

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA



**Passado, presente e futuro da distribuição potencial de abelhas sem ferrão
brasileiras em resposta às alterações climáticas**

MATHEUS CAVALCANTE VIANA

Orientador: Prof. Antonio J. C. Aguiar

Co-Orientadora: Profa. Luisa G. Carvalheiro

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zoologia, para obtenção de título de mestre em Zoologia.

Brasília/DF

Agosto de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES pelo incentivo financeiro durante o mestrado. Esse auxílio foi muito importante para que eu continuasse, assim como é importante para que tantos outros estudantes continuem fazendo um excelente trabalho em todo Brasil.

Agradeço à Profa. Dra. Astrid Kleinert e ao projeto temático da Fapesp (n° 04/15801-0), que financiou o projeto de elaboração do banco de dados da A.B.E.L.H.A. O trabalho foi possível graças a esse banco de dados.

Agradeço aos meus Orientadores Antônio Aguiar e Luísa G. Carvalheiro por todo apoio e o incentivo durante essa etapa tão importante que foi o mestrado. Vocês me fizeram enxergar o mundo de uma forma bem mais interessante.

Faço um agradecimento especial ao Prof. Jesús Aguirre Gutierrez, que durante todo o mestrado me auxiliou de forma ímpar no aprendizado sobre modelos de distribuição de espécies.

Agradeço aos membros da banca de avaliação do mestrado, por disporem seu tempo para melhorar o meu trabalho.

Agradeço também aos meus amigos, Aline, Chico, Rogério, Rafella, Daniela, Padwan, Krissia e Igor do Lab. UnBee por todo o suporte e momentos de descontração que fizeram e muita a diferença durante o caminho.

Agradeço aos meus amigos Taís, Wagner, Víctor e Bruno que me ajudaram a cruzar as diversas barreiras que precisei enfrentar, que foram desde ajuda com os scripts no R à apoio psicológico gratuito.

Agradeço aos meus amigos Mari, Carol, Roberta, Chico e “Geovani” que conheci durante o Curso de Programação em R (Goiânia) e que agora levo pra vida.

Agradeço também aos meus amigos Samuel, Letícia e Lena por todos os momentos de descontração que fazem toda diferença desde a Embrapa. Sem vocês o mestrado teria sido bem mais difícil.

Agradeço aos meus amigos Déborah, Larissa e Thiago, que conheci durante a graduação e que me deram valiosos conselhos durante o mestrado.

Agradeço ao meu amigo Flávio por todas as palavras de incentivo e apoio. Suas palavras sempre tiveram o poder de me trazer a luz novamente e me dar forças para prosseguir, mesmo em situações bastante complicadas.

Por fim, quero agradecer a Ivone, Adonias, Pedro, Juliana e Andreza. Vocês são a melhor família que eu poderia querer. Vocês podem não fazer ideia, mas foram uma das peças mais importantes e valiosas para a conclusão desse trabalho.

Muito obrigado a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a conclusão desse trabalho!

LISTA DE FIGURAS

Tab 1 Quantidade de ocorrências utilizadas para gerar os modelos em capa período de estudo e bioma associado para cada espécie.....	27
Fig. 1 Mapa de ganho/perda de precipitação e temperatura entres os tempos de estudo.....	35
Fig.2. Mapas da riqueza das espécies gerado a partir dos modelos binários de todas as espécies.....	37
Fig. 3 Mapas de riqueza para espécies manejadas e não manejadas, gerados a partir dos modelos binários das espécies.....	40
Fig. 4 Mapas de riqueza para espécies que nidificam no solo ou acima do solo, gerados a partir dos modelos binários das espécies.....	42
S1 Tab. 2 Valores de AUC (<i>Area Under Curve</i>) associados às espécies para o passado (TP1), presente (TP2) e nos dois cenários para o futuro (RCP26 e RCP85).....	64
S2. Tab. 3 Deslocamento de distribuição (km) previstos para as espécies, entre 1960 até o presente.....	69
S3 Tab. 4 Porcentagem de área ganha ou perdida para as espécies entre os períodos de estudo.....	72
S4. Fig. 5 Importância das variáveis climáticas na nidificação e manejo durante o tempo.....	75
S5. Fig. 6 Melhores modelos gerados (delta AICc <2)	76
S6. Fig. 7 Alterações da área de distribuição das espécies de abelhas.....	76
S7. Fig. 8 Modelos binários gerados para as espécies para o passado, presente e sua área comum.....	77

S8. Fig. 9 Modelos binários gerados para as espécies para o passado, presente e sua área comum.....	78
S9. Fig. 10 Modelos binários gerados para as espécies para o passado, presente e sua área comum.....	79
S10. Fig. 11 Modelos binários gerados para as espécies para o passado, presente e sua área comum.....	80
S11. Fig. 12 Modelos binários gerados para as espécies para o passado, presente e sua área comum... ..	81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

A.B.E.L.H.A - Associação Brasileira de Estudo das Abelhas;

GBIF - Global Biodiversity Information Facility;

Tmin - Temperatura mínima;

Tmax - Temperatura máxima;

PPT - Precipitação;

PT1 - Período de Tempo 1;

PT2 - Período de Tempo 2;

MaxEnT - Maximum Entropy;

RF - Random Forest;

GLM - Generalized Linear Models;

PPM - Partes por milhão;

RCP - Representative Concentration Pathways;

AUC - Area Under Curve;

SUMÁRIO

REVISÃO DA LITERATURA.....	10
Mudanças climáticas: influência do clima na distribuição das espécies...	10
Modelos de distribuição de espécies.....	12
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	22
1.0 INTRODUÇÃO.....	23
2.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
2.1 Seleção das espécies.....	25
2.2 Construção e seleção dos dados climáticos.....	30
2.3 Modelagem de distribuição de espécies.....	31
2.4 Análises de dados.....	32
2.5 Mapas de riqueza e subtração das variáveis entre os tempos.....	33
3.0 RESULTADOS.....	34
3.1 Mudança do clima e riqueza entre os períodos de estudo: Passado (1960~1989) e presente (1990~2015)	34
3.2 Mudança do clima e riqueza entre os períodos de estudo: Presente (1990~2015) e Cenário futuro otimista (RCP 2.6)	37

3.3	Mudança do clima e riqueza entre os períodos de estudo: Presente (1990~2015) e cenário futuro pessimista (RCP 8.5)	38
3.4	Riqueza das espécies relacionadas a suas características: manejo e nidificação	38
4.0	DISCUSSÃO.....	43
5.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49
	ANEXOS.....	64

0 REVISÃO DA LITERATURA

1 Mudanças climáticas: a influência do clima na distribuição das espécies

2 As alterações climáticas são eventos normais durante toda a história da Terra,
3 porém, os desdobramentos causados pela influência humana na dinâmica climática
4 merecem uma especial atenção (Sodhi et al. 2009). Somente entre os anos de 1850 e 2001,
5 vimos que 35% da emissão de CO₂ são resultados diretos das atividades antrópicas
6 (Houghton and L Hackler 2001; Pielke et al. 2002).

7 Adger e colaboradores (2007) em um estudo realizado com dados globais desde
8 1970, sugerem que o aquecimento provocado por influência antropogênica é responsável
9 por mudanças perceptíveis em sistemas naturais. Essas mudanças recentes podem afetar
10 uma ampla variedade de organismos que possuem uma distribuição geográfica diversa
11 submetendo organismos, populações e comunidades ecológicas a risco de não
12 responderem de forma eficiente às novas médias globais levando a consequências
13 ecológicas desastrosas (Hughes 2000; Wuethrich 2000; McCarty 2001; Walther et al.
14 2001; Stenseth et al. 2003).

15 Atualmente, podemos contar com uma grande quantidade de trabalhos que
16 destacam de maneira bem clara o impacto da mudança da temperatura média global na
17 disposição de diversos grupos de seres vivos (Perry et al. 2005; Hitch and Leberg 2007;
18 Lenoir et al. 2008; Blaustein et al. 2010; Aguirre-Gutiérrez et al. 2016). Trabalhos com
19 mudanças na escala de distribuição de espécies relacionada com alterações climáticas são
20 realizados principalmente na Europa e América do Norte, contudo informações sobre os
21 padrões de distribuição em países do hemisfério sul ainda são escassos (Parmesan 2006;
22 Adger et al. 2007).

23 De forma geral, o aumento na temperatura resulta em um deslocamento das
24 espécies em direção aos polos ou altitudes mais altas, sendo esperado que as espécies
25 através de dispersão possam acompanhar a disponibilidade de recursos juntamente à
26 variação climática e alterar suas distribuições latitudinais, se adequando às modificações
27 da temperatura (Walther et al. 2002; Parmesan and Yohe 2003; Saraiva et al. 2012). No
28 entanto, se analisarmos alguns casos como por exemplo, os corais construtores de recifes,
29 esse tipo de resposta pode não ocorrer caso dependa de outros fatores como a
30 disponibilidade de luz (Hoegh-Guldberg 1999).

31 Algumas espécies são afetadas em sua fenologia e os intervalos de resposta
32 devido às alterações no clima, o que resulta em expansão de locais de menores latitudes
33 e altitudes para maiores (Easterling et al. 2000; Root et al. 2003), o que torna evidente a
34 mudança na ocorrência de uma grande variedade de grupos taxonômicos em direção aos
35 polos durante o século XX (Easterling et al. 2000; Walther et al. 2001; Aguirre-Gutiérrez
36 et al. 2016) descreveram a mudança para o norte na escala de três grupos distintos de
37 polinizadores, tal tendência deve-se provavelmente ao aquecimento global.

38 Por possuir características importantes para a dinâmica nos diversos
39 ecossistemas, os insetos são responsáveis por mais de 90% da polinização de plantas em
40 todo o mundo (Ollerton et al. 2011). Este serviço é de extrema importância para os seres
41 humanos pois, quando executado de forma eficiente, é responsável pelo aumento na
42 produção agrícola e produções florestais (Kremen et al. 2007).

43 As mudanças climáticas afetam os insetos diretamente, pois os mesmos
44 apresentam grande sensibilidade, o que pode ocasionar o desaparecimento de muitas
45 espécies e, dentre elas os polinizadores (González-Varo et al. 2013). Os serviços de

46 polinização são atribuídos às espécies selvagens, principalmente abelhas, mas podem ser
47 realizados por outros grupos, como mariposas, moscas, vespas e besouros (Kremen et al.
48 2002). No entanto, em alguns casos, para aumentar a polinização das lavouras algumas
49 espécies de abelhas são introduzidas comercialmente (Klein et al. 2007). Desta forma, a
50 perda de serviços de espécies polinizadoras, principalmente abelhas é um exemplo atual
51 e causa grande preocupação em pesquisadores de todo o mundo (Ashman et al. 2004;
52 Ricketts et al. 2004; Aguilar et al. 2006; Jaffé et al. 2010).

53 **Modelos de distribuição de espécies**

54 A inquietante pergunta de como a biodiversidade está distribuída na Terra ao
55 longo do tempo levou vários biogeógrafos e ecologistas a desenvolverem modelos que
56 buscam explicar melhor como ocorre essa distribuição e, quais as relações entre espécies
57 e seus ambientes (Guisan and Thuiller 2005). Dentre as várias ferramentas geográficas
58 desenvolvidas estão os sistemas de informação geográfica, que nos permitem priorizar
59 áreas de conservação e avaliar qual o melhor caminho para manter a nossa biodiversidade
60 (Peterson 2016).

61 Assim a modelagem preditiva de distribuições geográficas de espécies tem como
62 princípio as condições ambientais de locais onde a ocorrência de um determinado
63 organismo é conhecida, tornando-se uma importante ferramenta para a biologia analítica.
64 As aplicações são amplas para as áreas de conservação, planejamento de reservas,
65 ecologia, evolução, epidemiologia, manejo de espécies invasoras e outros campos
66 (Peterson and Shaw 2003).

67 Os modelos de distribuição de espécies são o conjunto de métodos que
68 correlacionam as condições ambientais (dados ambientais) com as necessidades

69 ecológicas de um determinado organismo e, podem prever as chances de uma espécie
70 ocupar um determinado habitat (Warren and Seifert 2011). Embora existam grandes
71 avanços nos últimos anos nas técnicas para estimar a extensão geográfica do nicho
72 fundamental ou “envelope bioclimático”, a estimativa do nicho fundamental ainda é um
73 passo intermediário para estimar a distribuição geográfica das espécies (Pearson and
74 Dawson 2003).

75 **REFERÊNCIAS**

- 76 Adger N, Pramod A, Agrawala S, Alcamo J, Yohe G (2007) Climate Change 2007:
77 Impacts, Adaptation and Vulnerability : Working Group II Contribution to the
78 Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Summ
79 Policymakers 1–23 . doi: 10.1256/004316502320517344
- 80 Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, Aizen MA (2006) Plant reproductive susceptibility
81 to habitat fragmentation: Review and synthesis through a meta-analysis. *Ecol Lett*
82 9:968–980 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2006.00927.x
- 83 Aguirre-Gutiérrez J, Kissling WD, Carvalheiro LG, WallisDevries MF, Franzén M,
84 Biesmeijer JC (2016) Functional traits help to explain half-century long shifts in
85 pollinator distributions. *Sci Rep* 6:24451 . doi: 10.1038/srep24451
- 86 Ashman T-L, Knight TM, Steets JA, Amarasekare P, Burd M, Campbell DR, Dudash
87 MR, Johnston MO, Mazer SJ, Mitchell RJ, Morgan MT, Wilson WG (2004) pollen
88 limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and
89 consequences. *Ecology* 85:2408–2421
- 90 Blaustein AR, Walls SC, Bancroft BA, Lawler JJ, Searle CL, Gervasi SS (2010) Direct
91 and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity* 2:281–
92 313 . doi: 10.3390/d2020281
- 93 Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO, Easterling
94 DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns L (2000) Climate
95 Extremes : Observations , Modeling , and Impacts. 289:2068–2074
- 96 González-Varo JP, Biesmeijer JC, Bommarco R, Potts SG, Schweiger O, Smith HG,

97 Steffan-Dewenter I, Szentgyörgyi H, Woyciechowski M, Vilà M (2013) Combined
98 effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends Ecol*
99 *Evol* 28:524–530 . doi: 10.1016/j.tree.2013.05.008

100 Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: Offering more than simple
101 habitat models. *Ecol Lett* 8:993–1009 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x

102 Hitch AT, Leberg PL (2007) Breeding distributions of North American bird species
103 moving north as a result of climate change. *Conserv Biol* 21:534–539 . doi:
104 10.1111/j.1523-1739.2006.00609.x

105 Hoegh-Guldberg O (1999) Climate change, coral bleaching and the future of the
106 world's coral reefs. *Mar Freshw Res* 50:839–866 . doi: 10.1071/MF99078

107 Houghton R, L Hackler J (2001) Carbon Flux to the Atmosphere From Land-Use
108 Changes: 1850 to 1990. Carbon Dioxide Inf Anal Cent - Environ Sci Div - Oak
109 Ridge Natl Lab. doi: 10.2172/775411

110 Hughes L (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already
111 apparent? *Trends Ecol Evol* 15:56–61 . doi: 10.1016/S0169-5347(99)01764-4

112 Jaffé R, Dietemann V, Allsopp MH, Costa C, Crewe RM, Dall'olio R, de la Rúa P, El-
113 niweiri MAA, Fries I, Kezic N, Meusel MS, Paxton RJ, Shaibi T, Stolle E, Moritz
114 RFA (2010) Estimating the Density of Honeybee Colonies across Their Natural
115 Range to Fill the Gap in Pollinator Decline Censuses. *Conserv Biol* 24:583–593 .
116 doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01331.x

117 Klein A-M, Cunningham SA, Tscharntke T, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter
118 I, Kremen C (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world

119 crops. *Proc R Soc B Biol Sci* 274:303–313 . doi: 10.1098/rspb.2006.3721

120 Kremen C, Potts SG, Klein A-M, Minckley R, Ricketts TH, Gemmill-Herren B,
121 Winfree R, Williams NM, Vázquez DP, Regetz J, Steffan-Dewenter I, Aizen MA,
122 Roulston T, Packer L, LeBuhn G, Greenleaf SS, Keitt TH, Crone EE, Adams L
123 (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a
124 conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol Lett* 10:299–314 .
125 doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x

126 Kremen C, Williams NM, Thorp RW (2002) Crop pollination from native bees at risk
127 from agricultural intensification. *Proc Natl Acad Sci* 99:16812–16816 . doi:
128 10.1073/pnas.262413599

129 Lenoir J, Gégout JC, Marquet PA, De Ruffray P, Brisse H (2008) A significant upward
130 shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* (80-)
131 320:1768–1771 . doi: 10.1126/science.1156831

132 McCarty JP (2001) Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conserv Biol*
133 15:320–331 . doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x

134 Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by
135 animals? *Oikos* 120:321–326 . doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

136 Parmesan C (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change.
137 *Annu Rev Ecol Evol Syst* 37:637–669 . doi:
138 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100

139 Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts
140 across natural systems. *Nature* 421:37–42 . doi: 10.1038/nature01286

141 Pearson R, Dawson T (2003) Predicting the impacts of climate change on the
142 distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob Ecol*
143 *Biogeogr* 12:361–371

144 Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds john D (2005) Climate Change and Distribution
145 Shifts in Marine Fishes. *Science* (80-) 308:1912–1915 . doi:
146 10.1126/science.1111322

147 Peterson AT (2016) Predicting Species ' Geographic Distributions Based on Ecological
148 Niche Modeling. 103:599–605

149 Peterson AT, Shaw J (2003) *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern
150 Brazil: Ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate
151 change effects. *Int J Parasitol* 33:919–931 . doi: 10.1016/S0020-7519(03)00094-8

152 Pielke RA, Marland G, Betts RA, Chase TN, Eastman JL, Niles JO, Niyogi D d. S,
153 Running SW (2002) The influence of land-use change and landscape dynamics on
154 the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect
155 of greenhouse gases. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 360:1705–1719 .
156 doi: 10.1098/rsta.2002.1027

157 Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD (2004) ic value of tropical forest to
158 coffee production. *Proc Natl Acad Sci* 101:12579–12582

159 Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA (2003)
160 Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60 .
161 doi: 10.1142/9781848162044_0011

162 Saraiva AM, Acosta AL, Giannini TC, Carvalho CAL, Alves RMO, Drummond MS,

163 Blochtein B, Witter S, Alves-Dos-Santos I, Imperatriz-Fonseca VL (2012)
164 Influência das alterações climáticas sobre a distribuição de algumas espécies de
165 Melipona no Brasil. Polinizadores no Bras - Contrib e Perspect para a
166 Biodiversidade, Uso Sustentável, Conserv e Serviços Ambient 349–359

167 Sodhi NS, Brook BW, Bradshaw CJA (2009) Causes and Consequences of Species
168 Extinctions. *Princet Guid to Ecol* 1:514–520 . doi: 10.1515/9781400833023.514

169 Stenseth NC, Post E, Reid PC, Planque B, Ottersen G, Belgrano A (2003) Ecological
170 effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128:1–14 . doi:
171 10.1007/s004420100655

172 Walther G, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin J, I OH,
173 Bairlein F (2002) <Walther_etal_2002_Nature_phenology.pdf>. 389–395 . doi:
174 10.1038/416389a

175 Walther GR, Burga CA, Edwards PJ, Eds. (2001) “Fingerprints” of Climate Change:
176 Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges;[proceedings of the International
177 Conference" Fingerprints" for Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting
178 Species Ranges, Held February 23-25, 2001, at Ascona, Switzerlan. *Sci Bus Media*

179 Warren DL, Seifert SN (2011) Ecological niche modeling in Maxent: the importance of
180 model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol Appl*
181 21:335–342

182 Wuethrich B (2000) How climate change alters rhythms of the wild. *Science* (80-)
183 287:793–795 . doi: 10.1126/science.287.5454.793

184

185 **Passado, presente e futuro da distribuição potencial de abelhas sem ferrão**
186 **brasileiras em resposta às alterações climáticas**

187 Matheus Cavalcante Viana¹, Jesús Aguirre-Gutiérrez², Luísa G. Carvalheiro³, Antonio J.
188 C. Aguiar¹

189 1 - Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas,
190 Universidade de Brasília, CEP 70910-900, Brasília/DF, Brasil.

191 2- Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment,
192 University of Oxford, Oxford, UK.

193 3- Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas,
194 Universidade Federal de Goiás, CEP 74001-970, Goiânia/GO, Brasil.

195 Autor correspondente: matheusmakio120@gmail.com

196 **Manuscrito formatado segundo as normas da revista Apidologie (Springer)**

197 **RESUMO**

198 As mudanças climáticas afetam a disposição de diversos táxons em diferentes níveis e
199 podem ocasionar o desaparecimento de muitas espécies de seres vivos, dentre eles estão
200 espécies de grande importância ecológica e econômica, como é o caso das abelhas. Com
201 o objetivo de entender como as variáveis climáticas influenciam a distribuição das
202 espécies de abelhas sem ferrão brasileiras, utilizamos modelos de distribuição potencial
203 em três períodos, sendo o primeiro de 1960 a 1989, o segundo de 1990 a 2019 e o último
204 para 2050 em dois cenários distintos. Foram implementados dados obtidos em bases
205 digitais para 50 espécies de abelhas, sendo a maioria da tribo Meliponini (43 spp.),
206 seguidos por Euglossini (4 spp.), Bombini (1 sp.), Anthidiini (1 sp.) e Augochlorini (1
207 sp.). Para implementação dos modelos foram calculadas 19 variáveis bioclimáticas
208 disponíveis para os dois primeiros períodos, enquanto que para os cenários futuros as
209 variáveis foram construídas a partir de 14 modelos disponíveis no WorldClim. Foram
210 gerados mapas de riqueza entre os três períodos analisados e sua provável distribuição no
211 território. Também foi avaliado a influência de características funcionais biológicas de
212 socialidade, padrão de nidificação e manejo dentre as espécies estudadas. Nossos
213 resultados indicam deslocamento médio de mais de 500 km e esse deslocamento foi
214 principalmente para as regiões Sul e Sudeste, acompanhando principalmente as áreas que
215 apresentaram menores aumentos na temperatura. Foi observado diminuição da área
216 adequada de 2% até 67% para as espécies nos cenários futuros. Os resultados sugerem
217 que já houve provável deslocamento da distribuição das espécies de abelhas sem ferrão
218 no Brasil e este deslocamento tende a continuar e a área adequada tende a diminuir.
219 Quanto ao efeito das características biológicas, não houve diferença entre as espécies

- 220 manejadas e não manejadas, mas houve significativa diferença da área reduzida entre as
- 221 espécies sociais e solitárias e dentre as que nidificam no solo e acima do solo.
- 222 **Palavras-chave: Meliponini / temperatura / precipitação / modelos de distribuição**
- 223 **de espécies**

224 **ABSTRACT**

225 Climate change affects the disposition of various taxons at different levels and can cause
226 the disappearance of many species of living beings, among them are species of great
227 ecological and economic importance, such as bees. In order to understand how climate
228 variables, influence the distribution of Brazilian stingless bee species, we used potential
229 distribution models in three periods, the first from 1960 to 1989, the second from 1990 to
230 2019 and the last for 2050 in two different scenarios. Data obtained in digital bases were
231 implemented for 50 species of bees, the majority of which were Meliponini (43 spp.),
232 followed by Euglossini (4 spp.), Bombini (1 sp.), Anthidiini (1 sp.) and Augochlorini (1
233 sp.). For the implementation of the models, 19 bioclimatic variables available for the first
234 two periods were calculated, while for the future scenarios, the variables were constructed
235 from 14 models available in WorldClim. Richness maps were generated between the three
236 periods analyzed and their probable distribution in the territory. The influence of
237 biological functional characteristics of sociality, nesting patterns and management among
238 the species studied was also evaluated. Our results indicate an average displacement of
239 more than 500 km and this displacement was mainly for the South and Southeast regions,
240 following mainly the areas that presented smaller increases in temperature. A decrease of
241 2% to 67% was observed for species in future scenarios. The results suggest that the
242 distribution of stingless bees in Brazil has already been probably displaced, and this
243 displacement tends to continue and the adequate area tends to decrease. Regarding the
244 effect of biological characteristics, there was no difference between managed and
245 unmanaged species, but there was a significant difference in the reduced area between
246 social and solitary species and between those that nest in the soil and above ground.

247 **Keywords: Meliponini / temperature / precipitation / species distribution models**

248 **INTRODUÇÃO**

249 É relatado que as médias da temperatura durante o século XX aumentaram como
250 nunca observado em todo o milênio, alcançando valores próximos a 0.6 °C (Houghton et
251 al. 2001). Vários modelos destacam que para o futuro a tendência é que o aumento se
252 agrave ainda mais, caso os níveis de CO₂ continuem a crescer (Fischer et al. 2018; Steffen
253 et al. 2018).

254 Os ecossistemas em todo o planeta são atingidos por esse aumento na
255 temperatura (Albritton et al. 2007), e podem agir diretamente sobre a distribuição natural
256 das espécies, acometendo mudanças em vários aspectos do seu comportamento (Pearson
257 and Dawson 2003), no deslocamento da distribuição das espécies de menores latitudes
258 para maiores (Parmesan and Yohe 2003; Root et al. 2003), na fenologia de plantas e
259 animais (Roy and Sparks 2000; Gordo and Sanz 2006; Miller-Rushing et al. 2006; Dos
260 Santos et al. 2015), e na associação entre o polinizador/planta, causando perturbações em
261 sua interação (Bale et al. 2002; Visser and Both 2005; Parmesan 2006; Hegland et al.
262 2009; Warren and Bradford 2014).b

263 O serviço de polinização de plantas é de extrema importância para os seres
264 humanos, pois é responsável pelo aumento na produção agrícola de culturas de
265 subsistências e produção florestais de materiais para consumo (Kremen et al. 2007). As
266 abelhas são as principais responsáveis pela polinização da maioria das plantas com flores
267 em todo o mundo, e atuam amplamente como polinizadores de plantas tropicais (Wratten
268 et al. 2012), principalmente as abelhas da tribo Meliponini (Ester Judith Slaa et al. 2006).

269 Devido aos importantes serviços ambientais prestados por essas abelhas, a
270 comunidade científica tem se esforçado bastante para comunicar as consequências que as

271 mudanças climáticas podem causar, como por exemplo, mudança na fenologia e
272 dessincronização com plantas (Visser and Both 2005), já que alterações climáticas estão
273 entre os principais fatores que influenciam no declínio das abelhas (Lopes et al. 2005).

274 Abelhas da tribo Meliponini são eussociais e comumente conhecidas como
275 abelhas-sem-ferrão. Estão restritas às regiões tropicais e subtropicais, com maior
276 diversidade e abundância na região neotropical (de Camargo, J. M.F. and de Menezes
277 Pedro, S.R. 1992). Nessa tribo há mais de 500 espécies conhecidas, com cerca de 80%
278 presente no hemisfério Ocidental, sendo 140 dessas apenas na região amazônica
279 (Camargo, 1990).

280 Atualmente contamos com algumas ferramentas que nos auxiliam no
281 entendimento de como as espécies vão responder às mudanças climáticas globais, e dentre
282 essas ferramentas estão os modelos de distribuição de espécies (Moritz and Agudo 2013),
283 que são métodos que correlacionam dados de ocorrência de espécie com dados ambientais,
284 a fim de prever as áreas com maior ou menor adequabilidade para as espécies existirem
285 (Warren and Seifert 2011).

286 Assim, podemos compreender como era a distribuição das espécies em relação
287 a climas passados, e como ela contribuiu para a composição atual das espécies (Hugall et
288 al. 2002; Graham et al. 2006). Além disto, poderemos ter uma melhor compreensão sobre
289 a resposta das espécies às futuras mudanças climáticas antropogênicas e, com isto,
290 estabelecer medidas eficazes na conservação dessas espécies (Keith et al. 2014; Watson
291 2014).

292 Na região neotropical, os esforços para entender a influência do clima no padrão
293 de distribuição potencial de abelhas tem se intensificado nos últimos anos (Giannini et al.

294 2012; Silva et al. 2013; Teixeira 2013; Silva et al. 2014; Dos Santos et al. 2015; Martins
295 et al. 2015; Giannini et al. 2017), porém muito muito ainda precisa ser feito,
296 principalmente com uma escala temporal ampla (Rafferty 2017). Trabalhos com várias
297 espécies do gênero *Melipona* e *Centris* indicam diminuição crítica da área de distribuição
298 destas espécies (Teixeira 2013; Giannini et al. 2017), bem como para *Bombus bellicosus*,
299 que no passado era uma das espécies mais abundantes no Sul do Brasil e hoje nota-se o
300 desaparecimento no seu limite norte e em várias áreas da região Sul (Martins et al. 2015).

301 Um fator importante que tem sido bastante negligenciado é a riqueza,
302 principalmente em uma escala temporal vasta (Menendez et al. 2006) e, dados como esse
303 podem nos ajudar a entender quais são os locais mais ou menos susceptíveis para as
304 espécies. Com isso o presente estudo teve como objetivo entender como as variáveis
305 climáticas influenciam a distribuição das abelhas no Brasil com ênfase nas abelhas sem
306 ferrão, ao longo de quase um século (1960-2050) e avaliar se haverá perda ou ganho de
307 tamanho de distribuição durante essa escala temporal, bem como alterações nos padrões
308 de riqueza, e respostas à essas mudanças com base em suas características biológicas,
309 como nidificação, socialidade e manejo.

310

311 **2.0 MATERIAIS E MÉTODOS**

312

313 **2.1 Seleção das espécies**

314 Foram utilizadas 50 espécies de abelhas, sendo destas 43 de abelhas sem ferrão
315 (Apidae: Meliponini) mais comuns e com distribuição no território brasileiro. As abelhas
316 sem ferrão representam o grupo de abelhas mais importante nas áreas tropicais por sua

317 alta abundância, reflexo das suas grandes colônias, e significativa riqueza de espécies
318 (Michener 2007). Foi utilizado como critério de exclusão as espécies de abelhas que
319 possuíam menos de 15 pontos de ocorrência, tanto no período 1 (1960~1989) quanto no
320 período 2 (1990~2015) (**Tab.1**). Utilizamos esse critério para que as poucas ocorrências
321 não prejudicassem o desempenho dos modelos. Não foi possível avaliar se os dados de
322 ocorrências para espécies manejadas utilizados para rodar os modelos, proviam de locais
323 em essas espécies foram realocadas, então alguns modelos podem ter sido enviesados por
324 conta disso.

325 Os dados de ocorrências das abelhas foram obtidos a partir da plataforma digital
326 A.B.E.L.H.A (<https://abelha.org.br/geoapis/>), que reúne informação compiladas de vários
327 sistemas on-line (Catálogo Moure, Biodiversity Heritage Library, Bioline International,
328 Directory of Open Access Journals, Encyclopedia of Life, Coleção Entomológica “Prof.
329 J.M.F. Camargo”, FFCLRP/USP, Fototeca Cristiano Menezes, Flickr, SpeciesLink,
330 Oasisbr e Interação Abelha-Planta). O tratamento taxonômico seguiu o Catálogo Moure,
331 e, após uma triagem feita nos dados para retirar pontos de ocorrência fora dos anos de
332 estudos e eliminar as coordenadas duplicatas, foram selecionadas 43 espécies de abelhas
333 sem ferrão e outras sete espécies de abelhas, sendo uma social do gênero *Bombus*, quatro
334 da tribo Euglossini, uma espécie da família Halictidae e uma espécie de Megachilidae
335 (**Tab. 1**).

336 **Tab 1** Espécies e número ocorrências utilizadas para gerar os modelos em TP1
 337 (1960~1989), TP2 (1990~2019) e, nos dois cenários futuros (RCP 2.6 - otimista, RCP 8.5
 338 – pessimista), bem como o seu principal bioma associado: MA (Mata Atlântica), PA
 339 (Pampa), CE (Cerrado), FA (Floresta Amazônica)

Espécie		Ocorrências (TP1)	Ocorrências (TP2, RCP2.6, RCP8.5)	BIOMAS
Bombini				
<i>Bombus morio</i>	Swederus, 1787	23	66	MA,PA
Euglossini				
<i>Euglossa cordata</i>	Cockerell, 1904	15	73	MA,FA
<i>Eulaema cingulata</i>	Moure, 1950	16	129	FA
<i>Eulaema meriana</i>	Olivier, 1789	20	166	FA
<i>Eulaema nigrita</i>	Lepeletier, 1841	28	139	MA,CE
Meliponini				
<i>Friesella schrottkyi</i>	Friese, 1900	16	18	MA
<i>Frieseomelitta trichocerata</i>	Moure, 1990	15	23	FA
<i>Geotrigona subterranea</i>	Friese, 1901	16	35	FA,CE
<i>Leurotrigona muelleri</i>	Friese, 1900	20	44	FA,CE
<i>Melipona grandis</i>	Guérin, 1844	20	86	FA
<i>Melipona marginata</i>	Lepeletier, 1836	16	24	MA
<i>Melipona paraensis</i>	Ducke, 1916	17	16	FA
<i>Melipona quadrifasciata</i>	Lepeletier, 1836	29	36	MA,CE
<i>Melipona quinquefasciata</i>	Lepeletier, 1836	21	20	CE
<i>Melipona seminigra</i>	Friese, 1903	49	149	FA

<i>Paratrigona lineata</i>	Lepeletier, 1836	34	63	CE
<i>Paratrigona subnuda</i>	Moure, 1947	19	35	MA
<i>Partamona ailyae</i>	Camargo, 1980	38	122	FA
<i>Partamona combinata</i>	Pedro & Camargo, 2003	31	46	FA,CE
<i>Partamona ferreirai</i>	Pedro e Camargo, 2003	20	22	FA
<i>Partamona helleri</i>	Friese, 1900	62	50	MA
<i>Partamona mourei</i>	Camargo, 1980	22	20	FA
<i>Partamona pearsoni</i>	Schwarz, 1938	22	16	FA
<i>Partamona seridoensis</i>	Pedro & Camargo, 2003	17	18	FA
<i>Partamona testacea</i>	Klug, 1807	39	113	FA
<i>Partamona vicina</i>	Camargo, 1980	64	72	FA
<i>Ptilotrigona lurida</i>	Smith, 1854	70	142	FA
<i>Scaura latitarsis</i>	Friese, 1900	18	65	MA
<i>Scaura tenuis</i>	Ducke, 1916	18	66	FA
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	Lepeletier, 1836	30	60	MA
<i>Tetragonisca angustula</i>	Latreille, 1811	25	60	MA,CE
<i>Trigona albipennis</i>	Almeida, 1995	17	37	FA
<i>Trigona branneri</i>	Cockerell, 1912	49	135	FA
<i>Trigona chanchamayoensis</i>	Schwarz, 1948	15	68	FA
<i>Trigona crassipes</i>	Fabricius, 1793	30	58	FA
<i>Trigona dallatorreana</i>	Friese, 1900	23	43	FA
<i>Trigona fulviventris</i>	Guérin, 1844	36	29	FA
<i>Trigona fuscipennis</i>	Friese, 1900	51	94	FA,MA
<i>Trigona guianae</i>	Cockerell, 1910	52	162	FA
<i>Trigona hyalinata</i>	Lepeletier, 1836	29	46	FA,CE
<i>Trigona hypogea</i>	Silvestri, 1902	18	73	FA
<i>Trigona pallens</i>	Fabricius, 1798	27	46	FA,CE
<i>Trigona recursa</i>	Smith, 1863	55	134	FA,CE
<i>Trigona spinipes</i>	Fabricius, 1793	80	179	FA,MA,CE
<i>Trigona truculenta</i>	Almeida, 1984	53	109	FA,CE

<i>Trigona williana</i>	Friese, 1900	42	110	FA
<i>Tetragona clavipes</i>	Fabricius, 1804	38	175	FA
<i>Tetragona goettei</i>	Friese, 1900	27	113	FA

Anthidiini

<i>Epanthidium tigrinum</i>	Schrottky, 1905	45	36	CE
-----------------------------	-----------------	----	----	----

Augochlorini

<i>Thectochlora alaris</i>	Vachal, 1904	28	34	MA
----------------------------	--------------	----	----	----

341 2.2 Construção e seleção dos dados climáticos

342 Para a construção das variáveis no passado (1960~1989) e presente
343 (1990~2019), foram baixados os dados climáticos de precipitação, temperatura mínima e
344 temperatura máxima, na resolução de 2.5 arc-min ($0.041^\circ \approx 4\text{km}$ no trópico) , através da
345 plataforma digital “TerraClimate” (<http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>).
346 Utilizamos esse corte temporal, para que os períodos tivessem mais ou menos o mesmo
347 número de anos (29) e pela dificuldade de se encontrar dados mais antigos.

348 Os dados climáticos foram obtidas para o ano de 2050, através do WorldClim
349 (<https://www.worldclim.org>). Dentre os possíveis cenários futuros disponíveis no
350 WorldClim, o RCP 2.6 é o mais otimista e, prevê como será o clima caso as emissões de
351 CO₂ aumentem até 2040 e depois diminuam gradativamente, já o RCP 8.5 é o mais
352 pessimista dos cenários e faz previsões de como será o clima caso as emissões de CO₂
353 continuem a crescer exponencialmente. Utilizamos os 14 modelos disponíveis do
354 WorldClim, para a construção das variáveis no futuro, na qual, foram somados todos os
355 modelos e depois extraído a média, baseado na metodologia utilizada por (Aguirre-
356 Gutiérrez et al. 2017).

357 Os dados relacionados aos três períodos foram implementados e depois cortados
358 usando a função “crop” do pacote “Raster (Hijmans 2017a), depois obtido as camadas
359 médias entre os anos para PPT, T_{min} e T_{max}. Então, calculou-se as 19 variáveis
360 bioclimáticas, com os dados mensais utilizando a função “biovars” do pacote dismo
361 (Hijmans et al. 2017) no R. E logo depois, realizado teste de correlação entre as variáveis
362 para exclusão das camadas que possuíam muita correspondência entre si (≤ 0.70), através
363 do Script desenvolvido pelo Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia da

364 Universidade Federal do Espírito Santo (Dalapicolla 2015) para que as variáveis muito
365 correlacionadas não prejudicassem a estatísticos dos modelos (Segurado et al. 2006). As
366 variáveis selecionadas para o estudo foram: Temperatura Média Anual (bio01), Oscilação
367 Térmica Diária (bio02), Isotermalidade (bio03), Precipitação Anual (bio12) e
368 Sazonalidade de Precipitação (bio15) (**S1 Tab. 1**). As variáveis (Precipitação da Estação
369 Quente) e (Precipitação da Estação Fria) não foram levadas em consideração ao rodar os
370 testes de correlação, pois essas variáveis se mostraram inadequadas em testes feitos
371 anteriormente.

372

373 **2.3 Modelagem de distribuição de espécies**

374 Para analisar a distribuição espacial das espécies nos três períodos, foram
375 construídos modelos de distribuição de espécies utilizando o pacote Biomod2 (Thuiller
376 et al. 2016a) no R. Esse pacote disponibiliza várias ferramentas para construção e
377 avaliação de modelos de distribuição de espécies, e entre os mais de dez algoritmos
378 disponíveis no pacote, foram selecionados o MaxEnt (Phillips et al. 2006), por se mostrar
379 um ótimo preditor da distribuição potencial em estudos que utilizam várias espécies e
380 tamanhos amostrais diferentes (Aguirre-Gutiérrez et al. 2015; 2016) por ser um algoritmo
381 que possui um excelente desempenho (Marmion et al. 2009) e GLM (McCullagh and
382 Nelder 1989), por ser um dos algoritmos mais amplamente utilizados (Qiao et al. 2015)
383 e por ser um algoritmo bastante confiável (Thuiller et al. 2003). Finalmente, os modelos
384 gerados foram submetidos à uma abordagem que seleciona os melhores modelos pelos
385 valores de AUC e faz um modelo “consenso” mais robusto. Esse modelo oferece
386 previsões mais potentes para a distribuição potencial e realizada das espécies do que
387 algoritmos únicos (Gregory et al. 2001; Thuiller 2004; Araújo and New 2007).

388 2.4 Análises de dados

389 Os valores de AUC (*Area Under Curve*) dos modelos, foram utilizados para
390 estimar a acurácia dos modelos (Fielding et al. 1997). Os valores para essa métrica,
391 variam de 0.5 a 1.0, na qual, quanto mais próximos de 1.0, melhores serão as previsões
392 das áreas potenciais para ocorrência das espécies (**S2 Tab. 2.**).

393 Para calcular o deslocamento entre as áreas adequadas previstas pelos modelos,
394 utilizados a distância entre os centroides dos dois períodos. Utilizamos a função
395 `rasterToPolygons` do pacote `raster` (Hijmans 2017a) para vetorizar os modelos binários e
396 as funções `centroid` (calcular o centroide) e `distm` (calcular a distância entre os dois
397 pontos) do pacote `geosphere` (Hijmans 2017b) no software R (v3.5.1; [http://cran.r-](http://cran.r-project.org)
398 [project.org](http://cran.r-project.org)). Posteriormente para a análise da amplitude e cálculo da porcentagem de
399 ganho/perda de áreas adequadas entre os períodos, foi utilizado a função
400 `BIOMOD_RangeSize` do pacote `biomod2` (Thuiller et al. 2016b).

401 Segundo Willians et al. (2010), algumas características funcionais biológicas
402 têm efeito especial sobre a distribuição das espécies de abelhas, e dentre elas o padrão de
403 nidificação e socialidade. Para investigar se o padrão de nidificação (no solo vs. acima do
404 solo) e manejo das espécies pela homem influência a susceptibilidade das populações a
405 variáveis climática, utilizamos modelos de efeito misto lineares (LME), usando o pacote
406 “`nlme`” do R (Bates et al. 2015). Para normalizar a variável de resposta (i.e., importância
407 da variável ambiental) foi aplicada uma transformação logit.

408 Para avaliar se as alterações da área de distribuição ao longo do tempo dependem
409 das características funcionais das espécies, usamos modelos lineares mistos. Tendo como
410 ponto de partida um modelo contendo como termos fixos comparação temporal (TP1 vs.

411 TP2, atual vs. RCP26, atual vs. RCP 85), Nidificação (acima do solo vs. abaixo do solo),
412 nível de sociabilidade (baixo ou nulo vs. alto), Tamanho e Manejo (sim vs. não) e todas
413 as interações de duas vias, selecionou-se o modelo com menor Akaike Information
414 Criterion ajustado para amostras pequenas (AICc). Para normalizar a variável
415 dependente, a alteração da área de distribuição (razão entre período mais recente vs.
416 período anterior) foi logaritmizada.

417

418 **2.5 Mapas de riqueza e subtração das variáveis entre os tempos**

419 Para entendermos quais eram as áreas que possuíam a maior concentração das
420 espécies entre os períodos e posteriormente entender como o deslocamento das espécies
421 se deu entre os períodos, fizemos mapas de riqueza de espécies somando os modelos
422 binários das espécies (Aguirre-Gutiérrez et al. 2015). Esse processo foi aplicado para
423 riqueza todas as espécies juntas (geral) nos dois períodos e nos dois cenários futuros e
424 para as espécies pelo tipo de manejo, nível de socialidade e nidificação.

425 Para entender quais foram as mudanças na precipitação e temperatura durante
426 as décadas estudadas, comparamos os resultados obtidos para essas variáveis subtraindo
427 seus valores entre os diferentes períodos (Ex: Tempo2-Tempo1). Isso é possível porque
428 essas variáveis são formadas por informações numéricas, que permitem a subtração entre
429 os valores obtidos nesses diferentes períodos, dessa forma, os valores negativos obtidos
430 representaram as áreas que ficaram mais frias ou menos chuvosas e, valores positivos
431 indicam que a áreas ficaram mais quentes ou mais chuvosas (**Fig. 1**). Aplicamos esse
432 método apenas para a Temperatura média anual e Precipitação anual.

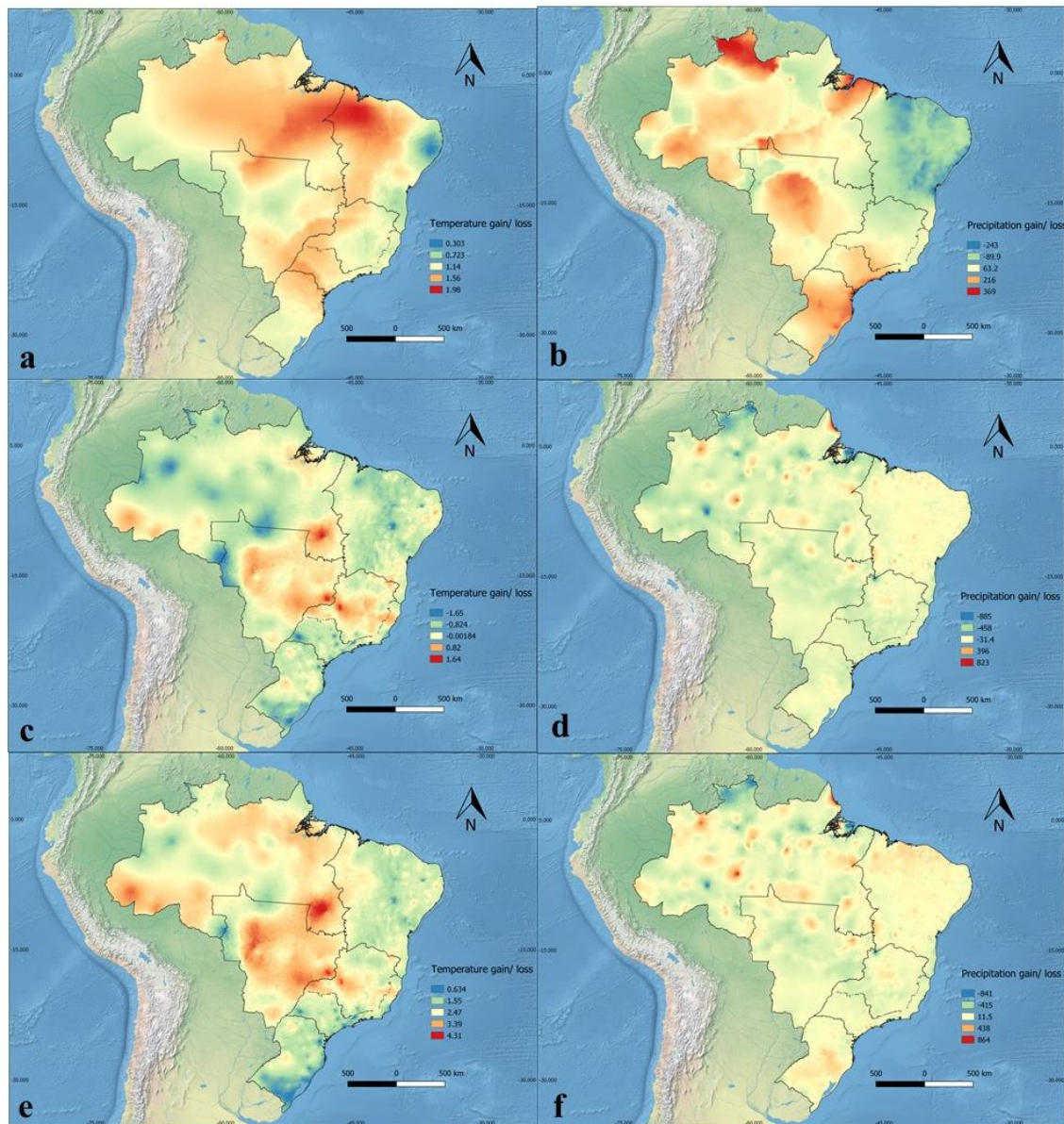
433

434 **3.0 RESULTADOS**

435

436 **3.1 Mudança do clima e riqueza entre os períodos de estudo: Passado (1960~1989) e** 437 **presente (1990~2015)**

438 Nossos resultados indicam que desde a década de 60, a temperatura em todo o
439 território brasileiro aumentou. As regiões que apresentaram maior elevação da
440 temperatura foram a norte, nordeste (em sua maior parte) e centro oeste, variando entre
441 1,3° C e 2 ° C. O litoral nordestino e a porção mais baixa da região norte foram as que
442 apresentaram menor aumento da temperatura (< 1° C). Quanto a região Sul e Sudeste o
443 aumento ficou próximo a 1° C. Em relação a precipitação, a região nordeste foi a que mais
444 apresentou valores negativos, ou seja, desde a década de 60 o regime de chuvas nessa
445 região diminuiu (mais de 200mm). Para o restante das regiões de forma geral, houve
446 aumento na precipitação, no entanto, isso ocorreu em diferentes intensidades, variando
447 entre poucos milímetros a mais de 400mm (**Fig. 1**).



449

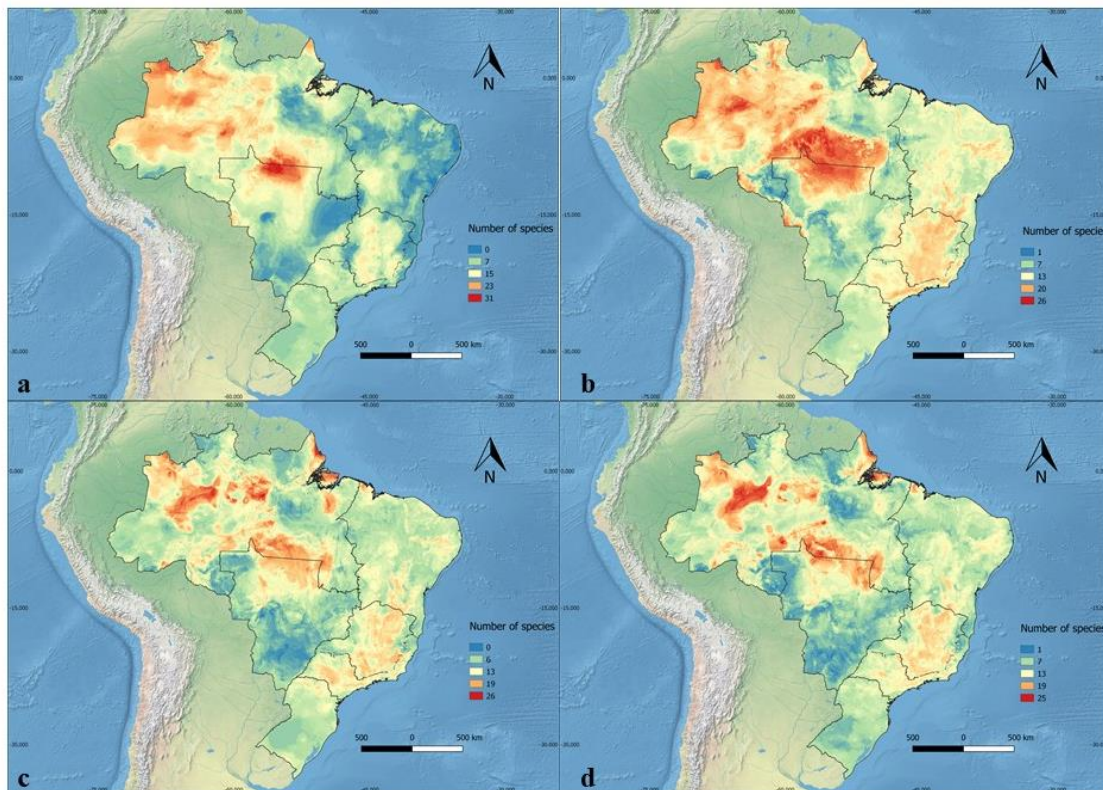
450 **Fig. 1.** Mapa de ganho/perda de precipitação e temperatura entres os tempos de estudo. Cores
 451 mais quentes representam áreas onde a precipitação ou a temperatura aumentou, já as cores mais
 452 frias representam áreas onde a precipitação ou temperatura diminuíram. (a) Variação da
 453 Temperatura entre o primeiro e segundo períodos (TP2-TP1); (b) Variação da Precipitação entre
 454 o primeiro e segundo períodos (TP2-TP1); (c) Variação da temperatura entre o presente e o
 455 cenário futuro otimista (RCP 2.6 -TP2); (d) Variação da Precipitação entre o presente e o cenário
 456 futuro otimista (RCP 2.6 -TP2); (e) Variação da temperatura entre o presente e o cenário futuro

457 pessimista (RCP 8.5 -TP2);(g) Variação da Precipitação entre o presente e o cenário futuro
458 pessimista (RCP 8.5 -TP2).

459 Quanto à riqueza de espécies durante TP1, o maior número de espécies estava
460 localizado entre as regiões Norte e algumas áreas da região Centro-oeste do país, em
461 contraste com as regiões Nordeste e Sul onde a riqueza era muito baixa. No segundo
462 período analisado a riqueza observada na região Norte diminuiu, e nas regiões Nordeste,
463 Centro-oeste e Sudeste aumentou (**Fig. 2 a e b**).

464 Foi observado o deslocamento das espécies para o Cerrado e Mata Atlântica,
465 principalmente para a região norte do país, como por exemplo *Trigona spinipes* (**S14.**
466 **Fig. 9 b**), *Tetragonisca angustula* (**S12. Fig. 7 j**), e *Partamona helleri* (**S11. Fig. 6 k**).
467 Para espécies apenas de Floresta Amazônica, a tendência de deslocamento foi para leste
468 e sul, por exemplo, *Eulaema cingulata* (**S10. Fig. 5 d**), *Trigona branneri* (**S13. Fig. 8 b**),
469 e *Trigona fulviventris* (**S13. Fig. 8 f**). Algumas espécies como *Euglossa cordata* e *Trigona*
470 *branneri* apresentaram distribuições heterogêneas em todos cenários, sugerindo potencial
471 fonte errônea de identificação, o que pode gerar erros de análise e interpretação em
472 cascada (Bortolus 2008).

473 Também houve alteração da área adequada, com média de deslocamento de
474 cerca de 564 kms (DP: 492 kms) e para a maioria das espécies com deslocamento em
475 mais de 300 km (**S3. Tab. 3**), com aumento acentuado principalmente para espécies não
476 sociais ou com baixo grau de socialidade (**S8. Fig. 4**). Para TP2, as áreas que apresentaram
477 maiores riquezas também foram as que apresentaram menor aumento da temperatura a
478 área prevista para a maioria das espécies ocorrerem também aumentou nesse período (**Fig.**
479 **2 b; Fig. 1 a**), isso é reflexo do aumento geral da área prevista para espécies ocorrerem
480 (**S4 Tab. 4**).



482

483 **Fig.2.** Mapas da riqueza das espécies gerado a partir dos modelos binários. Locais com cores mais
 484 quentes indicam que a riqueza é mais alta. (a) Mapa da riqueza das espécies para o primeiro
 485 período de estudo (1960~1989). (b) Mapa de riqueza de as espécies durante o segundo período
 486 de estudo (1990~2015). (c) Mapa da riqueza das espécies para o futuro (2050) no cenário mais
 487 otimista (RCP 2.6). (d) Mapa da riqueza das espécies para o futuro (2050) no cenário mais
 488 pessimista (RCP 8.5).

489

490 3.2 Mudança do clima e riqueza entre os períodos Presente (1990~2015) e Cenário 491 futuro otimista (RCP 2.6)

492 A temperatura prevista para o RCP_26 é instável, variando entre -2°C e $1,5^{\circ}\text{C}$,
 493 em comparação com TP2, diferença de quase $3,5^{\circ}\text{C}$. Nos locais em que houve o aumento

494 de até 2° C durante TP2, apresentaram pouca ou nenhuma variação negativa no futuro,
495 enquanto as áreas que possuíram mudanças mais acentuadas em TP2, apresentaram
496 aumento em sua temperatura (**Fig. 1 b**). O mapa de riqueza para esse cenário mostra que
497 a maioria das espécies se encontrava justamente na faixa, na qual, a temperatura diminuiu
498 ou aumentou muito pouco, esse padrão foi comum ao segundo período (**Fig. 2 c**).
499 Também está previsto diminuição das áreas adequadas para a maiorias das espécies de
500 abelhas nesse cenário (**S4 Tab. 4**).

501

502 **3.3 Mudança do clima e riqueza entre os períodos Presente (1990~2015) e cenário** 503 **futuro pessimista (RCP 8.5)**

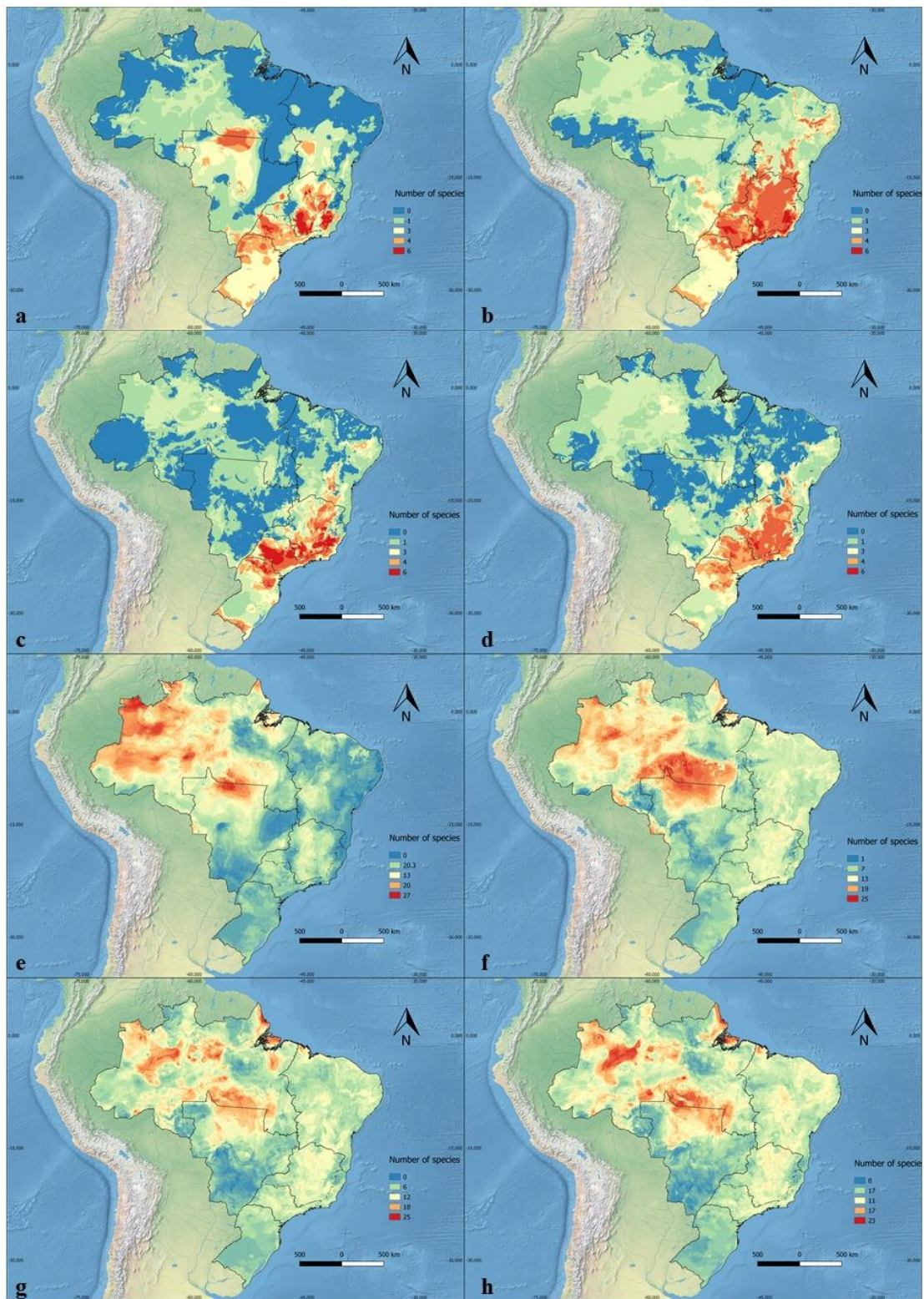
504 Esse cenário prevê aumento expressivo na temperatura na maior parte do
505 território brasileiro, sendo que em alguns destes locais o aumento chega até 4° C em
506 relação ao segundo período (**Fig. 1 c**). A riqueza para esse cenário também é maior em
507 áreas que apresentaram menor aumento na temperatura (**Fig. 2 d**). A precipitação nesse
508 cenário é muito parecida com a do período anterior, o que demonstra uma precipitação
509 variável na maior parte do território brasileiro (**Fig. 1 g**).

510

511 **3.4 Riqueza das espécies relacionadas a suas características: manejo e nidificação**

512 Para o primeiro período de estudo o padrão de riqueza para espécies de abelhas
513 que são manejadas estava concentrada principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-
514 oeste, enquanto que as espécies não manejadas tiveram maior riqueza na região norte
515 (**Fig. 3 e**).

516 No segundo período do estudo, a riqueza para as espécies manejadas continua
517 concentrada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, porém a área onde houve está
518 concentração de espécies aumentou. Verificamos também que para as espécies manejadas
519 os fatores que mais ganharam importância ao longo dos anos foram a precipitação (bio
520 12 e bio15) e temperatura média anual (bio01) (**Fig. 4; Fig. 3 b**). Para as espécies não
521 manejadas verificamos que a sua maior riqueza estava localizada na região norte e
522 persistiu durante o segundo período, no entanto, houve uma pequena redução. Em contra
523 partida, para as demais regiões (sudeste, centro oeste e sul) a riqueza aumentou (**Fig. 3 f**).
524 Para ambos cenários futuros a área da riqueza prevista para as espécies manejadas, voltará
525 a diminuir em todo o Brasil, e a maioria dessas abelhas vai se concentrar na região sul e
526 sudeste (**Fig. 3 c e d**).



527

528 **Fig. 3** Mapas de riqueza para espécies manejadas e não manejadas, gerados a partir dos modelos
 529 binários das espécies. (a) Riqueza das espécies manejadas durante o primeiro período de estudo

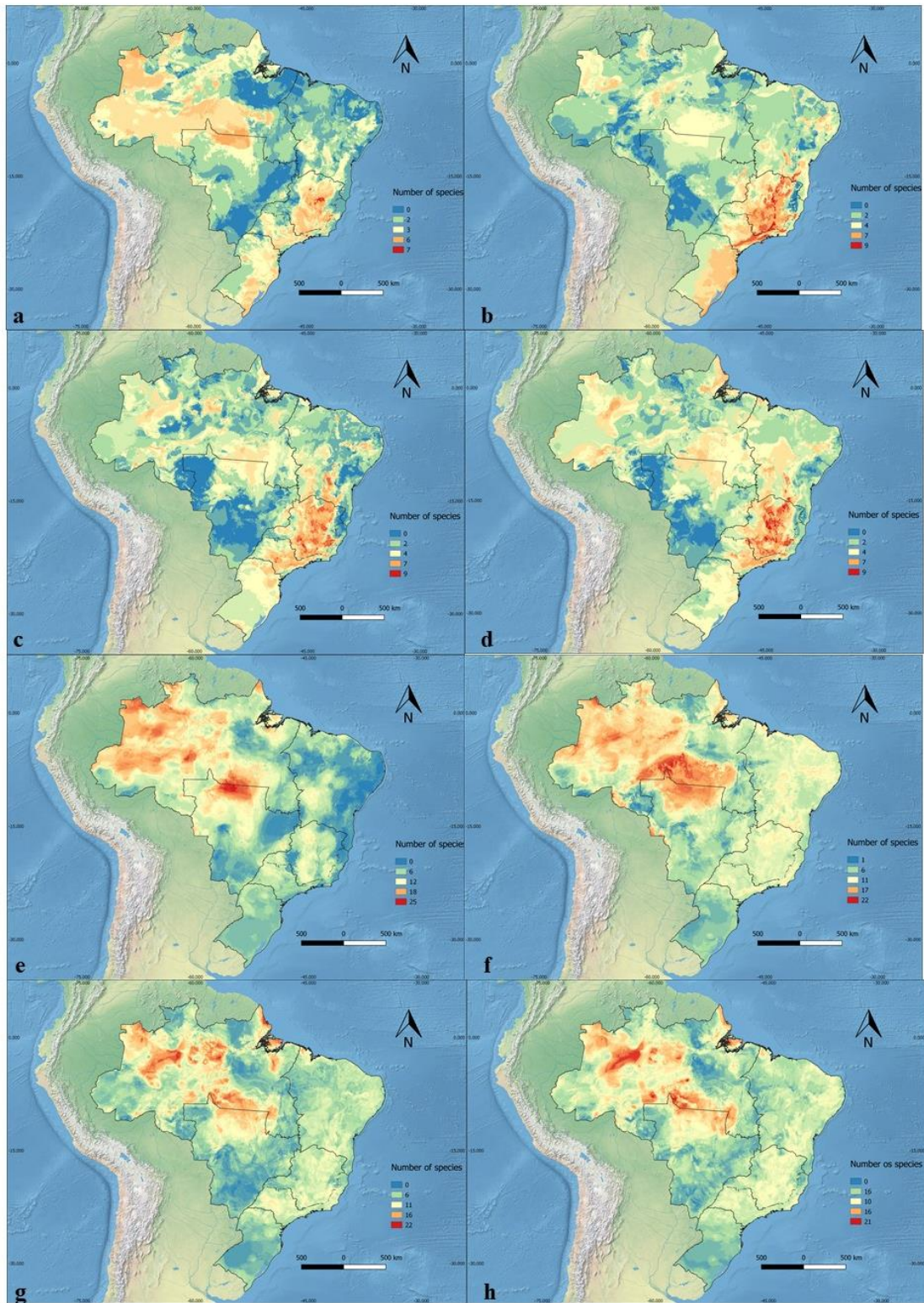
530 (1960~1989). **(b)** Riqueza das espécies no período 2 (1990~2019). **(c)** Riqueza prevista para as
531 espécies manejadas para o futuro no cenário otimista (RCP 2.6). **(d)** Riqueza prevista para
532 espécies manejadas para o futuro no cenário pessimista. **(e)** Riqueza das espécies não manejadas
533 durante o primeiro período de estudo (1960~1989). **(f)** Riqueza das espécies não manejadas no
534 período 2 (1990~2019). **(g)** Riqueza prevista para as espécies não manejadas para o futuro no
535 cenário otimista (RCP 2.6). **(h)** Riqueza prevista para espécies não manejadas para o futuro no
536 cenário pessimista (RCP 8.5).

537 No primeiro período a riqueza das espécies que nidificam no solo se concentram
538 em três locais principais, na porção mais ao norte do país e nas regiões Sul e Sudeste (**Fig.**
539 **4 a**). enquanto que para as espécies que nidificam acima do solo, a riqueza estava
540 localizada principalmente na região norte do país (**Fig. 4 e**).

541 No segundo período, as regiões Sul e Sudeste tiveram aumento na riqueza para
542 espécies que nidificam no solo, enquanto a região norte diminuiu, sugerindo uma possível
543 mudança na distribuição das espécies de abelhas (**Fig. 4 b**). Para espécies que nidificam
544 acima do solo, no segundo período, a riqueza diminuiu para região Norte, mas aumentou
545 para as regiões Nordeste, Sudeste e Centro-oeste, o que mostra que a distribuição das
546 espécies foi deslocada em direção a região Sudeste do país (**Fig. 4 f**).

547 Para as espécies que nidificam no solo, ambos os cenários futuros apresentam
548 diminuição da riqueza nas regiões Norte, Sul e Sudeste (**Fig. 4 e d**). Nas espécies que
549 nidificam acima do solo a riqueza permaneceu semelhante ao segundo período, porém é
550 notável a diminuição da área adequada para essas espécies (**Fig. 4 g e h**).

551



552

553 **Fig. 4** Mapas de riqueza para espécies que nidificam no solo ou acima do solo, gerados a partir
 554 dos modelos binários das espécies. (a) Riqueza das espécies que nidificam no solo durante o

555 primeiro período de estudo (1960~1989). (b) Riqueza das espécies que fazem ninho no chão no
556 período 2 (1990~2019). (c) Riqueza prevista para as espécies que nidificam no chão para o futuro
557 no cenário otimista (RCP 2.6). (d) Riqueza prevista para espécies que fazem ninho no chão para
558 o futuro no cenário pessimista. (e) Riqueza das espécies que fazem ninho acima do solo durante
559 o primeiro período de estudo (1960~1989). (f) Riqueza das espécies que nidificam acima do solo
560 no período 2 (1990~2019). (g) Riqueza prevista para as espécies que nidificam acima do chão
561 para o futuro no cenário otimista (RCP 2.6). (h) Riqueza prevista para espécies que nidificam
562 acima do chão para o futuro no cenário pessimista (RCP 8.5);

563

564 **4. 0 DISCUSSÃO**

565 Segundo Marengo Ornisi (2007), as áreas brasileiras que apresentam maior
566 vulnerabilidade às mudanças climáticas são as regiões que compreendem a Amazônia e
567 o Nordeste brasileiro, principalmente para cenários futuros. Nossos resultados indicam
568 que desde a década de 60 até 2015, o norte da Amazônia e parte do Centro Oeste tiveram
569 aumento da precipitação, além da região Sul, corroborando com os valores indicados por
570 Marengo (2008) e parte da região sudeste como mostra Haylock et al. (2006). Para o
571 futuro nossas projeções mostram aumento no regime de chuvas para várias regiões
572 principalmente para o cenário pessimista e, esse aumento de precipitação tende a
573 continuar para os cenários futuros ainda maiores (Tebaldi et al., 2008).

574 Quanto a diferenciação no padrão de riqueza das espécies dentre os períodos, foi
575 observado uma concentração da riqueza na região Sudeste, região em que houve menor
576 aumento de temperatura, porém aumento de precipitação. Observamos também que a
577 riqueza de espécies no geral tende a acompanhar as áreas que apresentaram diminuição
578 ou pouco aumento na temperatura entre os períodos estudados. Esse padrão foi observado

579 tanto no período que representa o presente (1990~2019), quanto para os dois cenários no
580 futuros e pode indicar que as áreas que apresentaram maior aumento na temperatura se
581 tornaram inadequadas para a ocorrência das espécies, fazendo com que sua distribuição
582 se concentre em faixas menos críticas. Esse aumento na temperatura pode explicar o a
583 diminuição na área potencial para grande parte das espécies nos períodos futuros
584 previstos, ressaltando que as condições extremas da temperatura podem afetar
585 negativamente a persistência dessas espécies no futuro, uma vez que condições
586 meteorológicas tem influência direta nas abelhas (Eickwort and Ginsberg 2003; Lister
587 and Garcia 2018). Não há trabalhos comparativos com abelhas, ou outros insetos,
588 avaliando o padrão de deslocamento da riqueza em um contexto de Brasil ou região
589 Neotropical, porém Aguiar et al. (2016) observou um deslocamento na riqueza e
590 distribuição das espécies de morcegos do Cerrado também na direção sudeste.

591 As alterações na área de distribuição potencial prevista para as espécies de
592 abelhas sem ferrão que se distribuem no Brasil, tiveram uma tendência de deslocamento
593 da maioria das espécies para as regiões Sul e Sudeste. Quando comparado o período
594 passado ao presente, nossos resultados apontam que a área adequada para a maioria das
595 espécies de abelhas aumentou, entretanto, isso não implica na ampliação das populações
596 ou persistência das espécies, uma vez que, nossos modelos foram baseados apenas em
597 variáveis climáticas, não considerando interações bióticas, barreiras geográficas e o
598 crescente desmatamento e fragmentação de habitats, que possuem influência direta nesses
599 seres vivos (Thomas et al. 2004; Williams et al. 2008; Kuhlmann et al. 2012; Hannah et
600 al. 2013).

601 Algumas espécies de abelhas estudadas apresentaram aumento da área de
602 distribuição adequada para os dois cenários futuros, como é o caso de *Paratrigona*

603 *subnuda*, *Partamona testacea* e *Trigona guianae*. O aumento na distribuição por efeito
604 da mudança climática também já foi observado em outras espécies de abelhas, como o
605 caso de *Centris sponsa* (Giannini et al. 2012). De fato, há evidências de que algumas
606 espécies podem até mesmo responder positivamente (por exemplo, ampliando suas
607 faixas) à elevação da temperatura ou altas concentrações de CO₂ que são esperadas nos
608 próximos anos (Bellard et al. 2012).

609 A amplitude de deslocamento para a maioria das espécies foi bem variável, com
610 espécies como *Schwarziana quadripunctata*, *Melipona seminigra* e *Tetragona goettei*
611 com deslocamento de 20 km até 40 km, e espécies com o deslocamento muito grande,
612 como é o caso de *Trigona spinipes*, *Melipona grandis* e *Trigona pallens* que apresentam
613 deslocamento maior do que 1000 km. A sensibilidade diferencial das espécies ao efeito
614 da mudança climática já é esperada devido a distintas áreas originais de ocorrência e por
615 características biológicas distintas. O reconhecimento de histórias evolutivas e
616 características biológicas comuns representam potenciais caminhos para desvendar a
617 sensibilidade diferencial destas espécies (Willians et al. 2010).

618 Em comparação à distribuição potencial prevista para o passado com a do
619 presente, no geral, vemos que a distribuição das espécies que possuem distribuição
620 associada ao Cerrado e Mata Atlântica, tenderam a ter deslocamento principalmente para
621 região Norte do país. Já para as espécies que apresentam distribuição para a Floresta
622 Amazônica a distribuição tendeu a ser mais para o leste e sul, comportamento também
623 relatado para *Aglae caerulea*, uma espécie típica de Floresta Amazônica que teve a
624 distribuição prevista deslocada mais para região sul do país provavelmente através das
625 matas de galerias (Silva et al. 2014). Somente uma espécie implementada no presente
626 estudo é endêmica da Caatinga, *Partamona seridoensis*, e comparando com modelagens

627 para outra espécie de abelha sem ferrão da Caatinga, *Melipona subnitida*, podemos
628 observar que para a primeira houve uma redução ampla de mais de 30% em relação a área
629 original, enquanto que para a espécie *Melipona subnitida* e *Centris hiptidis* não houveram
630 reduções muito significativas (Gianinni et al., 2012, 2017). Outras espécies endêmicas
631 da Caatinga devem ser avaliadas a fim de validar um potencial padrão de diminuição da
632 área de vida destas espécies.

633 Nossos resultados não indicam uma resposta comum entre as espécies do mesmo
634 bioma, com grande variação mesmo dentro do mesmo gênero. Ao analisar a distribuição
635 potencial dentre espécies de abelhas afins filogeneticamente, comparando grupos de Mata
636 Atlântica e Floresta Amazônica, Silva et al. (2014) observaram uma resposta diferencial
637 entre as espécies de abelhas irmãs de cada bioma, sugerindo que a área potencial não se
638 sobrepõe. Marini et al. (2009) sugere que espécies de áreas abertas como savanas podem
639 ser menos afetadas pelas mudanças climáticas que espécies florestais. A fim de avaliar o
640 efeito diferencial das mudanças climáticas sobre as espécies endêmicas de cada bioma,
641 uma análise pormenorizada deve ser realizada para avaliar os valores de cada conjunto
642 endêmico, tão quanto uma análise entre os gêneros e dentro dos gêneros.

643 Para os dois cenários futuros (2050), identificamos a diminuição na distribuição
644 potencial para a maioria das espécies. Giannini e colaboradores (2012), observaram
645 também redução, com valores de até 25% na ocorrência projetada para nove das dez
646 espécies de abelhas analisadas, com um leve deslocamento na distribuição das espécies
647 de *Melipona* endêmicas da Mata Atlântica. Diminuição significativa também foi
648 observado para *Bombus bellicosus* e que observou-se que as áreas climaticamente
649 adequadas recuaram mais para o sul (Martins et al. 2015). Em escala global, o
650 deslocamento de vários táxons em direção aos polos pode implicar em sérios prejuízos

651 para a diversidade de espécies, pois o fluxo de espécies em direção a essas regiões pode
652 acarretar invasões e extinções, respectivamente (Jones and Cheung 2015).

653 Alguns trabalhos como Willmer (2012) e Pecl e colaboradores (2017), citam as
654 mudanças climáticas como uma das principais causas das alterações na distribuição
655 potencial das espécies e também pode ser associado como mecanismo causador de
656 extinções em um futuro próximo (Burns et al. 2003; Thomas et al. 2004), porém a
657 sensibilidade fisiológica dos indivíduos à essas mudanças, são fatores muito importantes
658 a serem considerados (Pörtner and Peck 2010; Scott and Johnston 2012).

659 Através da comparação do hábito solitário e social foi possível observar uma
660 significativa diferença na resposta das áreas de distribuição, com as abelhas solitárias com
661 uma maior redução. Gianinni et al. (2012) ao avaliar também um conjunto de 10 espécies
662 de abelhas, observou efeito diferenciado das mudanças climáticas sobre espécies de
663 abelhas solitárias, sendo as seis espécies solitárias com redução menor que duas das
664 espécies sociais.

665 Várias espécies de abelhas sem ferrão apresentam necessidades de ambientais
666 específicas, como a disponibilidade de árvores com grandes ocos para nidificação
667 (Roubik 1983; Batista et al. 2003; Michener 2007; Vergara et al. 2016), como é o caso da
668 maioria das espécies do gênero *Melipona* (Roubik 1983), o que explica a maior riqueza
669 das abelhas sem ferrão que nidifica acima do solo está localizada na região Norte do Brasil
670 durante os períodos passado, presente e nos dois cenários futuros, o que sugere uma
671 dependência de ambientes florestados. No entanto, para as espécies que nidificam no solo
672 a tendência foi para o sul e sudeste, sendo inicialmente durante o primeiro período
673 (1960~1990) a riqueza estava concentrada nas regiões norte, sudeste e sul de maneira

674 semelhante, provavelmente por ter mais tolerância a ambientes não florestados. Williams
675 et al. (2010) também observou uma tolerância maior das espécies que nidificam no solo
676 a ambientes não florestados.

677

678 **5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

679 As áreas com menor redução de temperatura no sul e sudeste foram as que tiveram
680 deslocamento da riqueza de espécies e potencialmente representam refúgios. Através da
681 comparação do período pretérito (1960-1989) com o período presente, foi possível
682 observar grande deslocamento de áreas adequadas para a maioria das espécies de abelhas,
683 além de diminuição das áreas potenciais destas abelhas no futuro (2050). A concentração
684 da riqueza das espécies tendeu a seguir áreas com menores aumentos de temperatura, isso
685 para o presente e nos dois cenários futuros. As espécies sociais aparentemente também
686 são menos susceptíveis as mudanças climáticas, em comparação com abelhas com hábitos
687 solitários ou com baixa socialidade.

688 Desta forma, nosso estudo destaca o valor dos registros históricos como um
689 recurso de pesquisa que pode ser usado para informar o manejo das paisagens para
690 conservar a biodiversidade. Os dados aqui apresentados amparam estudos futuros sobre
691 os impactos do clima para populações de abelhas e sugerem a necessidade da aplicação
692 desses conhecimentos para técnicas de conversação e manejo a fim de garantir a
693 conservação destas espécies.

694

REFERÊNCIAS

- Adger N, Pramod A, Agrawala S, Alcamo J, Yohe G (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability : Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Summ Policymakers 1–23 . doi: 10.1256/004316502320517344
- Aguiar LMS, Bernard E, Ribeiro V, Machado RB, Jones G (2016) Should I stay or should I go ? Climate change effects on the future of Neotropical savannah bats. Glob Ecol Conserv 5:22–33 . doi: 10.1016/j.gecco.2015.11.011
- Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, Aizen MA (2006) Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: Review and synthesis through a meta-analysis. Ecol Lett 9:968–980 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2006.00927.x
- Aguirre-Gutiérrez J, van Treuren R, Hoekstra R, van Hintum TJL (2017) Crop wild relatives range shifts and conservation in Europe under climate change. Divers Distrib 23:739–750 . doi: 10.1111/ddi.12573
- Aguirre-Gutiérrez J, Kissling WD, Carvalheiro LG, WallisDevries MF, Franzén M, Biesmeijer JC (2016) Functional traits help to explain half-century long shifts in pollinator distributions. Sci Rep 6:24451 . doi: 10.1038/srep24451
- Aguirre-Gutiérrez J, Serna-Chavez HM, Villalobos-Arambula AR, Pérez de la Rosa JA, Raes N (2015) Similar but not equivalent: Ecological niche comparison across closely-related Mexican white pines. Divers Distrib 21:245–257 . doi: 10.1111/ddi.12268
- Albritton DL, Haywood JM, Jayaraman Joanna I. House, Quéré Fortunat Joos, Meira-Filho Luis J. Mata, Nyenzi John F. B. Mitchell, Ramaswamy Joyce E. Penner

- SPMPICPVMO, Stocker Thomas F. SS, Zillman J, Baede APM, Stone JMR, Stouffer RJ, Trenberth KE, Wang M-X, Watson RT, Yap KS, Ramirez-Rojas A, Raper SCB, Salinger MJ, Scholes RJ, Church JA, Cubasch U, Xiaosu D, Ehhalt DH, Folland CK, Giorgi F, Gregory JM, Griggs DJ, Hewitson B (2007) Summary for Policymakers. 1–20
- Araújo MB, New M (2007) Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol Evol* 22:42–47 . doi: 10.1016/j.tree.2006.09.010
- Ashman T-L, Knight TM, Steets JA, Amarasekare P, Burd M, Campbell DR, Dudash MR, Johnston MO, Mazer SJ, Mitchell RJ, Morgan MT, Wilson WG (2004) POLLEN LIMITATION OF PLANT REPRODUCTION: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology* 85:2408–2421
- Bale JS, Masters GJ, Hodkinson ID, Awmack C, Bezemer TM, Brown VK, Butterfield J, Buse A, Coulson JC, Farrar J, Good JEG, Harrington R, Hartley S, Jones TH, Lindroth RL, Press MC, Symrnioudis I, Watt AD, Whittaker JB (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob Chang Biol* 8:1–16 . doi: 10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting Linear Mixed-Effects Models Using {lme4}. *J Stat Softw* 67:1–48 . doi: 10.18637/jss.v067.i01
- Batista MA, Ramalho M, Soares AEE (2003) Nesting sites and abundance of Meliponini (Hymenoptera: Apidae) in heterogeneous habitats of the Atlantic Rain Forest, Bahia, Brazil. *Lundiana* 4:19–23
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol Lett* 15:365–377 . doi:

10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x

Blaustein AR, Walls SC, Bancroft BA, Lawler JJ, Searle CL, Gervasi SS (2010) Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity* 2:281–313 . doi: 10.3390/d2020281

Bortolus A (2008) Error Cascades in the Biological Sciences : The Unwanted Consequences of Using Bad Taxonomy in Ecology. 114–118

Burns CE, Johnston KM, Schmitz OJ (2003) Global climate change and mammalian species diversity in U.S. national parks. *Proc Natl Acad Sci* 100:11474–11477 . doi: 10.1073/pnas.1635115100

Camargo JMF, Pedro MSR (1992) Systematics, phylogeny and biogeography of the Meliponinae (Hymenoptera, Apidae): a mini-review. *Apidologie* 23:509–522 . doi: 10.1051/apido:19920603

Cotton PA (2003) Avian migration phenology and global climate change. *Proc Natl Acad Sci* 100:12219–12222 . doi: 10.1073/pnas.1930548100

D. Michener C (2013) The Meliponini. In: *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*. pp 3–17

Dalapicolla J (2015) tutorial de modelos de distribuição de espécies : guia prático usando o maxent e o arcgis 10 LaMaB : Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia Departamento de Ciências Biológicas

Dos Santos CF, Acosta AL, Nunes-Silva P, Saraiva AM, Blochtein B (2015) Climate warming may threaten reproductive diapause of a highly eusocial bee. *Environ Entomol* 44:1172–1181 . doi: 10.1093/ee/nvv064

- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO, Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns L (2000) Climate Extremes : Observations , Modeling , and Impacts. 289:2068–2074
- Eickwort GC, Ginsberg HS (2003) Foraging and Mating Behavior in Apoidea. *Annu Rev Entomol* 25:421–446 . doi: 10.1146/annurev.en.25.010180.002225
- Ester Judith Slaa, Luis Alejandro Sánchez Chaves, Katia Sampaio Malagodi-Braga, Frouke Elisabeth Hofstede (2006) Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie* 37:293–315 . doi: 10.1051/apido:2006022
- Fischer H, Meissner KJ, Mix AC, Abram NJ, Austermann J, Brovkin V, Capron E, Colombaroli D, Daniau AL, Dyez KA, Felis T, Finkelstein SA, Jaccard SL, McClymont EL, Rovere A, Sutter J, Wolff EW, Affolter S, Bakker P, Ballesteros-Cánovas JA, Barbante C, Caley T, Carlson AE, Churakova O, Cortese G, Cumming BF, Davis BAS, De Vernal A, Emile-Geay J, Fritz SC, Gierz P, Gottschalk J, Holloway MD, Joos F, Kucera M, Loutre MF, Lunt DJ, Marcisz K, Marlon JR, Martinez P, Masson-Delmotte V, Nehrbass-Ahles C, Otto-Bliesner BL, Raible CC, Risebrobakken B, Sánchez Goñi MF, Arrigo JS, Sarnthein M, Sjolte J, Valdes PJ (2018) Palaeoclimate constraints on the impact of 2 °c anthropogenic warming and beyond. *Nat Geosci* 11:474–485 . doi: 10.1038/s41561-018-0146-0
- Fielding AH, Bell JF, Fielding AH, Bell JF (1997) FIELDING, Alan H.; BELL, John F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ Conserv* 24:38–49
- Giannini TC, Acosta AL, Garófalo CA, Saraiva AM, Alves-dos-Santos I, Imperatriz-Fonseca VL (2012) Pollination services at risk: Bee habitats will decrease owing to

- climate change in Brazil. *Ecol Modell* 244:127–131 . doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035
- Giannini TC, Boff S, Cordeiro GD, Cartolano EA, Veiga AK, Imperatriz-Fonseca VL, Saraiva AM (2015) Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. *Apidologie* 46:209–223 . doi: 10.1007/s13592-014-0316-z
- Giannini TC, Maia-Silva C, Acosta AL, Jaffé R, Carvalho AT, Martins CF, Zanella FCV, Carvalho CAL, Hrnčir M, Saraiva AM, Siqueira JO, Imperatriz-Fonseca VL (2017) Protecting a managed bee pollinator against climate change: strategies for an area with extreme climatic conditions and socioeconomic vulnerability. *Apidologie* 48:784–794 . doi: 10.1007/s13592-017-0523-5
- González-Varo JP, Biesmeijer JC, Bommarco R, Potts SG, Schweiger O, Smith HG, Steffan-Dewenter I, Szentgyörgyi H, Woyciechowski M, Vilà M (2013) Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends Ecol Evol* 28:524–530 . 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? *Glob Chang Biol* 11:12–21 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2004.00875.x
- Gordo O, Sanz JJ (2006) Temporal trends in phenology of the honey bee *Apis mellifera* (L.) and the small white *Pieris rapae* (L.) in the Iberian Peninsula (1952-2004). *Ecol Entomol* 31:261–268 . doi: 10.1111/j.1365-2311.2006.00787.x
- Grabherr G, Gottfried M, Pauli H (1994) Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448 . doi: 10.1038/369448a0

- Graham CH, Moritz C, Williams SE (2006) Habitat history improves prediction of biodiversity in rainforest fauna. *Proc Natl Acad Sci* 103:632–636 . doi: 10.1073/pnas.0505754103
- Gregory AW, Smith GW, Yetman J (2001) Testing for Forecast Consensus. *J Bus Econ Stat* 19:34–43 . doi: 10.1198/07350010152472599
- Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecol Lett* 8:993–1009 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Hannah L, Ikegami M, Hole DG, Seo C, Butchart SHM, Peterson AT, Roehrdanz PR (2013) Global Climate Change Adaptation Priorities for Biodiversity and Food Security. *PLoS One* 8: . doi: 10.1371/journal.pone.0072590
- Haylock MR, Peterson TC, Alves ML, Ambrizzi T, Anunciação YMT, Baez J, Barros VR, Berlato MA, Bidegain M, Coronel G, Corradi V, Garcia VJ, Grimm AM, Karoly D, Marengo JA, Marino MB, Moncunill DF, Nechet D, Quintana J, Rabello E, Rusticucci M, Santos JL, Trebejo I, Vicent LA (2006) Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960 – 2000 and Links with. 1490–1512
- Hegland SJ, Nielsen A, Lázaro A, Bjercknes A-L, Totland Ø (2009) How does climate warming affect plant-pollinator interactions? *Ecol Lett* 12:184–195 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x
- Hijmans RJ (2017a) raster: Geographic Data Analysis and Modeling
- Hijmans RJ (2017b) geosphere: Spherical Trigonometry
- Hijmans RJ, Phillips S, Leathwick J, Elith J (2017) dismo: Species Distribution Modeling

- Hill JK, Thomas CD, Fox R, Telfer MG, Willis SG, Asher J, Huntley B (2002) Responses of butterflies to twentieth century climate warming: Implications for future ranges. *Proc R Soc B Biol Sci* 269:2163–2171 . doi: 10.1098/rspb.2002.2134
- Hitch AT, Leberg PL (2007) Breeding distributions of North American bird species moving north as a result of climate change. *Conserv Biol* 21:534–539 . doi: 10.1111/j.1523-1739.2006.00609.x
- Hoegh-Guldberg O (1999) Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar Freshw Res* 50:839–866 . doi: 10.1071/MF99078
- Houghton R, L Hackler J (2001) Carbon Flux to the Atmosphere From Land-Use Changes: 1850 to 1990. Carbon Dioxide Inf Anal Cent - Environ Sci Div - Oak Ridge Natl Lab. doi: 10.2172/775411
- Hugall A, Moritz C, Moussalli A, Stanistic J (2002) Reconciling paleodistribution models and comparative phylogeography in the Wet Tropics rainforest land snail *Gnarosiphia bellendenkerensis* (Brazier 1875). *Proc Natl Acad Sci* 99:6112–6117 . doi: 10.1073/pnas.092538699
- Hughes L (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol* 15:56–61 . doi: 10.1016/S0169-5347(99)01764-4
- Jaffé R, Dietemann V, Allsopp MH, Costa C, Crewe RM, Dall'olio R, de la Rúa P, El-niweiri MAA, Fries I, Kezic N, Meusel MS, Paxton RJ, Shaibi T, Stolle E, Moritz RFA (2010) Estimating the Density of Honeybee Colonies across Their Natural Range to Fill the Gap in Pollinator Decline Censuses. *Conserv Biol* 24:583–593 . doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01331.x

- Jones MC, Cheung WWL (2015) on Global Marine Biodiversity. 72:741–752
- Keith DA, Mahony M, Hines H, Elith J, Regan TJ, Baumgartner JB, Hunter D, Heard GW, Mitchell NJ, Parris KM, Penman T, Scheele B, Simpson CC, Tingley R, Tracy CR, West M, Akçakaya HR (2014) Detecting extinction risk from climate change by IUCN red list criteria. *Conserv Biol* 28:810–819 . doi: 10.1111/cobi.12234
- Klanderud K, Birks HJB (2003) Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *The Holocene* 13:1–6 . doi: 10.1191/0959683603hl589ft
- Klein A-M, Cunningham SA, Tscharntke T, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Kremen C (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B Biol Sci* 274:303–313 . doi: 10.1098/rspb.2006.3721
- Kremen C, Potts SG, Klein A-M, Minckley R, Ricketts TH, Gemmill-Herren B, Winfree R, Williams NM, Vázquez DP, Regetz J, Steffan-Dewenter I, Aizen MA, Roulston T, Packer L, LeBuhn G, Greenleaf SS, Keitt TH, Crone EE, Adams L (2007) Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol Lett* 10:299–314 . doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x
- Kremen C, Williams NM, Thorp RW (2002) Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proc Natl Acad Sci* 99:16812–16816 . doi: 10.1073/pnas.262413599

- Kuhlmann M, Guo D, Veldtman R, Donaldson J (2012) Consequences of warming up a hotspot: species range shifts within a centre of bee diversity. *Divers Distrib* 18:885–897 . doi: 10.1111/j.1472-4642.2011.00877.x
- Lenoir J, Gégout JC, Marquet PA, De Ruffray P, Brisse H (2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* (80-) 320:1768–1771 . doi: 10.1126/science.1156831
- Lister BC, Garcia A (2018) Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proc Natl Acad Sci* 115:E10397--E10406 . doi: 10.1073/pnas.1722477115
- Lopes M, Ferreira JB, Santos G (2005) Abelhas sem-ferrão : a biodiversidade invisível. *Agriculturas* 2:7–9
- Marengo J, Nobre CA, Tomasella J, Cardoso M, D Oyama M (2008) Hydro-climate and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 363:1773–1778 . doi: 10.1098/rstb.2007.0015
- Marengo JA (2007) Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade
Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI
- Marini MÂ, Barbet-Massin M, Lopes LE, Jiguet F (2009) Predicted Climate-Driven Bird Distribution Changes and Forecasted Conservation Conflicts in a Neotropical Savanna. *Conserv Biol* 23:1558–1567 . doi: 10.1111/j.1523-1739.2009.01258.x
- Marmion M, Parviainen M, Luoto M, Heikkinen RK, Thuiller W (2009) Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Divers Distrib* 15:59–69 . doi: 10.1111/j.1472-4642.2008.00491.x

- Martins AC, Silva DP, De Marco P, Melo GAR (2015) Species conservation under future climate change: the case of *Bombus bellicosus*, a potentially threatened South American bumblebee species. *J Insect Conserv* 19:33–43 . doi: 10.1007/s10841-014-9740-7
- McCarty JP (2001) Ecological Consequences of Recent Climate Change. *Conserv Biol* 15:320–331 . doi: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x
- McCullagh P, Nelder JA (1989) *Glmbook.Pdf*. 1–511
- Menéndez R, Gonza A, Hill JK, Braschler B, Willis SG, Collingham Y, Fox R, Roy DB, Thomas CD (2006) Species richness changes lag behind climate change. 1465–1470 . doi: 10.1098/rspb.2006.3484
- Michener CD (2007) *The Bees Of The World*
- Miller-Rushing AJ, Primack RB, Primack D, Mukunda S (2006) Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. *Am J Bot* 93:1667–1674 . doi: 10.3732/ajb.93.11.1667
- Moritz C, Agudo R (2013) The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline? *Science* (80-) 341:504–508 . doi: 10.1126/science.1237190
- Ollerton J, Winfree R, Tarrant S (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120:321–326 . doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- Parmesan C (2006) Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 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* 421:37–42 . doi: 10.1038/nature01286
- Pearson R, Dawson T (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Glob Ecol Biogeogr* 12:361–371
- Pecl GT, Araújo MB, Bell JD, Blanchard J, Bonebrake TC, Chen I-C, Clark TD, Colwell RK, Danielsen F, Evengård B, Falconi L, Ferrier S, Frusher S, Garcia RA, Griffis RB, Hobday AJ, Janion-Scheepers C, Jarzyna MA, Jennings S, Lenoir J, Linnetved HI, Martin VY, McCormack PC, McDonald J, Mitchell NJ, Mustonen T, Pandolfi JM, Pettorelli N, Popova E, Robinson SA, Scheffers BR, Shaw JD, Sorte CJB, Strugnell JM, Sunday JM, Tuanmu M-N, Vergés A, Villanueva C, Wernberg T, Wapstra E, Williams SE (2017) Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* (80-) 355: . doi: 10.1126/science.aai9214
- Pedro DMSR (2014) The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology* 61:348–354 . doi: 10.13102/sociobiology.v61i4.348-354
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds John D (2005) Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science* (80-) 308:1912–1915 . doi: 10.1126/science.1111322
- Peterson AT (2016) Predicting Species' Geographic Distributions Based on Ecological Niche Modeling. *103:599–605*

- Peterson AT, Shaw J (2003) *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: Ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *Int J Parasitol* 33:919–931 . doi: 10.1016/S0020-7519(03)00094-8
- Phillips SB, Aneja VP, Kang D, Arya SP (2006) Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *Int J Glob Environ Issues* 6:231–252 . doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Pielke RA, Marland G, Betts RA, Chase TN, Eastman JL, Niles JO, Niyogi D d. S, Running SW (2002) 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. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 360:1705–1719 . doi: 10.1098/rsta.2002.1027
- Pörtner HO, Peck MA (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *J Fish Biol* 77:1745–1779 . doi: 10.1111/j.1095-8649.2010.02783.x
- Qiao H, Soberón J, Peterson AT (2015) No silver bullets in correlative ecological niche modelling: Insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods Ecol Evol* 6:1126–1136 . doi: 10.1111/2041-210X.12397
- Quéré C Le, Andrew RM, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J, Pickers PA, Korsbakken JJ, Peters GP, Canadell JG (2018) Global Carbon Budget 2018. 2141–2194
- Rafferty NE (2017) Effects of global change on insect pollinators: multiple drivers lead to novel communities. *Curr Opin Insect Sci* 23:22–27 . doi: 10.1016/j.cois.2017.06.009

- Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD (2004) Economic value of tropical forest to coffee production. *Proc Natl Acad Sci* 101:12579–12582
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds JA (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60 . doi: 10.1142/9781848162044_0011
- Roubik DW (1983) Nest and Colony Characteristics of Stingless Bees from Panamá (Hymenoptera : Apidae) Author (s): David W . Roubik Source : *Journal of the Kansas Entomological Society* , Vol . 56 , No . 3 (Jul ., 1983), pp . 327-355 Published by : Allen Press on behalf of the Entomological Society of America . 56:327–355
- Roy DB, Sparks TH (2000) Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biol* 6:407–416 . doi: 10.1046/j.1365-2486.2000.00322.x
- Saraiva AM, Acosta AL, Giannini TC, Carvalho CAL, Alves RMO, Drummond MS, Blochtein B, Witter S, Alves-Dos-Santos I, Imperatriz-Fonseca VL (2012) Influência das alterações climáticas sobre a distribuição de algumas espécies de *Melipona* no Brasil. *Polinizadores no Brasil - Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso Sustentável, Conservação e Serviços Ambientais* 349–359
- Scott GR, Johnston IA (2012) Temperature during embryonic development has persistent effects on thermal acclimation capacity in zebrafish. *Proc Natl Acad Sci* 109:14247–14252 . doi: 10.1073/pnas.1205012109
- Segurado P, Araújo MB, Kunin WE (2006) Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models. *J Appl Ecol* 43:433–444 . doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01162.x

- Sodhi NS, Brook BW, Bradshaw CJA (2009) Causes and Consequences of Species Extinctions. *Princet Guid to Ecol* 1:514–520 . doi: 10.1515/9781400833023.514
- Steffen W, Rockström J, Richardson K, Lenton TM, Folke C, Liverman D, Summerhayes CP, Barnosky AD, Cornell SE, Crucifix M, Donges JF, Fetzer I, Lade SJ, Scheffer M, Winkelmann R, Schellnhuber HJ (2018) Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc Natl Acad Sci* 115:8252–8259 . doi: 10.1073/pnas.1810141115
- Stenseth NC, Post E, Reid PC, Planque B, Ottersen G, Belgrano A (2003) Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* 128:1–14 . doi: 10.1007/s004420100655
- Tebaldi C, Hayhoe K (2007) Going to the extremes. 233–234 . doi: 10.1007/s10584-007-9247-2
- Teixeira KO (2013) DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DAS SUBESPÉCIES DE *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836, NO BRASIL EM RELAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 87 . doi: <http://dx.doi.org/10.1097/TP.0b013e31822d08c1>
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, Ferreira De Siqueira M, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, Van Jaarsveld AS, Midgley GF, Miles L, Ortega-Huerta MA, Peterson AT, Phillips OL, Williams SE (2004) Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145–148 . doi: 10.1038/nature02121
- Thomas CD, Lennon JJ (1999) Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399:213 . doi: 10.1038/20335

- Thuiller W (2004) Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Glob Chang Biol* 10:2020–2027 . doi: 10.1111/j.1365-2486.2004.00859.x
- Thuiller W, Araújo MB, Lavorel S (2003) Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *J Veg Sci* 14:669–680 . doi: 10.1111/j.1654-1103.2003.tb02199.x
- Thuiller W, Georges D, Engler R, Breiner F (2016a) biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling
- Thuiller W, Georges D, Engler R, Breiner F (2016b) biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling
- Vergara CB, Villa AL, Nates GP (2016) Nidificación de meliponinos (Hymenoptera:Apidae) de la region central de colombia. *Rev Biol Trop* 34:181–184
- Visser ME, Both C (2005) Shifts in phenology due to global climate change: The need for a yardstick. *Proc R Soc B Biol Sci* 272:2561–2569 . doi: 10.1098/rspb.2005.3356
- Walther G, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJC, Fromentin J, I OH, Bairlein F (2002) <Walther_etal_2002_Nature_phenology.pdf>. 389–395 . doi: 10.1038/416389a
- Walther GR, Burga CA, Edwards PJ, 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, Held February 23-25, 2001, at Ascona, Switzerlan. *Sci Bus Media*

- Warren DL, Seifert SN (2011) Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecol Appl* 21:335–342
- Warren MS, Hill JK, Thomas JA, Asher J, Fox R, Huntley B, Roy DB, Telfer MG, Jeffcoate S, Harding P, Jeffcoate G, Willis SG, Greatorex-Davies JN, Moss D, Thomas CD (2001) Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414:65–69 . doi: 10.1038/35102054
- Warren RJ, Bradford MA (2014) Mutualism fails when climate response differs between interacting species. *Glob Chang Biol* 20:466–474 . doi: 10.1111/gcb.12407
- Watson JEM (2014) Human Responses to Climate Change will Seriously Impact Biodiversity Conservation: It's Time We Start Planning for Them. *Conserv Lett* 7:1–2 . doi: 10.1111/conl.12083
- Williams NM, Crone EE, Roulston TH, Minckley RL, Packer L, Potts SG (2010) Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. *Biol Conserv* 143:2280–2291 . doi: 10.1016/j.biocon.2010.03.024
- Williams SE, Shoo LP, Isaac JL, Hoffmann AA, Langham G (2008) Towards an Integrated Framework for Assessing the Vulnerability of Species to Climate Change. *PLoS Biol* 6:e325 . doi: 10.1371/journal.pbio.0060325
- Willmer P (2012) Ecology: Pollinator-plant synchrony tested by climate change. *Curr Biol* 22:R131–R132 . doi: 10.1016/j.cub.2012.01.009

Wratten SD, Gillespie M, Decourtye A, Mader E, Desneux N (2012) Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agric Ecosyst Environ* 159:112–122 . doi: 10.1016/j.agee.2012.06.020

Wuethrich B (2000) How climate change alters rhythms of the wild. *Science* (80-) 287:793–795 . doi: 10.1126/science.287.5454.793

ANEXOS

S1 Tab. 2 Valores de AUC (*Area Under Curve*) associados às espécies para o passado (TP1), presente (TP2);

Espécies	TP1	TP2
<i>Bombus morio</i>	0.927	0.953
<i>Euglossa cordata</i>	0.905	0.878
<i>Eulaema cingulata</i>	0.841	0.783
<i>Eulaema meriana</i>	0.887	0.903
<i>Eulaema nigrita</i>	0.945	0.79
<i>Friesella schrottkyi</i>	0.908	0.94
<i>Frieseomelitta tricocerata</i>	0.957	0.92
<i>Geotrigona subterranea</i>	0.94	0.964
<i>Leurotrigona muelleri</i>	0.905	0.727
<i>Melipona grandis</i>	0.945	0.79
<i>Melipona marginata</i>	0.869	0.951
<i>Melipona paraensis</i>	0.939	0.954
<i>Melipona quadrifasciata</i>	0.88	0.935
<i>Melipona quinquefasciata</i>	0.928	0.948
<i>Melipona seminigra</i>	0.918	0.769
<i>Paratrigona lineata</i>	0.847	0.932

<i>Paratrigona subnuda</i>	0.878	0.963
<i>Partamona ailyae</i>	0.864	0.797
<i>Partamona combinata</i>	0.953	0.797
<i>Partamona ferreirai</i>	0.937	0.981
<i>Partamona helleri</i>	0.945	0.948
<i>Partamona mourei</i>	0.922	0.957
<i>Partamona pearsoni</i>	0.933	0.974
<i>Partamona seridoensis</i>	0.99	0.981
<i>Partamona testacea</i>	0.873	0.823
<i>Partamona vicina</i>	0.866	0.865
<i>Ptilotrigona lurida</i>	0.905	0.738
<i>Scaura latitarsis</i>	0.84	0.811
<i>Scaura tenuis</i>	0.943	0.8
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	0.915	0.963
<i>Tetragonisca angustula</i>	0.87	0.866
<i>Trigona albipennis</i>	0.868	0.821
<i>Trigona branneri</i>	0.862	0.764
<i>Trigona chanchamayoensis</i>	0.926	0.84
<i>Tetragona clavipes</i>	0.806	0.784
<i>Trigona crassipes</i>	0.922	0.852

<i>Trigona dallatorreana</i>	0.892	0.855
<i>Trigona fulviventris</i>	0.868	0.836
<i>Trigona fuscipennis</i>	0.848	0.796
<i>Tetragona goettei</i>	0.849	0.832
<i>Trigona guianae</i>	0.856	0.783
<i>Trigona hyalinata</i>	0.845	0.915
<i>Trigona hypogea</i>	0.78	0.778
<i>Trigona pallens</i>	0.87	0.829
<i>Trigona recursa</i>	0.772	0.794
<i>Trigona spinipes</i>	0.814	0.9
<i>Trigona truculenta</i>	0.809	0.795
<i>Trigona williana</i>	0.929	0.775
<i>Epanthidium tigrinum</i>	0.896	0.922
<i>Thectochlora alaris</i>	0.846	0.951

S2. Tab. 3 Deslocamento da distribuição (km) previstos para as espécies, entre 1960 até o presente, calculados a partir dos centroides obtidos dos modelos.

Espécies	Deslocamento (kms)
<i>Bombus morio</i>	377.655
<i>Euglossa cordata</i>	2060.811
<i>Eulaema cingulata</i>	726.145
<i>Eulaema nigrita</i>	618.764
<i>Eulaema nigrita</i>	618.764
<i>Friesella schrottkyi</i>	262.506
<i>Frieseomelitta tricocerata</i>	1107.765
<i>Geotrigona subterranea</i>	380.625
<i>Leurotrigona muelleri</i>	379.867
<i>Melipona grandis</i>	1113.001
<i>Melipona marginata</i>	165.535
<i>Melipona paraensis</i>	221.709
<i>Melipona quadrifasciata</i>	140.260
<i>Melipona quinquefasciata</i>	56.971

<i>Melipona seminigra</i>	45.446
<i>Paratrigona lineata</i>	618.071
<i>Paratrigona subnuda</i>	73.033
<i>Partamona ailyae</i>	917.650
<i>Partamona combinata</i>	293.388
<i>Partamona ferreirai</i>	207.351
<i>Partamona helleri</i>	371.558
<i>Partamona mourei</i>	119.852
<i>Partamona pearsoni</i>	353.060
<i>Partamona seridoensis</i>	381.656
<i>Partamona testacea</i>	891.201
<i>Partamona vicina</i>	430.067
<i>Ptilotrigona lurida</i>	478.486
<i>Scaura latitarsis</i>	169.608
<i>Scaura tenuis</i>	56.755
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	21.467
<i>Tetragonisca angustula</i>	639.077
<i>Trigona albipennis</i>	652.197
<i>Trigona branneri</i>	521.078
<i>Trigona chanchamayoensis</i>	669.286

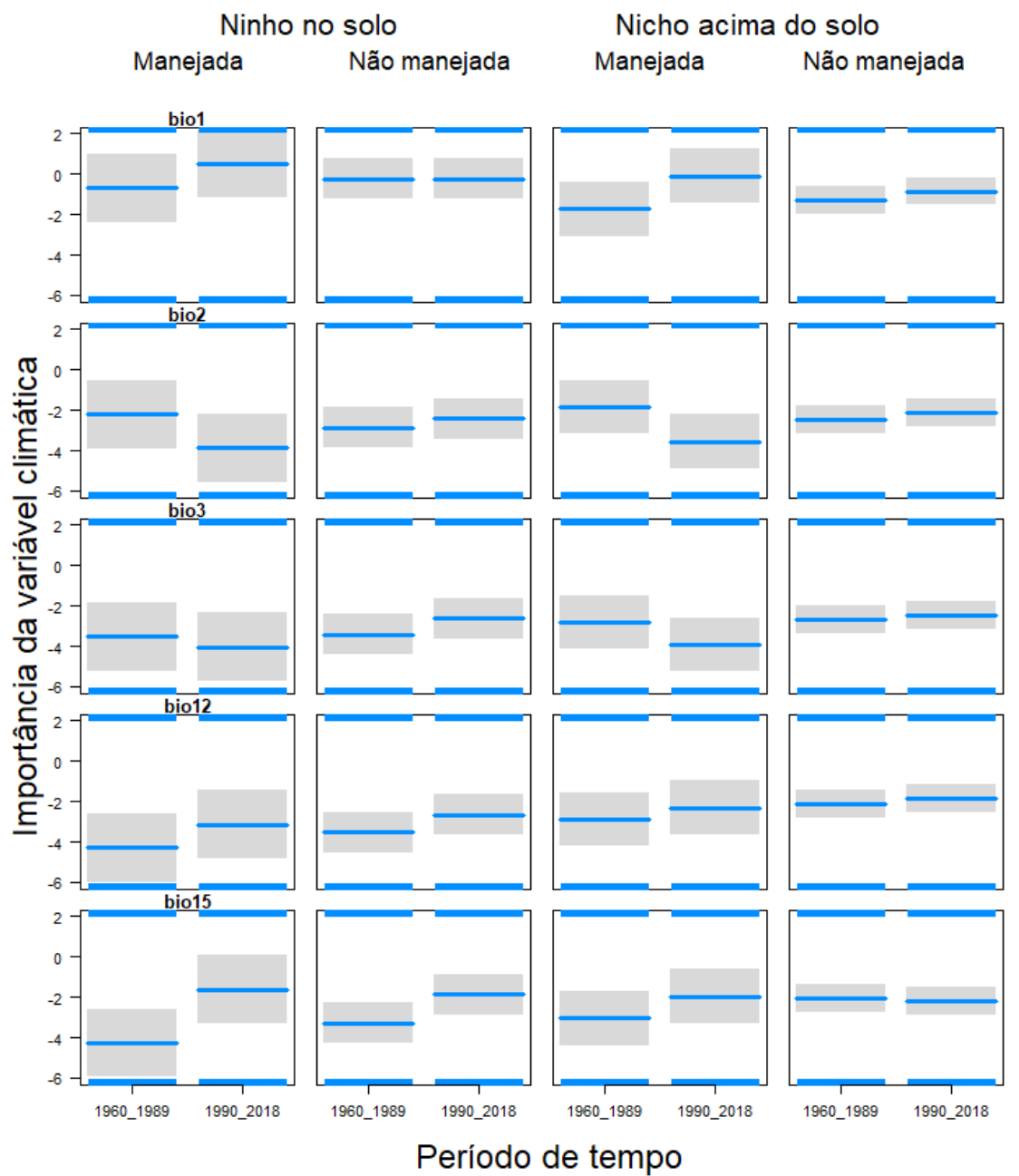
<i>Trigona crassipes</i>	311.120
<i>Trigona dallatorreana</i>	213.136
<i>Trigona fulviventris</i>	2464.226
<i>Trigona fuscipennis</i>	335.183
<i>Trigona guianae</i>	900.047
<i>Trigona hyalinata</i>	367.256
<i>Trigona hypogea</i>	856.066
<i>Trigona pallens</i>	1076.899
<i>Trigona recursa</i>	681.431
<i>Trigona spinipes</i>	1201.779
<i>Trigona truculenta</i>	609.141
<i>Trigona williana</i>	125.995
<i>Tetragona clavipes</i>	399.904
<i>Tetragona goettei</i>	41.379
<i>Epanthidium tigrinum</i>	1012.827
<i>Thectochlora alaris</i>	1493.509

S3 Tab. 4 Porcentagem de área ganha ou perdida para as espécies entre os períodos de estudo

Espécies	Range Size Presente (%)	Range Size RCP2.6 (%)	Range Size RCP8.5 (%)
<i>Bombus morio</i>	98.08	-6.48	-29.72
<i>Euglossa cordata</i>	308.20	-46.93	-55.95
<i>Eulaema cingulata</i>	211.11	-4.89	-32.43
<i>Eulaema meriana</i>	128.48	1.09	-11.23
<i>Eulaema nigrita</i>	317.08	4.36	-20.47
<i>Friesella schrottkyi</i>	93.26	-55.54	-7.297
<i>Frieseomelitta tricocerata</i>	97.16	-16.08	30.79
<i>Geotrigona subterranea</i>	369.61	-19.08	-15.10
<i>Leurotrigona muelleri</i>	73.63	-60.51	-44.86
<i>Melipona grandis</i>	-45.67	-6.02	1.22
<i>Melipona marginata</i>	-3.02	-17.47	-28.57
<i>Melipona paraensis</i>	78.68	-27.58	-58.62
<i>Melipona quadrifasciata</i>	5.34	-18.28	-27.97
<i>Melipona quinquefasciata</i>	-15.14	-24.23	-45.44
<i>Melipona seminigra</i>	15.92	-16.30	-11.88
<i>Paratrigona lineata</i>	11.67	-24.15	32.20
<i>Paratrigona subnuda</i>	-4.36	30.27	9.66

<i>Partamona ailyae</i>	-4.36	-37.08	-0.42
<i>Partamona combinata</i>	-23.34	-46.71	22.26
<i>Partamona ferreirai</i>	1.03	-56.12	-67.14
<i>Partamona helleri</i>	22.04	-23.44	8.98
<i>Partamona mourei</i>	176.50	-25.14	-47.35
<i>Partamona pearsoni</i>	12.03	-20.2	-27.02
<i>Partamona seridoensis</i>	387.12	-45.39	-37.37
<i>Partamona testacea</i>	-39.69	12.69	9.32
<i>Partamona vicina</i>	43.09	-39.52	-37.08
<i>Ptilotrigona lurida</i>	-7.04	-13.24	-26.20
<i>Scaura latitarsis</i>	-57.66	11.84	-18.17
<i>Scaura tenuis</i>	18.26	-54.30	-30.56
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	18.06	5.19	-29.46
<i>Tetragonisca angustula</i>	70.85	-45.75	-27.95
<i>Trigona albipennis</i>	20.23	-32.98	-38.69
<i>Trigona branneri</i>	-19.44	-10.06	-40.60
<i>Trigona chanchamayoensis</i>	-58.50	-66.62	-46.97
<i>Trigona crassipes</i>	76.85	-21.96	-11.89
<i>Trigona dallatorreana</i>	398.38	-19.26	19.38
<i>Trigona fulviventris</i>	-10.77	-48.02	-22.92

<i>Trigona fuscipennis</i>	-16.34	14.95	-26.50
<i>Trigona guianae</i>	-6.63	17.45	31.62
<i>Trigona hyalinata</i>	10.53	-20.20	14.90
<i>Trigona hypogea</i>	-1.95	-10.24	-47.35
<i>Trigona pallens</i>	59.58	-30.21	-25.21
<i>Trigona recurva</i>	8.95	-24.18	-10.47
<i>Trigona spinipes</i>	183.72	-37.45	-48.54
<i>Trigona truculenta</i>	-52.18	-2.70	12.89
<i>Trigona williana</i>	12.66	-34.68	-34.72
<i>Tetragona clavipes</i>	-40.73	8.73	-17.16
<i>Tetragona goettei</i>	-24.05	-19.37	-32.29
<i>Epanthidium tigrinum</i>	4.57	19.94	-16.37
<i>Thectochlora alaris</i>	72.47	-29.31	-16.78

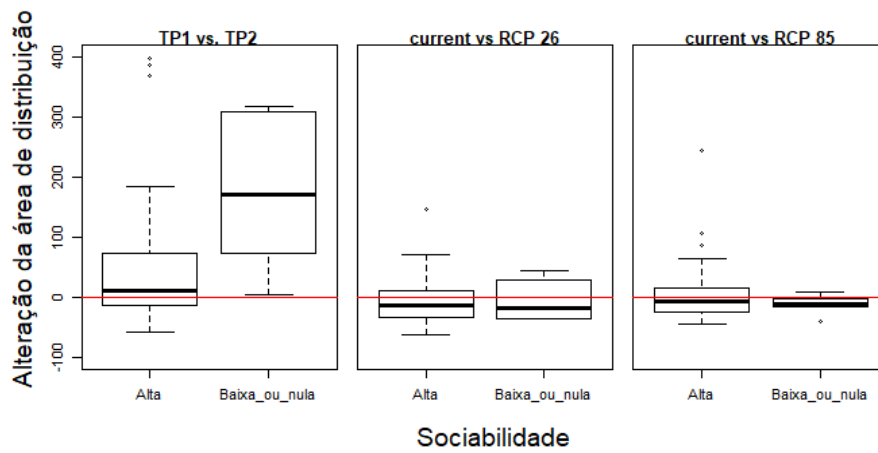


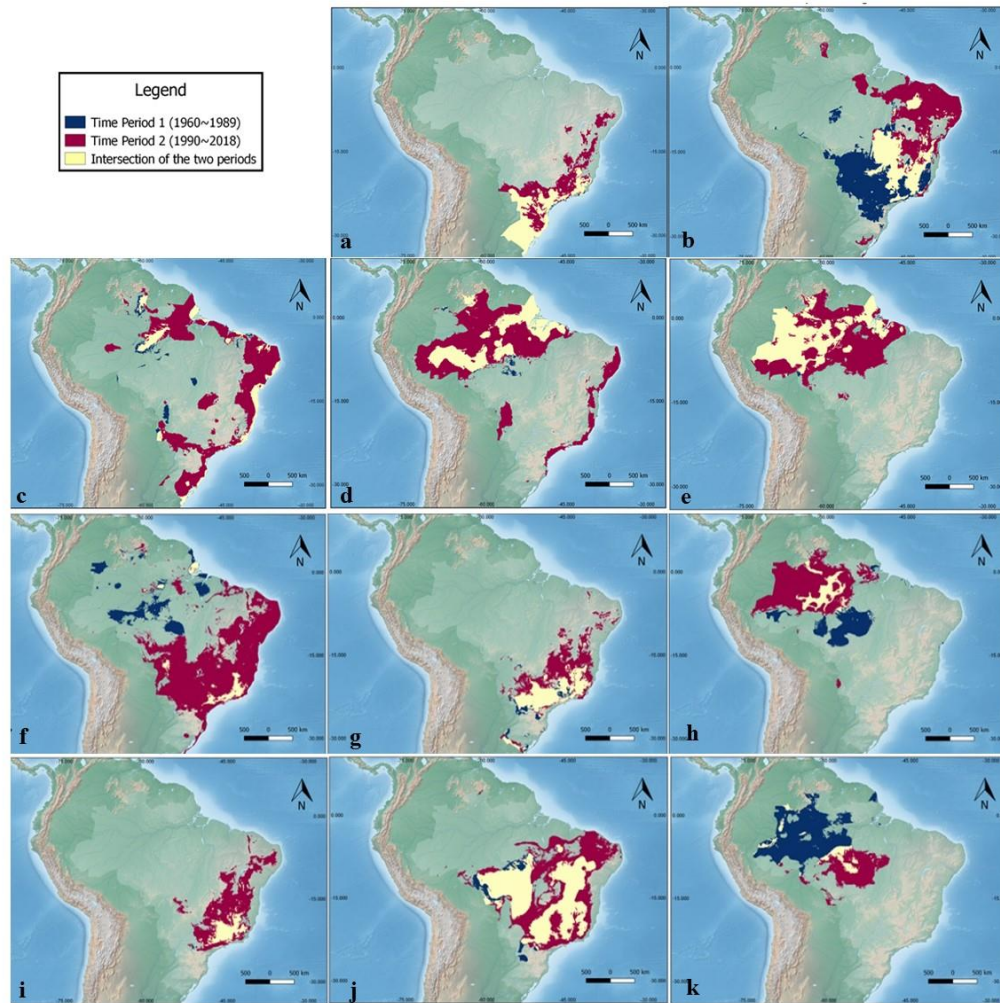
S4. Fig. 5 Importância das variáveis climáticas na nidificação e manejo durante o passado e o presente.

S5. Fig. 6 Melhores modelos gerados (delta AICc <2)

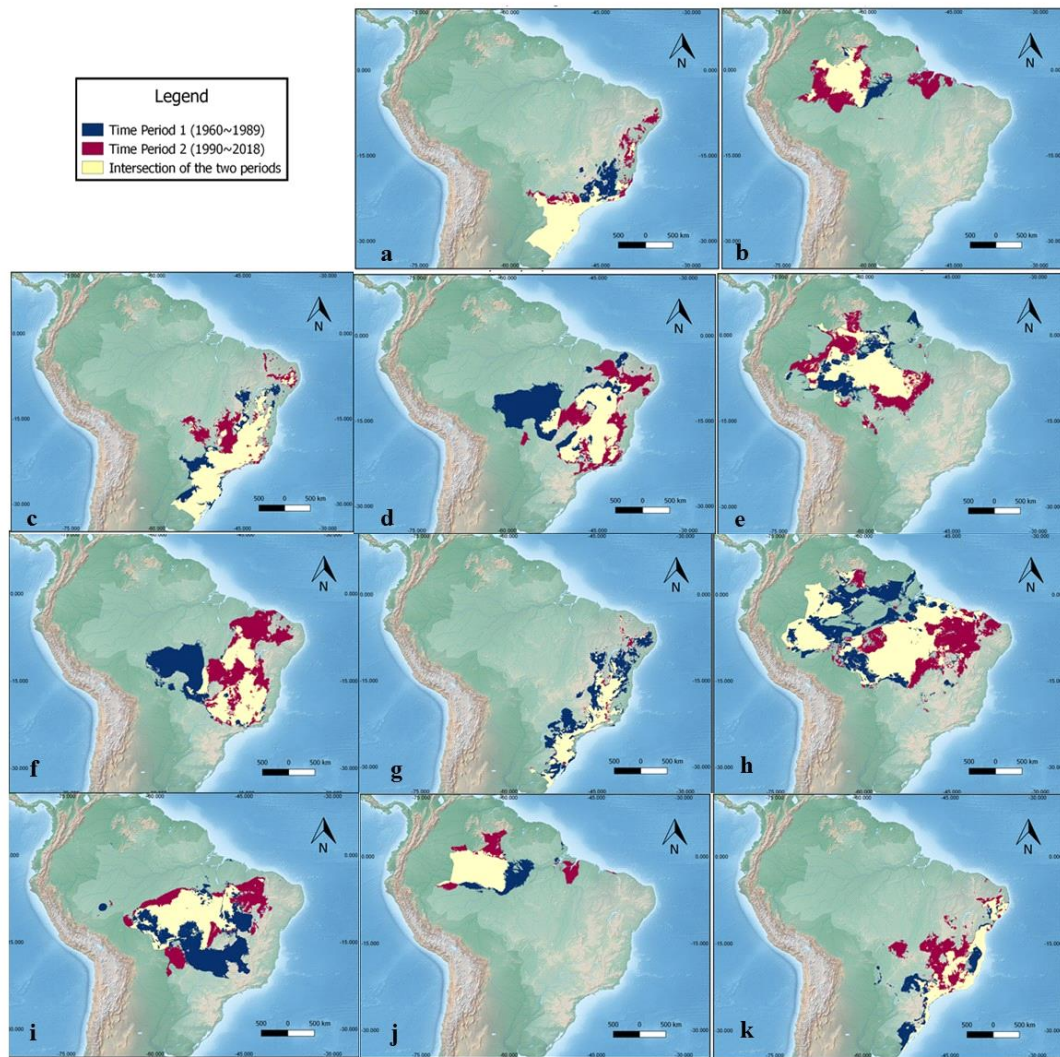
mod	Mnj	Ni	T	VC	Mnj:T	Mnj:VC	Ni:T	Ni:VC	T:VC	Mnj:T:VC	Ni:T:VC	df	logLik	AICc	delta	weight
m1		+	+	+				+				13	-1032,1	2091	0,0	0,22
m2	+	+	+	+				+				14	-1031,2	2091,2	0,3	0,20
m3		+	+	+			+	+				14	-1031,3	2091,5	0,6	0,17
m4	+	+	+	+			+	+				15	-1030,4	2091,8	0,8	0,15
m5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	32	-1012,1	2092,7	1,7	0,09
m6			+	+								8	-1038,2	2092,8	1,8	0,09
m7	+	+	+	+	+			+				15	-1030,9	2092,8	1,9	0,09

S6. Fig. 7 Alterações da área de distribuição das espécies de abelhas. A linha vermelha marca alterações nulas.

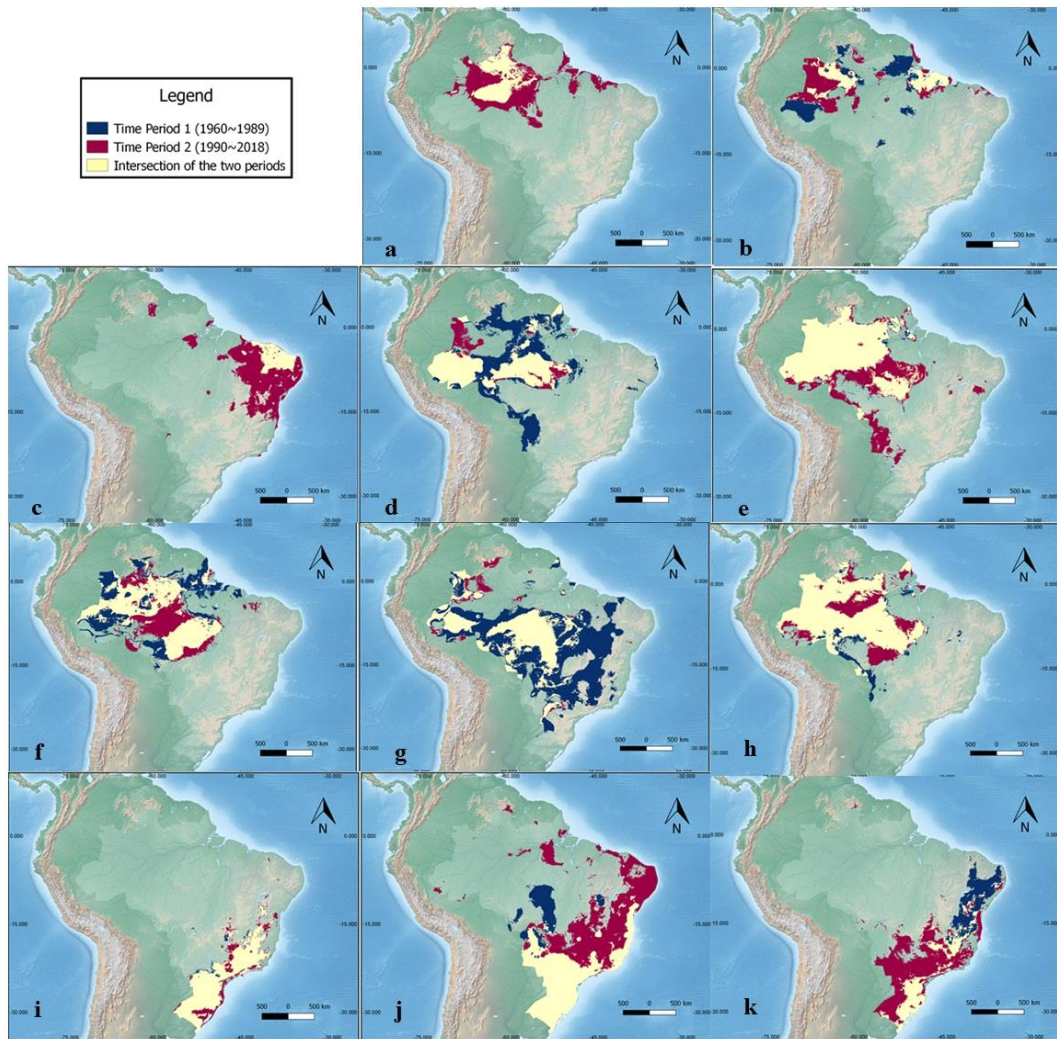




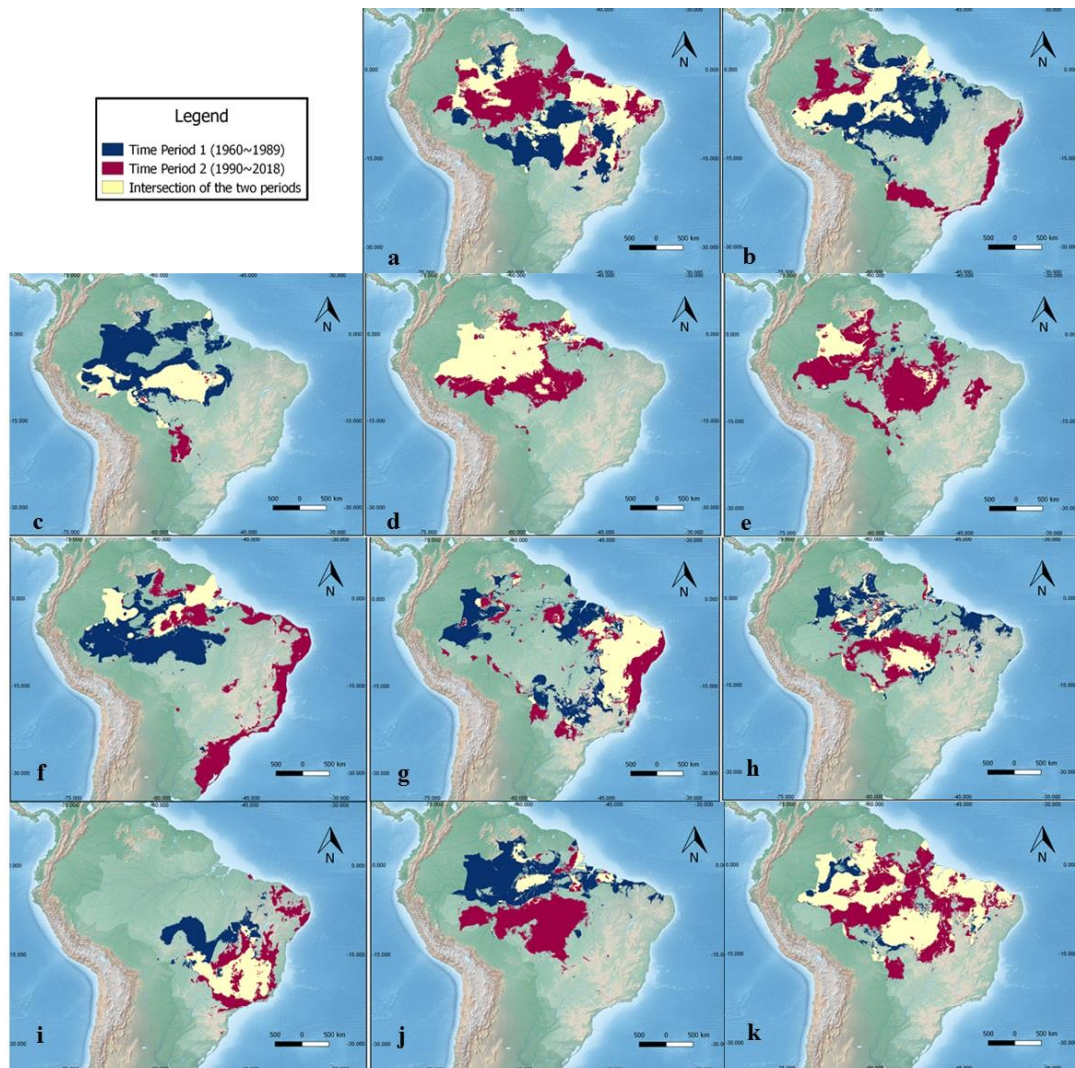
S7. Fig. 8. Modelos binários gerados para as espécies para TP1 (azul) e TP2 (vermelho), assim como, sua área comum (creme). (a) *Bombus morio*; (b) *Epanthidium tigrinum*; (c) *Euglossa cordata*; (d) *Eulaema cingulata*; (e) *Eulaema meriana*; (f) *Eulaema nigrita*; (g) *Friesella schrottkyi*; (h) *Frieseomelitta trichocerata*; (i) *Geotrigona subterranea*; (j) *Leurotrigona muelleri*; (k) *Melipona grandis*;



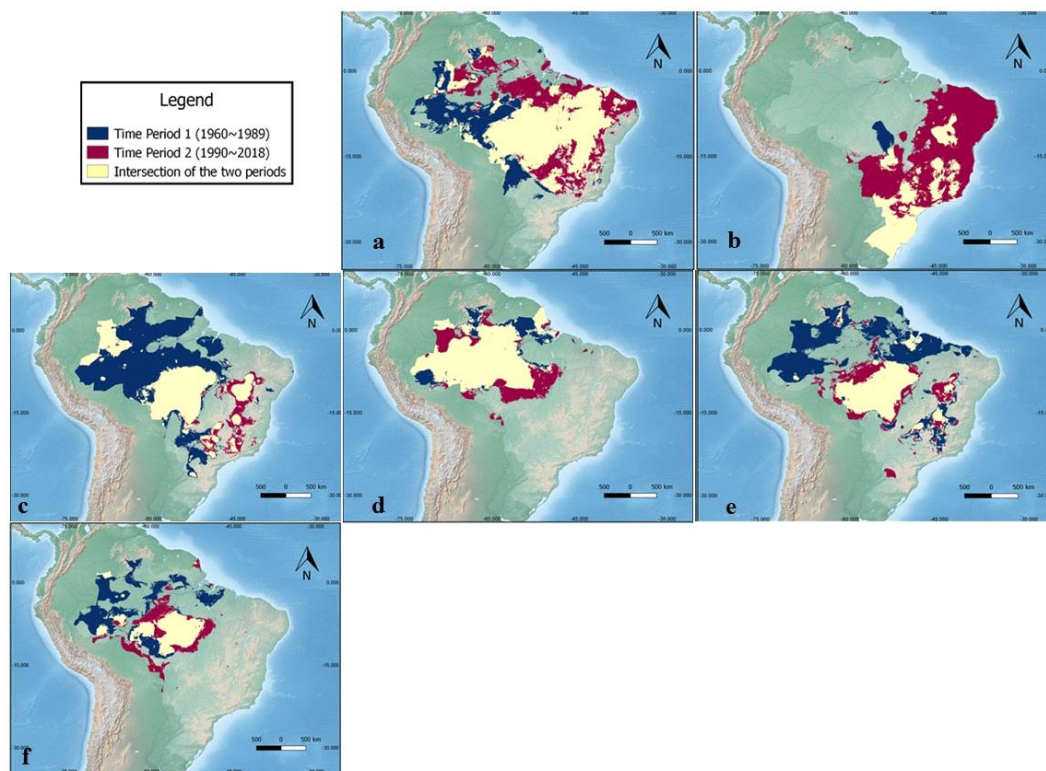
S8. Fig. 9. Modelos binários gerados para as espécies para o TP1 (azul) e TP2 (vermelho), assim como, sua área comum (creme). (a) *Melipona marginata*; (b) *Melipona paraensis*; (c) *Melipona quadrifasciata*; (d) *Melipona quinquefasciata*; (e) *Melipona seminigra*; (f) *Paratrigona lineata*; (g) *Paratrigona subnuda*; (h) *Partamona ailyae*; (i) *Partamona combinata*; (j) *Partamona ferreirai*; (k) *Partamona helleri*



S9. Fig. 10. Modelos binários gerados para as espécies para o TP1 (azul) e TP2 (vermelho), assim como, sua área comum (creme). (a) *Partamona mourei*; (b) *Partamona pearsoni*; (c) *Partamona seridoensis*; (d) *Partamona testacea*; (e) *Partamona vicina*; (f) *Ptilotrigona lurida*; (g) *Scaura latitarsis*; (h) *Scaura tenuis*; (i) *Schwarziana quadripunctata*; (j) *Tetragonisca angustula*; (k) *Thectochlora alaris*.



S10. Fig. 11. Modelos binários gerados para as espécies para o TP1 (azul) e TP2 (vermelho), assim como, sua área comum (creme). (a) *Trigona albipennis*; (b) *Trigona branneri*; (c) *Trigona chanchamayoensis*; (d) *Trigona crassipes*; (e) *Trigona dallatorreana*; (f) *Trigona fulviventris*; (g) *Trigona fuscipennis*; (h) *Trigona guianae*; (i) *Trigona hyalinata*; (j) *Trigona hypogea*; (k) *Trigona pallens*



S11. Fig. 12 Modelos binários gerados para as espécies para o TP1 (azul) e TP2 (vermelho), assim como, sua área comum (creme). (a) *Trigona recursa*; (b) *Trigona spinipes*; (c) *Trigona truculenta*; (d) *Trigona williana*; (e) *Tetragona clavipes*; (f) *Tetragona goettei*.