



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Trabalho de Conclusão de Curso

MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Dismorphia crisia crisia* (Drury, 1782) E

Dismorphia melia (Godart, [1824]) (LEPIDOPTERA: PIERIDAE)

Diego da Silveira Martins

Orientadora: Helena Piccoli Romanowski

Porto Alegre, Janeiro de 2018.

Modelos De Distribuição Potencial De *Dismorphia crisia crisia* (Drury, 1782) E *Dismorphia melia* (Godart, [1824]) (Lepidoptera: Pieridae)

Trabalho de Conclusão apresentado à Comissão de Graduação do curso de Ciências Biológicas – Bacharelado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial e obrigatório para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Helena Piccoli Romanowski

Banca Examinadora:

MSc. Vanessa Schaeffer Pedrotti

Dr. Lucas Augusto Kaminski

Porto Alegre, Janeiro de 2018.

*Manuscrito formatado de acordo com as normas da
revista Florida Entomologist.*

1 Running head:

2 Martins and Romanowski: Modelo de Distribuição Potencial de *Dismorphia crisia crisia* e

3 *Dismorphia melia*

4

5

6 **Modelos de distribuição potencial de *Dismorphia crisia crisia* e *Dismorphia melia***

7 **(Lepidoptera: Pieridae)**

8

9 Diego da Silveira **Martins**¹, *, and Helena Piccoli **Romanowski**²

10 ¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Departamento de

11 Zoologia, 91501-970, Rio Grande do Sul, Brasil, Email: diego.martins@ufrgs.br

12

13 ² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Departamento de

14 Zoologia, 91501-970, Rio Grande do Sul, Email: hpromano@ufrgs.br

15

16 *Corresponding author; E-mail: diego.martins@ufrgs.br.

17

18 **Resumo**

19

20 A alta fragmentação da Mata Atlântica devido à ação antrópica tem um impacto direto sobre na
21 distribuição das espécies. Estima-se que 88% da vegetação original do bioma foi perdida, o
22 desmatamento vem crescendo nos últimos anos, sendo que a maioria dos remanescentes são
23 constituídos de fragmentos pequenos e com pouca conectividade. As borboletas *Dismorphia*
24 *crisia crisia* e *Dismorphia melia* são encontradas na Mata Atlântica, nas regiões sul e sudeste do
25 Brasil, em ambientes de interior e borda de mata úmidas, junto a lugares úmidos e com altitudes
26 variando de 100 a 1600 metros. São espécies consideradas raras e indicadoras de ambientes ricos
27 e preservadas que merecem atenção para conservação. O objetivo desse trabalho foi visou gerar
28 modelos de distribuição potencial para *D. c. crisia* e *D. melia*, identificando as variáveis
29 ambientais determinantes para a sua ocorrência e a concordância de locais com adequabilidade
30 para as espécies com áreas de preservação. Para isso foram utilizados registros de ocorrência em
31 banco de dados, coleções científicas e dados de literatura. Estes dados foram cruzados com 19
32 variáveis climáticas disponíveis no banco de dados bioclimáticos WorldClim. Os algoritmos
33 utilizados para gerar os modelos foram Maxent, Bioclim, GARP, SVM e Environmental
34 Distance (Euclidiana, Mahalanobis, Manhattan e Chebyshev). O desempenho dos modelos foi
35 avaliado pelo valor de AUC, e aqueles com bom desempenho foram combinados para gerar uma
36 representação mais robusta da distribuição das espécies. Para *D. c. crisia* foram obtidos registros
37 em 41 localidades, distribuídos em sete estados e os resultados dos oito algoritmos foram
38 utilizados para construir o mapa de distribuição potencial. Para *D. melia* foram 47 registros,
39 distribuídos em seis estados e os resultados de sete algoritmos foram utilizados para construir o
40 mapa de distribuição potencial. As variáveis mais relevantes para ambas às espécies foram

41 relacionadas com temperatura. As áreas de alta adequabilidade para *D. c. crisis* se concentraram
42 em regiões de Floresta Ombrófila Densa, na encosta da Serra do Mar no leste de Santa Catarina e
43 Paraná, Nordeste de São Paulo e centro do Rio de Janeiro; coincidiram ao menos parcialmente
44 com 275 unidades de conservação. Para *D. melia*, as áreas de adequabilidade foram regiões altas
45 de Floresta Ombrófila Mista, particularmente nas serras e planaltos catarinense e paranaense,
46 sobrepondo-se parcialmente com 226 unidades de conservação. A maioria destas unidades sendo
47 a maioria unidades de uso sustentável, a sobreposição frequentemente é parcial e fora das
48 unidades de conservação, os habitats naturais disponíveis para estas espécies são praticamente
49 inexistentes e estão diminuindo em disponibilidade e qualidade; assim, a proteção conferida
50 pelas atuais unidades de conservação pode ser insuficiente para garantir a persistência de *D. c.*
51 *crisia* e *D. melia* no longo prazo.

52

53 Palavras Chave: Borboletas; Mata Atlântica; Fragmentação; Unidades de Conservação.

54

55 Ameaças à biodiversidade vêm crescendo devido ao aumento vertiginoso da população
56 humana nas últimas décadas, passando de 2.5 bilhões em 1950 para 7.4 bilhões em 2015 (United
57 Nations 2015). Declínios na biodiversidade em todo o mundo estão relacionados com alterações
58 no uso da terra, principalmente para a produção de alimentos, levando a fragmentação e
59 degradação de habitats (Newbold et al. 2015; Tilman et al. 2017). As florestas tropicais
60 representam os biomas mais diversos e também mais ameaçados do mundo (Santo-Silva et al.
61 2016).

62 No Brasil, a Mata Atlântica tem longa história de intervenção humana. Por se encontrar na
63 costa do país, o bioma foi alvo dos primeiros avanços da colonização europeia, tendo a maioria
64 de suas paisagens naturais modificada. Estima-se que mais de 90% da vegetação original da
65 Mata Atlântica foi perdida, com a maioria dos remanescentes sendo fragmentos com área menor
66 que 50 hectares, e com baixa conectividade entre si. (Ribeiro et al. 2009). Como estratégia para
67 diminuir os impactos sobre a biodiversidade, desde os anos 2000 houve um aumento no número
68 de unidades de conservação em todo o Brasil, porém, assim como em outros países, a criação de
69 unidades de conservação é baseada em oportunidades, sem levar em consideração os requisitos
70 ecológicos das espécies (Oliveira et al. 2017).

71 Espécies raras, com distribuições restritas, são mais suscetíveis aos impactos humanos, e
72 parecem estar geograficamente concentradas; assim, conhecer a distribuição dessas espécies tem
73 grande relevância para conservação (Pimm et al. 2014). Um importante grupo que
74 frequentemente é negligenciado em estudos de conservação são os insetos. As borboletas, por
75 outro lado, estão entre os insetos mais bem estudados no mundo e muito disso se deve ao seu
76 apelo estético, mas também ao seu uso como indicadoras de diversidade (Thomas 2016). O
77 declínio na diversidade de insetos é preocupante dada sua importância em diversos processos e

78 serviços nos ecossistemas: p.ex., a falta de insetos polinizadores geraria prejuízos de bilhões
79 dólares ao ano (Hallmann et al. 2017). Estudos recentes têm detectado sérios declínios na
80 abundância e riqueza de insetos em geral, em particular de borboletas (Dirzo et al. 2014; Essens
81 et al. 2017; Hallmann et al. 2017)

82 As borboletas *Dismorphia crisia crisia* (Drury, 1782) e *Dismorphia melia* (Godart, [1824])
83 são espécies típicas da Mata Atlântica, com ocorrência em lugares úmidos em altitudes que
84 variam de 500 a 1000 metros. São consideradas raras e indicadoras de ambientes bem
85 preservados, merecendo especial atenção para conservação, (Brown & Freitas 2000; Iserhard &
86 Romanowski 2004). No entanto, pouco se conhece sobre a biologia e a distribuição geográfica
87 dessas espécies.

88 Uma maneira de avaliar a distribuição e possível grau de ameaça das espécies é por meio de
89 modelos de distribuição potencial. Estes modelos são ferramentas úteis para determinação das
90 variáveis relevantes para a ocorrência de espécies e para previsões de suas distribuições em uma
91 área geográfica (Breiner et al. 2015). Dados de ocorrência real da espécie alvo combinados com
92 as respectivas variáveis ambientais, são a base para construção de mapas, que indicam áreas com
93 maior adequabilidade de hábitat para a espécie, isso é, áreas de potencial ocorrência da espécie
94 (Giannini et al. 2012). Nos últimos anos, houve um aumento no número de trabalhos com
95 modelos de distribuição de espécies, no entanto poucos destes trabalhos são voltados para
96 questões de conservação (Guisan et al. 2013).

97 Nesse trabalho nós utilizamos modelos de distribuição potencial de *D. c. crisia* e *D. melia*, no
98 Brasil, para avaliar a distribuição e o nível de proteção dessas espécies por unidades de
99 conservação, e avaliar quais variáveis são mais relevantes para a distribuição dessas espécies.
100 Nós acreditamos que ambas as espécies apresentam distribuição restrita, relacionada a áreas de

101 altitude, e com grande parte da distribuição restrita a unidades de conservação.

102

103 **Material e Métodos**

104

105 **ESPÉCIES ESTUDADAS**

106

107 O gênero *Dismorphia* Hübner, 1816 (Pieridae, Dismorphiinae) apresenta cerca de 30
108 espécies descritas, que são conhecidas por apresentarem adultos com padrão de coloração alar
109 semelhantes com borboletas aposemáticas da família Nymphalidae, principalmente heliconíneos
110 e ithomíneos. Tal semelhança levou Henry Bates a formular a teoria do mimetismo (Bates 1862).
111 Pelo menos sete espécies de *Dismorphia* ocorrem no Brasil (Lamas 2004) e habitam áreas de
112 altitude nas florestas tropicais, principalmente na Mata Atlântica. Os imaturos se alimentam de
113 espécies de leguminosas, muitas vezes do gênero *Inga* (Becalloni et al. 2008; Dias et al. 2016).
114 Dentre as espécies que ocorrem no Brasil estão *D. c. crisis* (Drury, 1782) e *D. melia*.

115 *D. crisis* (Fig. 1) é uma espécie com distribuição ampla na região Neotropical, com pelo
116 menos 12 subespécies, sendo *D. c. crisis* a de ocorrência no Brasil (Lamas, 2004). É mais
117 comumente encontrada em ambientes de Floresta Ombrófila Densa, no interior de mata (Grazia
118 et al. 2008). Apresenta dimorfismo sexual, com o macho sendo menor e com coloração mais
119 clara que a fêmea.

120 *D. melia* (Fig. 2) é uma espécie endêmica do Brasil, encontrada com mais frequência em
121 ambientes de Floresta Ombrófila Mista (Mata com Araucária), no interior e na borda da mata
122 (Grazia et al. 2008). Apresenta acentuado dimorfismo sexual, com a fêmea sendo mimética de
123 espécies do gênero *Actinote* Hübner, [1819], o que dificulta o seu reconhecimento em campo,

124 enquanto o macho possui coloração preta e amarela (Dias et al. 2016).

125

126 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL

127

128 Registros de Ocorrência

129 O levantamento dos registros de ocorrência das espécies no Brasil foi realizado em bancos
130 de dados *online* (speciesLink, GBIF, SiBBr) utilizando o nome das espécies e Brasil como filtros
131 para as buscas; dados de coleções entomológicas (Coleção de Lepidoptera do Departamento de
132 Zoologia da UFRGS, Coleção de Alfred Moser, Coleção Padre Jesus Santiago Moure da UFPR,
133 Coleção de Lepidoptera do Museu de Zoologia da USP, Coleção de Lepidoptera do Museu
134 Nacional/UFRJ e Coleção de Lepidoptera do Museu da Florida – Universidade da Florida) e
135 também registros publicados em literatura científica (Brown 1992; Brown & Freitas 2000;
136 Duarte et al. 2009; Iserhard et al. 2010; Dolibaina et al. 2011; Piovesan et al. 2014; Dias et al.
137 2016). Após a confirmação da identificação, cada registro obtido foi georreferenciado,
138 preferencialmente ao ponto exato de observação de cada espécime. Quando o ponto de coleta
139 não estava disponível, a geolocalização foi feita no nível de maior definição espacial possível
140 (trilha, localidade, distrito, município). O registro que tivesse origem de procedência identificada
141 em escala maior do que a de município foi desconsiderado. Para os modelos foi utilizado apenas
142 1 registro de ocorrência da espécie por localidade/município. Os registros de ocorrência foram
143 padronizados na mesma escala decimal e depois plotados em mapas georreferenciados.

144

145 Variáveis Ambientais

146 Os dados ambientais usados para gerar os modelos de distribuição potencial foram as 19

147 variáveis bioclimáticas (Tabela 1) disponíveis no banco de dados bioclimáticos Worldclim v.1.4
148 (Hijmans et al. 2005). As informações ambientais de cada ponto de ocorrência das espécies
149 foram submetidas a uma análise de componentes principais (PCA), para selecionar as variáveis
150 mais relevantes para gerar os modelos de distribuição. Os eixos da PCA foram selecionados pelo
151 ponto de inflexão observado no gráfico de autovalores (“Scree Plot”), e após isso, foram
152 selecionadas as variáveis originais que apresentaram os valores extremos em cada eixo (Mega et
153 al. 2015).

154

155 Algoritmos e Validação dos Modelos

156 Os algoritmos Maximum Entropy, Maxent, Bioclimatic Envelope, Bioclim, Genetic
157 Algorithm for Rule-set Production, GARP, Support Vector Machine, SVM, e as distâncias
158 Euclidiana, Mahalanobis, Gower, Chebyshev foram utilizados para gerar os modelos. O
159 desempenho de cada modelo foi avaliado pelo valor da Área Abaixo da Curva (*Area Under the*
160 *curve*, AUC) das Curvas Características de Operação (*Receiver-Operation Characteristic* ROC).
161 O valor de AUC varia de 0.5 a 1, com valores 0.5 indicando que a predição do modelo foi
162 randômica, e valores acima de 0.5 indicando predição melhor que randômica (Franklin 2009). Os
163 modelos que obtivessem valores de AUC acima de 0.7, considerado um valor que indica bom
164 desempenho (Giannini et al. 2012), foram selecionados para gerar uma projeção combinada das
165 espécies.

166

167 AVALIAÇÃO DE PROTEÇÃO POR UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

168

169 Para avaliar o nível de proteção das espécies por unidades de conservação verificou-se o

170 nível de sobreposição das áreas com adequabilidade para ocorrência de acordo com a projeção
171 combinada de modelos para cada uma das espécies com os polígonos de unidades de
172 conservação no Brasil (Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável), obtidos
173 no site do Ministério do Meio Ambiente (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). A
174 área das unidades de conservação não pode ser avaliada, pois não tivemos acesso a esse dado.

175

176 **Resultados**

177

178 **MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL**

179

180 **Registros de Ocorrência**

181 Foram compilados 355 registros de ocorrência das espécies, 146 registros para *D. c.*
182 *crisia*, em 41 localidades/municípios (Tabela 2) com altitudes variando entre 10 e 1600 metros, e
183 209 registros para *D. melia*, em 49 localidades/municípios (Tabela 3) com altitudes variando
184 entre 200 e 1400 metros, nos 7 estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

185

186 **Variáveis Ambientais**

187 Para *D. c. crisia* foram selecionadas com a PCA 8 variáveis bioclimáticas, para gerar os
188 modelos: BIO7, BIO8, BIO9, BIO11, BIO12, BIO14, BIO15 e BIO19. Dessas, amplitude anual
189 de temperatura (BIO7) e temperatura média do trimestre mais frio (BIO11) foram as que tiveram
190 mais peso para os modelos. Para *D. melia* foram selecionadas com a PCA 10 variáveis
191 bioclimáticas para gerar os modelos: BIO2, BIO5, BIO6, BIO7, BIO8, BIO9, BIO12, BIO13,

192 BIO15 e BIO19. Dessas, temperatura máxima do mês mais quente (BIO5) e temperatura média
193 do mês mais seco (BIO9) foram as que tiveram mais peso para os modelos.

194

195 Algoritmos e Validação dos Modelos

196 Para *D. c. crisia* os 8 algoritmos apresentaram valores de AUC maiores que 0.9, e por
197 isso todos foram utilizados para gerar o mapa de consenso. Já para *D. melia* 7 algoritmos
198 apresentaram valores de AUC maiores que 0.9 e foram utilizados para gerar o mapa de consenso,
199 enquanto que a distância de Mahalanobis foi excluída por apresentar valor de AUC 0.5. As
200 Figuras 3 e 4 mostram os mapas de consenso para *D. crisia* e *D. melia*, respectivamente. As
201 áreas de maior adequabilidade para *D. c. crisia* parecem estar associadas à encosta da Serra do
202 Mar, enquanto para *D. melia* estas se concentram principalmente na Serra e Planalto Catarinense
203 e Paranaense.

204

205 AVALIAÇÃO DE PROTEÇÃO POR UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

206

207 Das 844 unidades de conservação listadas para as regiões Sul e Sudeste pelo Ministério
208 do Meio Ambiente, 32,6% (275) apresentam algum grau de sobreposição com áreas com
209 adequabilidade para *D. c. crisia*; destas, apenas ao redor de um terço (94) são unidades de
210 proteção integral (Fig. 5), sendo as demais 181 de uso sustentável (Fig 6). Para *D. melia*, 226
211 (26,7%) unidades de conservação incluem ao menos parcialmente áreas de alta adequabilidade,
212 das quais também cerca de um terço (79) são unidades de proteção integral (Fig. 7) e as demais
213 147 de uso sustentável (Fig. 8). A Tabela 4 lista o número de unidades de conservação por grupo
214 e categoria para cada uma das espécies.

215

216 **Discussão**

217 Os resultados dos modelos que nós geramos para *D. c. crisia* e *D. melia* indicam que
218 ambas as espécies apresentam padrão de distribuição relacionado com áreas de altitude. Além
219 disso, os resultados também confirmaram a diferença na distribuição das espécies de acordo com
220 as fitofisionomias da Mata Atlântica. As áreas de alta adequabilidade de hábitat para *D. c. crisia*
221 corresponderam com áreas de encosta da Serra do Mar com Floresta Ombrófila Densa e as áreas
222 de alta adequabilidade de hábitat para *D. melia* coincidiram com áreas altas de Floresta
223 Ombrófila Mista ou Mata com Araucária (Grazia et al. 2008; SOS MA & INPE 2017).

224 Variáveis relacionadas à temperatura foram determinantes para a ocorrência de ambas as
225 espécies, mas estas também se mostraram particulares quanto às variáveis com maior relevância
226 para os modelos. *D. c. crisia* - cujas áreas demais adequabilidade são concentradas a leste, mas
227 estendem-se mais ao norte de São Paulo e Rio de Janeiro - é afetada pela amplitude térmica
228 anual e temperatura do trimestre mais frio; as duas variáveis mais marcantes para *D. melia* – para
229 a qual as áreas de alta adequabilidade concentram-se, sobretudo nos planaltos e serras
230 catarinense e paranaense - em contraste, relacionaram-se às temperaturas máximas e do mês mais
231 seco. Brown e Freitas (2000), em estudo pioneiro sobre diversidade de borboletas da Mata
232 Atlântica, observou associação positiva entre riqueza de pierídeos e amplitude térmica anual e
233 diminuição das temperaturas médias.

234 O número de unidades de conservação que incluem áreas que os modelos indicam com
235 alta adequabilidade parece ser razoavelmente alto para as duas espécies. Todavia, é importante
236 ressaltar pelo menos três aspectos. Primeiro, é fundamental levar em conta que, fora das
237 unidades de conservação, os habitats naturais disponíveis para estas espécies são praticamente

238 inexistentes e estão diminuindo em disponibilidade e qualidade. Estimativas recentes (SOS MA e
239 INPE 2017) dão conta que o ritmo de desmatamento da Mata Atlântica voltou a crescer entre
240 2015-2016 em 57,7%. Em Santa Catarina, Paraná e São Paulo, onde se concentram as principais
241 áreas de adequabilidade de hábitat para ambas as espécies, restam apenas 23, 11 e 13% de áreas
242 de mata, respectivamente; no Paraná, em particular, as áreas de planalto com floresta ombrófila
243 mista foram as mais destruídas nos últimos anos (SOS MA & INPE 2017). Estes dados têm sido
244 repetidamente confirmados nas excursões de campo que temos realizado nos estados do Rio
245 Grande do Sul e Santa Catarina. Logo, as áreas de distribuição potencial previstas pelos modelos
246 são verdadeiramente isto – potenciais: fora das UCs, praticamente não há hábitat disponível.

247 Segundo, a sobreposição das áreas de adequabilidade com as unidades de conservação
248 frequentemente é parcial e, como não foi possível avaliar a proporção de sobreposição, o número
249 de unidades pode ser um indicador exagerado do grau de proteção das espécies.

250 Terceiro, o efetivo grau de proteção das áreas deve ser levado em conta.
251 Aproximadamente dois terços das unidades que incluem áreas de alta adequabilidade para as
252 espécies são unidades de uso sustentável, sendo as reservas particulares do patrimônio natural
253 (RPPNs) as mais comuns, seguidas das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) (Tabela 4). APAs,
254 embora costumem ter uma grande área, podem ser constituídas por terras públicas e privadas, e
255 tem como principal ponto de proteção ambiental, o ordenamento (frequentemente não seguido,
256 ao menos na íntegra) do processo de ocupação humana para assegurar a sustentabilidade do uso
257 dos recursos naturais. RPPNs são áreas privadas tornadas integral ou parcialmente em unidades
258 de conservação, são unidades com áreas geralmente pequenas e com pouca conectividade.
259 Também os parques estaduais e municipais, que estão entre as unidades de proteção integral com
260 maior número de sobreposições com as áreas indicadas pelos modelos, costumam ser de pequena

261 extensão e encontrar-se isolados. Além da área e conectividade das unidades de conservação, o
262 fato de muitas delas não estão de fato efetivadas e/ou não possui registro algum das espécies que
263 ali ocorrem (Oliveira et al. 2017), levanta a questão de o quão eficientes essas unidades podem
264 ser em manter populações viáveis para essas espécies.

265 Ambas as espécies parecem estar protegidas em algum grau pelas UCs, mas em situação
266 bastante precária fora delas. *D. c. crisia* deve ter pontos de alta adequabilidade protegidos por
267 UCs de proteção integral no noroeste do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, porém nas áreas
268 de encosta do litoral norte de São Paulo parece estar na dependência do (duvidoso) efetivo
269 manejo de APAs. Amplas áreas de distribuição parecem estar desprotegidas.

270 *D. melia* parece ter a maior área indicada pelos modelos fora de unidades de conservação,
271 tanto unidades de proteção integral (Fig. 7) quanto de uso sustentável (Fig. 8). No Norte de Santa
272 Catarina parece haver sobreposição com área de proteção integral, mas sua principal área de
273 adequabilidade no Paraná coincide com a área de aumento de desmatamentos reportada para
274 2015-16 (SOS MA e INPE 2017). *D. melia* é endêmica da Mata Atlântica brasileira, e sua área
275 de distribuição prevista concentrou-se na região sul do país, principalmente no estado do Paraná,
276 que é uma região com poucas unidades de conservação (Fig. 7; Fig. 8) e altamente fragmentada.
277 Além disso, uma característica de espécies envolvidas em mimetismo batesiano é que os
278 mímicos ocorrem em baixa abundância (Bates 1862), e aparentemente esse é o caso para *D.*
279 *melia* (Dias et al. 2016).

280 Oliveira et al. (2017) mostraram que a biodiversidade como um todo é pouco
281 representada dentro de UCs no Brasil, além de possuir maior representatividade dentro de
282 unidades de uso sustentável, utilizando conhecimento empírico e modelos de distribuição
283 potencial para avaliar a distribuição das espécies. Na Europa, que possui um sistema de

284 conservação diferente do brasileiro, o nível de proteção de uma espécie ameaçada de besouro foi
285 avaliado com essa abordagem e os resultados são semelhantes. Os autores mostraram que as
286 áreas protegidas europeias estão protegendo uma porção razoável das áreas adequadas para a
287 ocorrência da espécie, mas ainda assim a maioria das áreas adequadas se encontra desprotegida
288 (Bosso et al. 2017). Esses resultados são muito semelhantes com os nossos achados, indicando
289 que o sistema de áreas protegidas, tanto no Brasil como em outros países, precisa ser mais
290 cuidadoso na hora de decidir áreas prioritárias para conservação das espécies.

291 *D. c. crisia* e *D. melia* mostraram-se específicas em seus requisitos para ocorrência. Os
292 modelos de distribuição indicaram áreas de altitude e encosta como áreas as com maior
293 adequabilidade de hábitat: além disso, indicaram a temperatura como fator importante para a
294 ocorrência das duas espécies, porém sob aspectos diferentes para cada uma. Apenas pequena
295 parte das áreas indicadas pelos modelos como de alta adequabilidade de hábitat para as espécies
296 – sobretudo para *D. melia* - se encontra dentro de unidades de conservação. Dado o presente
297 nível de degradação de seus habitats naturais e os crescentes impactos a que vem sendo
298 submetidos, a proteção conferida pelas atuais unidades de conservação pode ser insuficiente para
299 garantir a persistência de *D. c. crisia* e *D. melia* no longo prazo. Estudos de suas populações em
300 campo abordando suas dinâmicas e biológicas são urgentes para que avaliações seguras de seu
301 status de conservação possam ser feitas e medidas efetivas de proteção implementadas.

302

303

304

305

306

307 **Referências Citadas**

- 308
- 309 Bates HW. 1862. Contributions to an Insect Fauna of the Amazon Valley. Lepidoptera:
310 Heliconidae. Transactions of the Linnean Society of London, 23(3), 495-566.
- 311 Beccaloni GW, Vilorio AL, Hall SK, Robinson GS. 2008. Catalogue of the Host Plants of the
312 Neotropical Butterflies/ Catálogo de las Plantas Huésped de las Mariposas Neotropicales.
313 m3m-MonografíasTercerMilenio, Vol. 8. Zaragoza, Spain: Sociedad Entomológica
314 Aragonesa (SEA)/Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática
315 (RIBES)/Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)/Natural History Museum,
316 London, United Kingdom. (NHM)/Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas,
317 Venezuela (IVIC). 536 pp.
- 318 Bosso L, Smeraldo S, Rapuzzi P, Sama G, Garonna AP, Russo D. 2017. Nature protection areas
319 of Europe are insufficient to preserve the threatened beetle *Rosalia alpina* (Coleoptera:
320 Cerambycidae): Evidence from species distribution models and conservation gap analysis.
321 Ecological Entomology.
- 322 Breiner FT, Guisan A, Bergamini A, Nobis MP. 2015. Overcoming limitations of modelling rare
323 species by using ensembles of small models. *Methods in Ecology and Evolution* 6: 1210–
324 1218.
- 325 Brown KS. 1992. Borboletas da Serra do Japi: diversidade, habitats, recursos alimentares e
326 variação temporal, pp 142 – 187 In Morellato PC. 1992. História Natural da Serra do Japi:
327 ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil. UNICAMP/FAPESP.
328 Campinas, São Paulo, Brasil.
- 329 Brown KS, Freitas AVL. 2000. Atlantic forest butterflies: Indicators for landscape conservation.

330 Biotropica 32: 934–956.

331 Brown KS, Freitas AVL. 2000. Diversidade de Lepidoptera em Santa Teresa, Espírito Santo. Bol.
332 Mus. Biol. Mello Leitão 11/12: 71–118.

333 Dias FMS, Leviski GL, Casagrande MM, Mielke OHH. 2016. *Dismorphia melia* (Godart,
334 [1824]) (Pieridae: Dismorphiinae): External Morphology of the Last Instar and Pupa, with
335 Notes on its Taxonomy, Variation and Distribution. Journal of the Lepidopterists' Society
336 70: 61–71.

337 Dirzo R, Young HS, Galetti M, Ceballos G, Isaac NJB, Collen B. 2014. Defaunation in the
338 Anthropocene. Science 345: 401–406.

339 Dolibaina DR, Mielke OHH, Casagrande MM. 2011. Borboletas (Papilionoidea e Hesperioidea)
340 de Guarapuava e arredores, Paraná, Brasil: um inventário com base em 63 anos de registros.
341 Biota Neotropica 11: 341–354.

342 Duarte M, Robbins RK, Victor A, Freitas L, Brown KS, Monteiro RF, Casagrande MM, Mielke
343 OHH, Nascimento MDES, Alves TG. 2009. Borboletas Da Mata Atlântica do Estado do Rio
344 De Janeiro: Pieridae (Lepidoptera). 2010: 291–302.

345 Essens T, van Langevelde F, Vos RA, Van Swaay CAM, WallisDeVries MF. 2017. Ecological
346 determinants of butterfly vulnerability across the European continent. Journal of Insect
347 Conservation 21: 439–450.

348 Franklin, J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge
349 University Press, UK. 340 pp.

350 Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2017. Atlas de
351 remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2015-2016 relatório técnico. Fundação
352 SOS Mata Atlântica e INPE. São Paulo, Brasil. <http://mapas.sosma.org.br>.

353 Giannini TC, Siqueira MF, Acosta AL, Barreto FCC, Saraiva AM, Alves-Dos-Santos I. 2012.
354 Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguesia* 63: 733-
355 749.

356 Grazia J, Romanowski HP, Araujo PB, Schwertner CF, Iserhard CA, Moura LA, Ferro VG. 2008.
357 Artóprodes Terrestres, pp 76 - 97 In Bond-Buckup G [ed.], Biodiversidade dos Campos de
358 Cima da Serra. Libretos. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

359 Guisan A, Tingley R, Baumgartner JB, Naujokaitis-Lewis I, Sutcliffe PR, Tulloch AIT, Regan TJ,
360 Brotons L, Mcdonald-Madden E, Mantyka-Pringle C, Martin TG, Rhodes JR, Maggini R,
361 Setterfield SA, Elith J, Schwartz MW, Wintle BA, Broennimann O, Austin M, Ferrier S,
362 Kearney MR, Possingham HP, Buckley YM. 2013. Predicting species distributions for
363 conservation decisions. *Ecology Letters* 16.

364 Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A,
365 Sumser H, Hörren T, Goulson D, De Kroon H. 2017. More than 75 percent decline over 27
366 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12: 1–21.

367 Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated
368 climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.

369 Iserhard CA, Quadros MT De, Romanowski HP, Mendonça Jr. MDS. 2010. Borboletas
370 (Lepidoptera: Papilionoidea e Hesperioidea) ocorrentes em diferentes ambientes na Floresta
371 Ombrófila Mista e nos Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota*
372 *Neotropica* 10: 309–320.

373 Iserhard CA, Romanowski HP. 2004. Lista de espécies de borboletas (Lepidoptera, Papilionoidea
374 e Hesperioidea) da região do vale do rio Maquiné, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista*
375 *Brasileira de Zoologia* 21: 649–662.

376 Mega NO, Scalco VW, Atencio GWG, Morais BB De, Romanowski HP. 2015. *Battus polydamas*
377 (Lepidoptera: Papilionidae) uses the open-field *Aristolochia sessilifolia* (Piperales:
378 Aristolochiaceae) as its host plant in Uruguayan savanna areas. Florida Entomologist 98:
379 762–769.

380 Newbold T, Hudson LN, Hill SL, Contu S, Lysenko I, Senior RA, Börger L, Bennett DJ,
381 Choimes A, Collen B, Day J, De Palma A, Díaz S, Echeverria-Londoño S, Edgar MJ,
382 Feldman A, Garon M, Harrison MLK, Alhousseini T, Ingram DJ, Itescu Y, Kattge J, Kemp V,
383 Kirkpatrick L, Kleyer M, Laginha Pinto Correia D, Martin CD, Meiri S, Novosolov M, Pan
384 Y, Phillips HRP, Purves DW, Robinson A, Simpson J, Tuck SL, Weiher E, White HJ, Ewers
385 RM, Mace GM, Scharlemann JP, Purvis A. 2015. Global effects of land use on local
386 terrestrial biodiversity. Nature 520: 45-.

387 Oliveira U, Soares-Filho BS, Paglia AP, Brescovit AD, De Carvalho CJB, Silva DP, Rezende DT,
388 Leite FSF, Batista JAN, Barbosa JPPP, Stehmann JR, Ascher JS, De Vasconcelos MF, De
389 Marco P, Löwenberg-Neto P, Ferro VG, Santos AJ. 2017. Biodiversity conservation gaps in
390 the Brazilian protected areas. Scientific Reports 7.

391 Pimm SL, Jenkins CN, Abell R, Brooks TM, Gittleman JL, Joppa LN, Raven PH, Roberts CM,
392 Sexton JO. 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and
393 protection. Science 344: 1246752–1246752.

394 Piovesan M, Orlandin E, Favretto M a, Santos EB. 2014. Contribuição para o conhecimento da
395 lepidopterofauna de Santa Catarina, Brasil. 10: 1–32.

396 Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, Hirota MM. 2009. The Brazilian Atlantic
397 Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for
398 conservation. Biological Conservation 142: 1141–1153.

399 Santo-Silva EE, Almeida WR, Tabarelli M, Peres CA. 2016. Habitat fragmentation and the future
400 structure of tree assemblages in a fragmented Atlantic forest landscape. *Plant Ecology* 217:
401 1129–1140.

402 Thomas JA. 2016. Butterfly communities under threat. *Science* 353: 216–218.

403 Tilman D, Clark M, Williams DR, Kimmel K, Polasky S, Packer C. 2017. Future threats to
404 biodiversity and pathways to their prevention. *Nature* 546: 73–81.

405 United Nations. 2015. World Population Prospects - Population Division - United Nations. World
406 Population Prospects - 2015 Revision.

407

408 **Tabela 1.** Código e nome das 19 variáveis bioclimáticas utilizadas para gerar os modelos de
 409 distribuição das espécies. Valores de temperatura estão em graus Celsius (°C) e de precipitação
 410 em milímetros (mm).

Código da variável	Nome da variável
BIO1	Média anual de temperatura
BIO2	Amplitude média diurna (Média do mês (temp. max – temp. min))
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)
BIO4	Sazonalidade de temperatura (desvio padrão *100)
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Amplitude anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Média de temperatura do mês mais úmido
BIO9	Média de temperatura do mês mais seco
BIO10	Média de temperatura do trimestre mais quente
BIO11	Média de temperatura do trimestre mais frio
BIO12	Precipitação anual
BIO13	Precipitação do mês mais úmido
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

411 **Tabela 2.** Cidades e localidades com registro de *D. c. crisisia* que foram utilizadas para gerar os
 412 modelos, com as coordenadas.

Estado	Cidade	Localidade	Coordenadas
Rio Grande do Sul	Maquiné	Trilha do Carvão	29.5413°S, 50.2430°W
Rio Grande do Sul	Maquiné	Trilha do Ligeiro	29.5591°S, 50.2433°W
Rio Grande do Sul	Maquiné	Trilha da Serrinha	29.5502°S, 50.2500°W
Rio Grande do Sul	Terra de Areia	-	29.5708°S, 50.1036°W
		Centro de Pesquisa e	
Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Conservação da Natureza - Pró-Mata	29.4808°S, 50.1744°W
Rio Grande do Sul	Torres	Parque Estadual de Itapeva	29.3452°S, 49.7573°W
Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Floresta Nacional de São Francisco de Paula	29.4302°S, 50.3783°W
Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Parador Hampel	29.4480°S, 50.6214°W
Rio Grande do Sul	Morro Reuter	Fazenda Padre Eterno	29.5379°S, 50.9760°W
Santa Catarina	Joinville	Reserva Particular do Patrimônio Natural Caetezal	26.1911°S, 49.1066°W
Santa Catarina	Florianópolis	Lagoa do Peri	27.7329°S, 48.5453°W
Santa Catarina	Agrolândia	-	27.3749°S, 49.7795°W
Santa Catarina	Rio do Sul	-	27.2322°S, 49.6293°W
Santa Catarina	São Bento do Sul	Rio Natal/Rio Vermelho	26.3300°S, 49.2891°W
Santa Catarina	Ibirama	-	26.9710°S, 49.5118°W
Santa Catarina	Joinville	Serrinha do Piraí	26.3194°S, 48.9856°W

Santa Catarina	Corupá	-	26.4114°S, 49.2150°W
Santa Catarina	Timbó	-	26.8127°S, 49.3267°W
Paraná	Guaratuba	-	25.8107°S, 48.7837°W
Paraná	Tijucas do Sul	Vossoroça	25.8528°S, 49.0687°W
Paraná	Morretes	Véu de Noiva	25.4228°S, 48.9349°W
São Paulo	São Paulo	Serra da Cantareira	23.4059°S, 46.6083°W
São Paulo	Salesópolis	Pedra da Boraceia	23.6704°S, 45.7974°W
São Paulo	Coita	Morro Grande	23.6541°S, 46.9489°W
São Paulo	São Luís do Piraitinga	Santa Virgínia	23.3333°S, 45.0999°W
São Paulo	São Bernardo do Campo	Alto da Serra	23.8167°S, 46.5167°W
São Paulo	Campos do Jordão	-	22.6833°S, 45.4667°W
São Paulo	Caraguatatuba	-	23.5871°S, 45.4059°W
São Paulo	Campinas	Condomínio Xangrilá	22.7908°S, 47.0199°W
São Paulo	Jundiaí	Serra do Japi	23.2235°S, 46.9567°W
Rio de Janeiro	Itatiaia	Maromba	22.3329°S, 44.6101°W
Rio de Janeiro	Angra dos Reis	-	23.0081°S, 44.3345°W
Rio de Janeiro	Petrópolis	Serra dos Órgãos	22.4999°S, 43.0991°W
Rio de Janeiro	Nova Friburgo	Macaé de Cima	22.3698°S, 42.4644°W
Rio de Janeiro	Cachoeiras de Macacu	Boca do Mato	22.4241°S, 42.6205°W
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	Parque Nacional da Tijuca	22.9498°S, 43.2714°W
Rio de Janeiro	Teresópolis	-	22.4131°S, 42.931°W
Rio de Janeiro	Miguel Pereira	-	22.4828°S, 43.5163°W

Espirito Santo	Santa Teresa	-	19.9202°S, 40.6288°W
Minas Gerais	Virgínia	-	22.3250°S, 45.1472°W
Minas Gerais	Passa Quatro	-	22.3918°S, 44.9504°W

413

414

415 **Tabela 3.** Cidades e localidades com registro de *D. melia* que foram utilizadas para gerar os
 416 modelos, com as coordenadas.

Estado	Cidade	Localidade	Coordenadas
Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Floresta Nacional de São Francisco de Paula Centro de Pesquisa e	29.4302°S, 50.3783°W
Rio Grande do Sul	São Francisco de Paula	Conservação da Natureza - Pró-Mata	29.4808°S, 50.1744°W
Rio Grande do Sul	Maquiné	Trilha do Garapiá	29.5050°S, 50.2400°W
Rio Grande do Sul	Torres	-	29.3452°S, 49.7573°W
Rio Grande do Sul	São José dos Ausentes	-	28.7333°S, 50.0667°W
Santa Catarina	Nova Teutônia	-	27.0500°S, 52.4000°W
Santa Catarina	Canoinhas	-	26.1825°S, 50.3465°W
Santa Catarina	Caúna	-	26.3500°S, 50.8833°W
Santa Catarina	Seara	-	27.1377°S, 52.3400°W
Santa Catarina	São Bento do Sul	Rio Vermelho/Rio Natal	26.2500°S, 49.3835°W
Santa Catarina	Ibirama	-	26.9710°S, 49.5118°W
Santa Catarina	Joinville	-	26.3112°S, 49.0067°W
Santa Catarina	Rio das Antas	-	26.8931°S, 51.0749°W
Santa Catarina	Agrolândia	-	27.4869°S, 49.8639°W
Santa Catarina	Corupá	-	26.4114°S, 49.2150°W
Santa Catarina	Blumenau	-	27.0266°S, 48.9348°W
Santa Catarina	Urupema	-	27.9389°S, 48.8756°W

Santa Catarina	Urubici	-	28.0051°S, 49.6034°W
Santa Catarina	Curitibanos	-	27.3035°S, 50.5537°W
Santa Catarina	Dalbérgia	-	27.0262°S, 49.6107°W
Santa Catarina	Monte Castelo	-	26.4597°S, 50.2308°W
Santa Catarina	Santa Cecília	-	26.9554°S, 50.4396°W
Santa Catarina	Ituporanga	-	27.4410°S, 49.5483°W
Santa Catarina	Taió	-	27.1018°S, 50.0012°W
Santa Catarina	Timbó	-	26.8127°S, 49.3267°W
Paraná	Balsa Nova	São Luiz do Purunã	25.4621°S, 49.7101°W
Paraná	Guarapuava	-	25.2902°S, 51.4969°W
Paraná	São José dos Pinhais	-	25.5177°S, 48.9142°W
Paraná	Fernandes Pinheiro	-	25.0653°S, 50.4928°W
Paraná	União da Vitória	-	26.1839°S, 51.0922°W
Paraná	Morretes	-	25.4846°S, 48.9068°W
Paraná	Tijucas do Sul	-	25.9462°S, 49.0971°W
Paraná	Curitiba	-	25.3826°S, 48.9221°W
Paraná	Guaratuba	Pontal da Serra	25.8666°S, 48.9500°W
Paraná	Ponta Grossa	-	25.0679°S, 49.9504°W
São Paulo	Lorena	-	22.6401°S, 45.2319°W
São Paulo	Amparo	-	22.6705°S, 46.7670°W
São Paulo	Jundiaí	Serra do Japi	23.2235°S, 46.9567°W
São Paulo	Ribeirão Pires	-	23.7600°S, 46.3211°W
Rio de Janeiro	Itatiaia	Maromba	22.3329°S, 44.6101°W

Rio de Janeiro	Angra dos Reis	-	23.0081°S, 44.3345°W
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	Parque Nacional da Tijuca	22.9498°S, 43.2714°W
Rio de Janeiro	Seropédica	Distrito Campo Lindo	22.8400°S, 43.5882°W
Rio de Janeiro	Petrópolis	-	22.5410°S, 43.1522°W
Rio de Janeiro	Jacarepaguá	-	22.9469°S, 43.4513°W
Rio de Janeiro	Resende	-	22.5136°S, 44.4294°W
Rio de Janeiro	Teresópolis	-	22.4131°S, 42.9310°W
Espírito Santo	Alegre	-	20.6580°S, 41.3828°W
Espírito Santo	Santa Teresa	-	19.9202°S, 40.6288°W

417

418

419 **Tabela 4.** Número de unidades de conservação que incluem áreas de alta adequabilidade de
 420 hábitat pelos mapas de consenso das espécies, separadas por grupo e categoria.

Grupo	Categoria	<i>Dismorphia c. crisia</i>	<i>Dismorphia melia</i>
Unidades de Proteção Integral	Estação Ecológica	10	8
	Monumento Natural	6	4
	Parque Estadual	35	27
	Parque Municipal	18	16
	Parque Nacional	11	13
	Refúgio de Vida Silvestre	1	2
	Reserva Biológica	13	9
	Total de Unidades de Proteção Integral	94	79
Unidades de Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental	63	57
	Área de Relevante Interesse Ecológico	2	5
	Floresta Estadual	2	2
	Floresta Nacional	4	7
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável	5	5
	Reserva Particular do Patrimônio Natural	105	71
	Total de Unidades de Uso Sustentável	181	147
	TOTAL	275	226

421



422

423 **Fig. 1.** Macho e fêmea, respectivamente, de *D. c. crisia* em vista dorsal. Escala 2 cm.

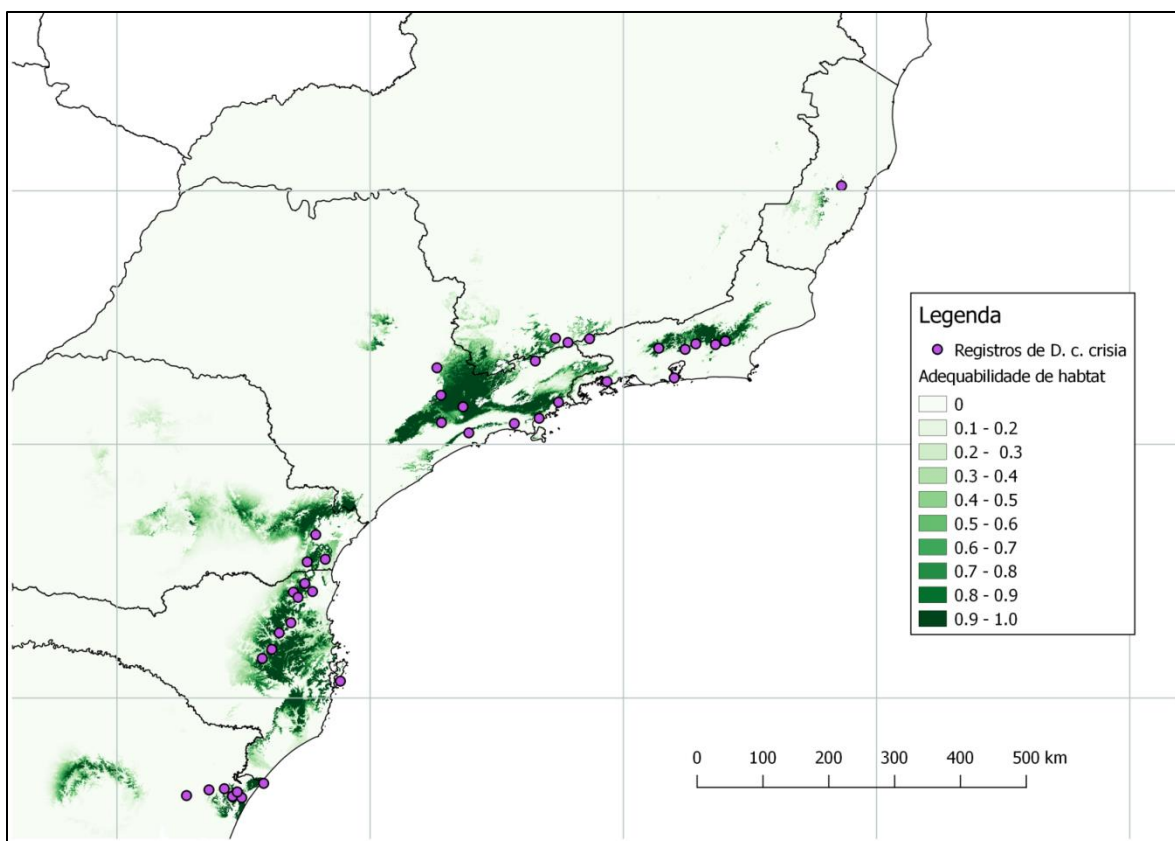
424



425

426 **Fig. 2.** Macho e fêmea, respectivamente, de *D. melia* em vista dorsal. Escala 2 cm.

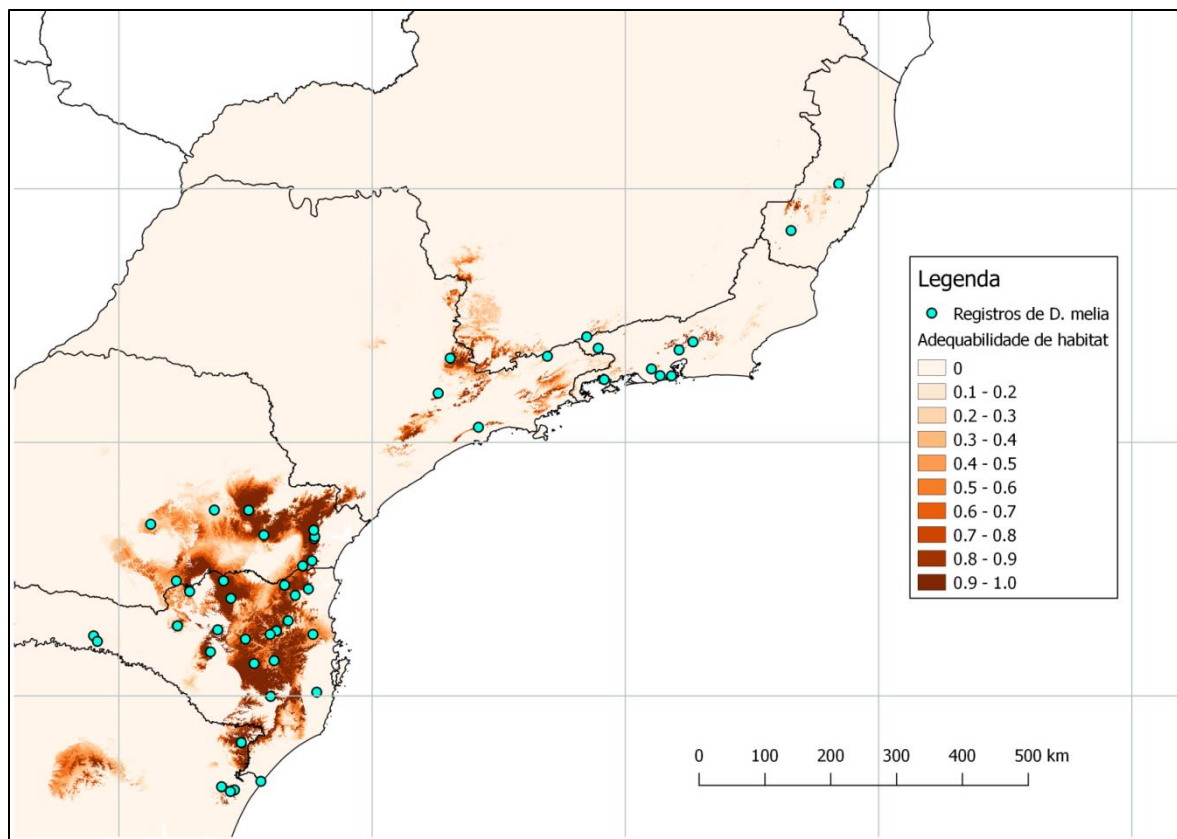
427



428

429 **Fig. 3.** Mapa consenso com os resultados dos 8 algoritmos para *D. c. crisia*. O tom da cor indica
 430 a adequabilidade da área para a espécie. Tons mais claros indicam baixa adequabilidade e tons
 431 mais escuros indicam alta adequabilidade. Pontos em rosa indicam as cidades ou localidades com
 432 registro da espécie.

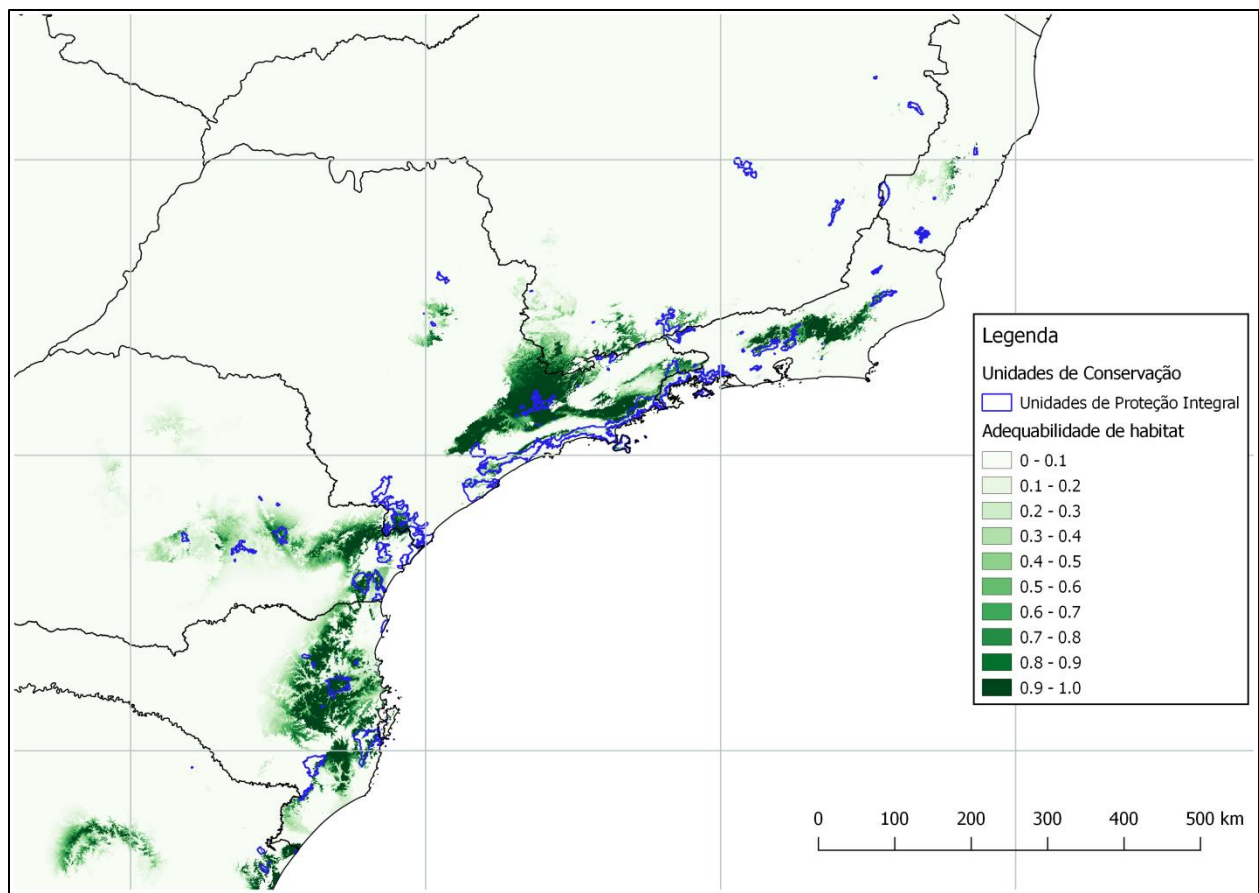
433



434

435 **Fig. 4.** Mapa consenso com os resultados dos 7 algoritmos para *D. melia*. O tom da cor indica a
 436 adequabilidade da área para a espécie. Tons mais claros indicam baixa adequabilidade e tons
 437 mais escuros indicam alta adequabilidade. Pontos em azul indicam as cidades ou localidades com
 438 registro da espécie.

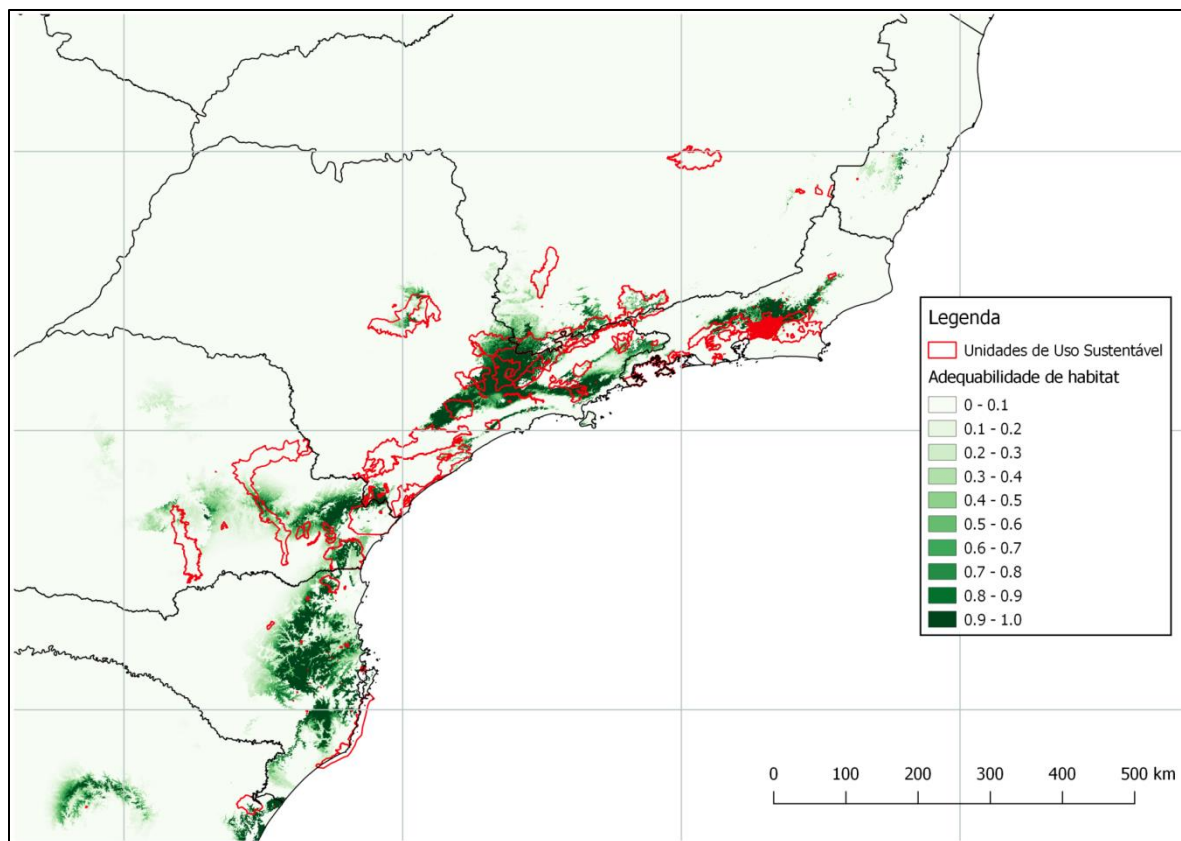
439



440

441 **Fig. 5.** Unidades de proteção integral, polígonos em azul, que incluem áreas de alta

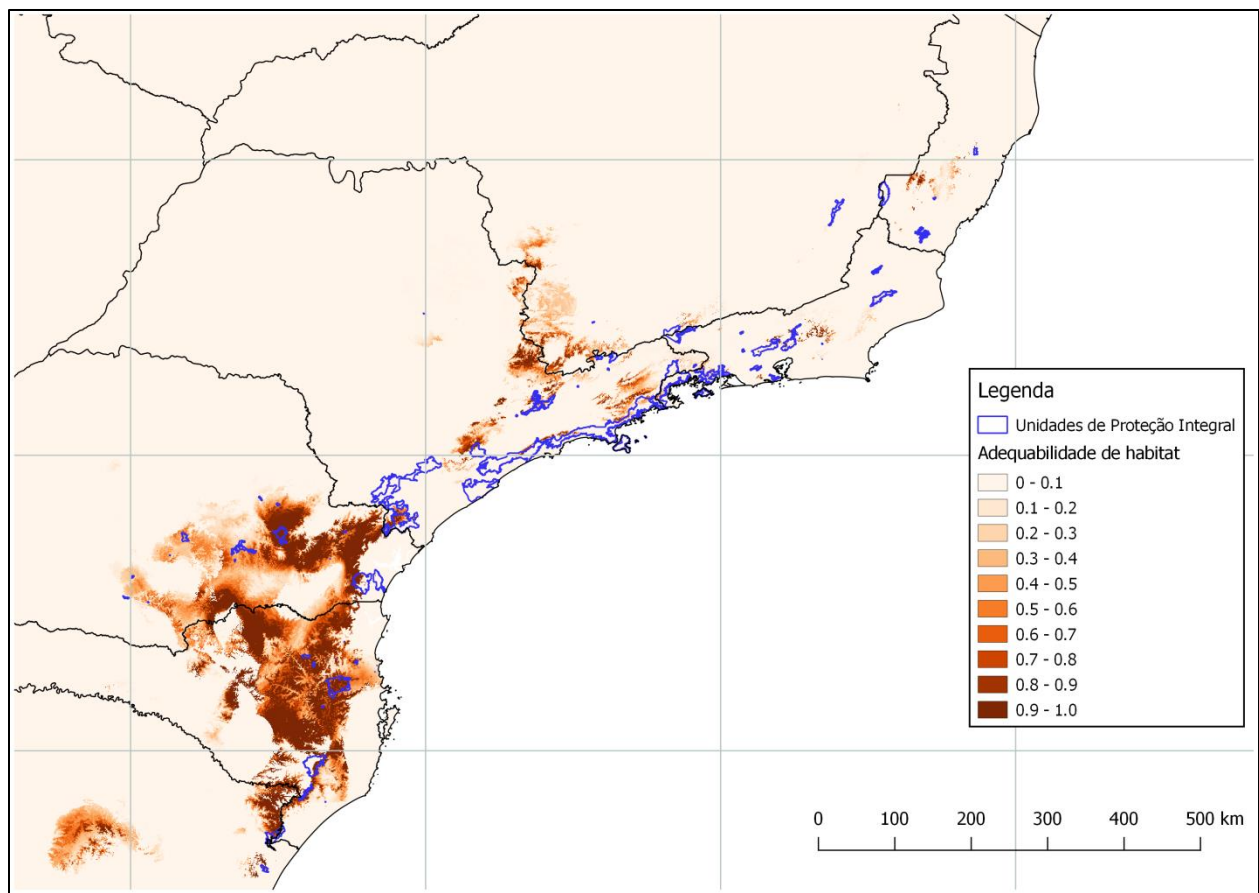
442 adequabilidade de hábitat para *D. c. crisis*.



443

444 **Fig. 6.** Unidades de uso sustentável, polígonos em vermelho, que incluem áreas de alta

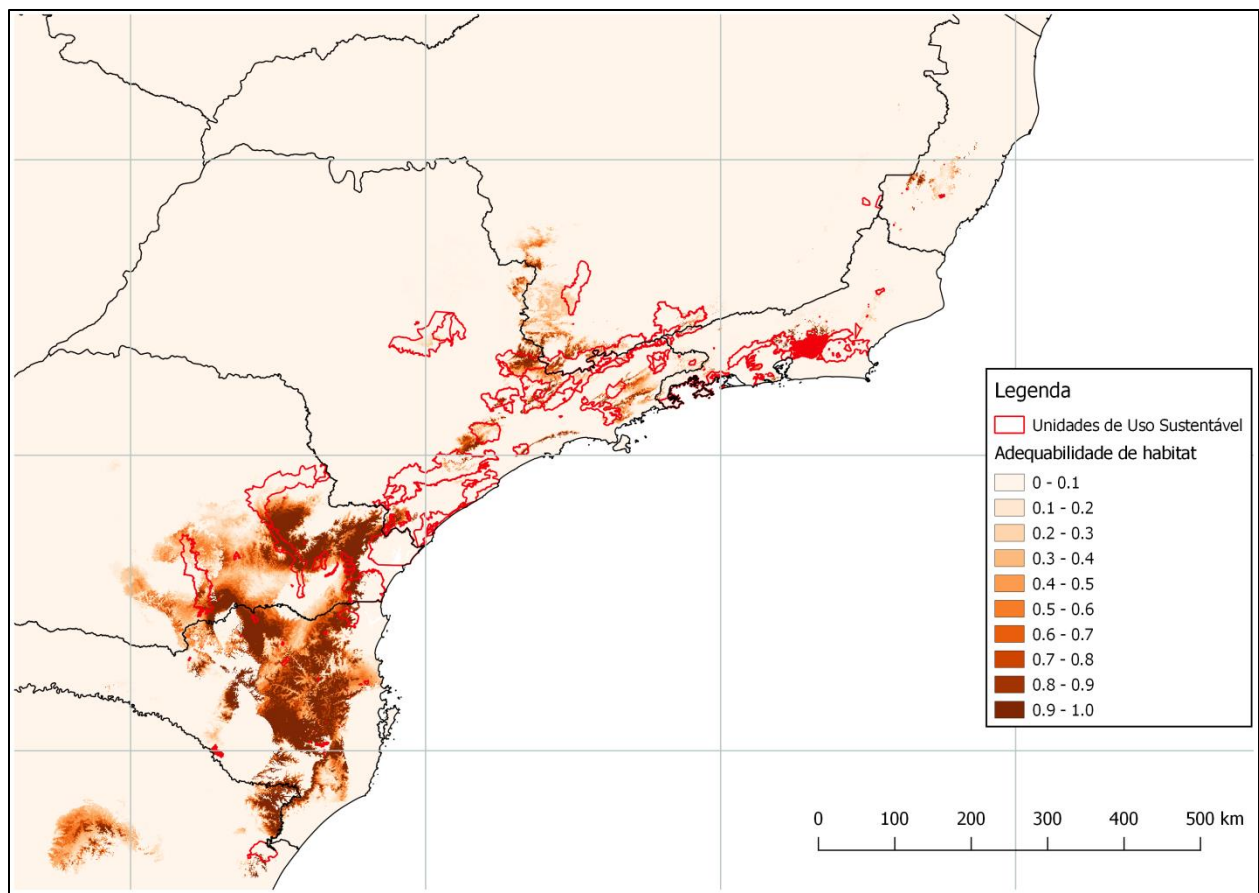
445 adequabilidade de hábitat para *D. c. crisis*.



446

447 **Fig. 7.** Unidades de proteção integral, polígonos em azul, que incluem áreas de alta

448 adequabilidade de hábitat para *D. melia*.



449

450 **Fig. 8.** Unidades de uso sustentável, polígonos em vermelho, que incluem áreas de alta

451 adequabilidade de hábitat para *D. melia*.