates during the Paleogene: A marine perspective. *The Journal of Geology*, 101(2), 191-213. doi: 10.1086/648216.