



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS

Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Câmpus Central

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado

Leonardo Almeida Guerra dos Santos

**EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS
PLANTAS MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO SUL**

Anápolis
2023



2

3 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

4

DO CERRADO

5

6

7

8

9

10 EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS

11 PLANTAS MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO SUL

12

13

14

15

16

Leonardo Almeida Guerra dos Santos

17

18

19

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais
do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás
para obtenção do título de Mestre em Recursos
Naturais do Cerrado.

20

21

22

23

24

Orientador: Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

Anápolis
2023

36



37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ge Guerra dos Santos, Leonardo Almeida
EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS
PLANTAS MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO SUL /
Leonardo Almeida Guerra dos Santos; orientador Daniel
de Paiva Silva. -- Goiânia, 2023.
52 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais do Cerrado
(RENAC)) -- Câmpus Central - Sede: Anápolis - CET,
Universidade Estadual de Goiás, 2023.

1. Biodiversidade. 2. Mudanças climáticas. 3.
Plantas medicinais do Cerrado. 4. Modelagem de
espécies. 5. Cerrado. I. Silva, Daniel de Paiva ,
orient. II. Título.

49

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD/UEG)

Na qualidade de titular dos direitos de autor / autora, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Estando ciente que o conteúdo disponibilizado é de inteira responsabilidade do autor / autora.

Dados do autor (a)

Nome Completo: Leonardo Almeida Guerra dos Santos
E-mail: leonardoalmeida1999@hotmail.com

Dados do trabalho

Título: EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS PLANTAS
MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO SUL

Tipo

() Tese (x) Dissertação

Curso/Programa: RENAC - RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

Concorda com a liberação documento

[x] SIM


[] NÃO

Assinalar justificativa para o caso de impedimento e não liberação do documento:

- [] Solicitação de registro de patente;
- [] Submissão de artigo em revista científica;
- [] Publicação como capítulo de livro;
- [] Publicação da dissertação/tese em livro.

- ❖ Período de embargo é de **um ano** a partir da data de defesa, prorrogável por mais um ano.
- ❖ Em caso de não autorização, o período de embargo será de **até um ano** a partir da data de defesa, caso haja necessidade de exceder o prazo, deverá ser apresentado formulário de solicitação para extensão de prazo para publicação devidamente justificado, junto à coordenação do curso.

Anápolis, 27/11/2023.

Documento assinado digitalmente
 LEONARDO ALMEIDA GUERRA DOS SANTOS
Data: 27/11/2023 17:25:09-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura autor (a)

Documento assinado digitalmente
 DANIEL DE PAIVA SILVA
Data: 27/11/2023 17:36:23-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura do orientador (a)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM RECURSOS NATURAIS DO CERRADO

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO Nº 151/2023

Aos 23 dias do mês de Novembro do ano de 2023, às 14h00min, reuniu-se no auditório do bloco IV do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo da UEG, a banca Examinadora composta pelos: Dr. Daniel de Paiva Silva (Instituto Federal Goiano Campus Urutai), Patrick Thomaz de Aquino Martins (Universidade Estadual de Goiás), Dr. Bruno Vilela de Moraes e Silva (Universidade Federal da Bahia), para sob a presidência do primeiro, procederem à “defesa de Mestrado” intitulada: Efeito potencial das mudanças climáticas sobre as plantas medicinais do cerrado na América do Sul, de Leonardo Almeida Guerra dos Santos, discente do PPG Recursos Naturais do Cerrado, nível mestrado. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de dissertação de autoria do(a) discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

Membro da Banca	Aprovado	Reprovado
Dr. Daniel de Paiva Silva	X	
Patrick Thomaz de Aquino Martins	X	
Dr. Bruno Vilela de Moraes e Silva	X	

Justificativas e sugestões: _____

Após avaliação foi APROVADO na defesa. Às 16 horas, o Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva, presidente da Banca Examinadora deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou a presente Ata:

Documento assinado digitalmente
gov.br PATRICK THOMAZ DE AQUINO MARTINS
Data: 23/11/2023 15:50:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO VILELA DE MORAES E SILVA
Data: 23/11/2023 15:45:31-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Vilela de Moraes e Silva

Documento assinado digitalmente
gov.br DANIEL DE PAIVA SILVA
Data: 23/11/2023 16:01:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva


LEONARDO ALMEIDA GUERRA DOS SANTOS

EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS SOBRE AS PLANTAS
MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO
SUL


Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de mestre(a), aprovada em 23 de novembro de 2023, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Documento assinado digitalmente
 DANIEL DE PAIVA SILVA
Data: 23/11/2023 16:01:27-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva
Presidente da banca
Instituto Federal Goiano Campus Urutaí

Documento assinado digitalmente
 PATRICK THOMAZ DE AQUINO MARTINS
Data: 23/11/2023 15:50:24-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Patrick Thomaz de Aquino Martins
Universidade Estadual de Goiás

Documento assinado digitalmente
 BRUNO WILELA DE MORAES E SILVA
Data: 23/11/2023 15:45:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Vilela de Moraes e Silva
Universidade Federal da Bahia



56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87

Leonardo Almeida Guerra dos Santos

**EFEITO POTENCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AS
PLANTAS MEDICINAIS DO CERRADO NA AMÉRICA DO SUL**

Dissertação defendida no programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás, para a obtenção do
grau de Mestre, aprovada em 23 de Novembro de 2023 pela Banca
Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva
Presidente da Banca
Intituto Federal Goiano Campus Urutaí

Prof. Dr. Bruno Vilela
Membro Externo
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Patrick Martins
Membro Interno
Universidade Estadual de Goiás



88 **Agradecimentos**

89 Quero expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que
90 desempenharam papéis cruciais na realização desta dissertação, um marco significativo em
91 minha jornada acadêmica.

92

93 Em primeiro lugar, agradeço à Universidade Estadual de Goiás por proporcionar o ambiente
94 propício ao meu crescimento acadêmico e pessoal. A CAPES também merece meu sincero
95 agradecimento pela concessão da bolsa de mestrado, que foi fundamental para tornar esta etapa
96 possível. Meu orientador, Daniel de Paiva Silva, recebe minha gratidão especial. Sua orientação
97 e apoio constante foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e seu
98 conhecimento e paciência foi um guia valioso ao longo dessa jornada. À minha família, em
99 particular à minha mãe, expressei meu profundo agradecimento. Seu amor incondicional, apoio
100 inabalável e compreensão foram pilares essenciais durante os desafios desta jornada acadêmica.
101 Aos meus amigos, tanto em geral quanto aos mais próximos, Wanderson, Luiz, Luiza, Lucas,
102 Bruna, Marcela, Ariany, Tom, Gustavo, Vitor, Cheila e Marcinho, agradeço por cada
103 contribuição única para minha vida e para este projeto. Sua amizade e encorajamento foram
104 fontes de inspiração.

105 Agradeço a Deus pela força, sabedoria e inspiração que me foram concedidas ao longo desta
106 jornada acadêmica.

107 À banca examinadora, expressei meu profundo agradecimento pela compreensão e
108 paciência, assim como pelas criteriosas contribuições que enriqueceram este trabalho. Ao
109 laboratório TheMetaLand, agradeço pela infraestrutura e ambiente propício à pesquisa. Um
110 agradecimento especial ao Professor Paulo de Marcos, da UFG, por aceitar-me durante o
111 período de desenvolvimento do meu trabalho e por seu apoio constante. Ao laboratório BioEcol
112 na UEG, em especial ao Professor João Nabout, agradeço pela acolhida e pela contribuição
113 valiosa ao meu trabalho.

114 À professora preceptora do meu estágio de docência, Juliana Simião, expressei meu
115 agradecimento pela orientação competente e pela oportunidade de aprendizado prático.

116 E a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta jornada, meu sincero obrigado.
117 Este trabalho é fruto de esforços coletivos, e cada um de vocês teve um papel crucial em sua
118 realização.

119



120		Sumário	
121			
122	Resumo.....		07
123	Abstract		08
124	Lista de Tabelas.....		09
125	Lista de Figuras.....		10
126	1. Introdução		12
127	2. Material e metodos		15
128	2.1 Dados das espécies.....		15
129	2.2 <i>Variaveis Ambientais</i>		16
130	2.3 <i>Modelagem de distribuição das espécies e avaliação dos modelos</i>		17
131	3. Resultados		20
132	4. Discussão		26
133	5. Conclusão		33
134	6. Referências		34
135	7. Anexos.....		43
136			



137 **Resumo**

138 No cenário de um mundo em constante transformação, fortemente influenciado pelas ações
139 humanas, a biodiversidade enfrenta ameaças cada vez mais intensas. A perda significativa de
140 espécies em ecossistemas terrestres e marinhos é uma preocupação evidente, resultado tanto
141 das mudanças climáticas quanto das ações antrópicas. É crucial ressaltar que as mudanças
142 climáticas têm o potencial de se tornarem a maior ameaça à biodiversidade. No entanto, mesmo
143 diante das alterações climáticas, muitas espécies podem não conseguir se dispersar rapidamente
144 o suficiente para evitar extinções locais. Para abordar esse desafio, utilizamos modelos de
145 distribuição de espécies para analisar como as mudanças climáticas futuras podem influenciar
146 a riqueza e a distribuição das espécies de plantas medicinais do Cerrado na América do Sul.
147 Coletamos ocorrências e variáveis ambientais a partir de bancos de dados online e previmos as
148 distribuições das espécies em três cenários e oito modelos de circulação atmosfera-oceano.
149 Sequentemente avaliamos a eficácia dos modelos produzidos por meio da métrica de Jaccard.
150 Os resultados mostraram um valor de Jaccard excelente para os modelos, e que as espécies
151 estão com maior probabilidade de ocorrência na região do No entanto, em cenários futuros,
152 notam-se perdas significativas de áreas adequadas, especialmente no Brasil. A redução variou
153 de 50% a 64%, dependendo do cenário, com algumas espécies enfrentando situações críticas e
154 possíveis extinções. O deslocamento dos centroides para regiões mais quentes, incluindo a
155 floresta amazônica, sugere adaptação ecológica, mas também destaca desequilíbrios potenciais.
156 Em suma, as mudanças climáticas representam uma ameaça à diversidade e distribuição dessas
157 espécies, exigindo atenção e intervenções para preservação.

158

159 **Palavras-chave:** Biodiversidade, Mudanças climáticas, Plantas medicinais do Cerrado,
160 Modelagem de espécies

161



162 **Abstract**

163 In a scenario of a constantly changing world strongly influenced by human actions, biodiversity
164 faces increasingly intense threats. The significant loss of species in terrestrial and marine
165 ecosystems is an evident concern resulting from climate change and anthropogenic activities.
166 It is crucial to emphasize that climate change can become the greatest biodiversity threat.
167 However, even in the face of climate change, many species may be unable to disperse rapidly
168 enough to avoid local extinctions. To address this challenge, we used species distribution
169 models to analyze how future climate changes can influence the richness and distribution of
170 medicinal plant species in the Cerrado in South America. We collected occurrences and
171 environmental variables from online databases and predicted species distributions in three
172 scenarios and eight atmosphere-ocean circulation models. Subsequently, we evaluated the
173 effectiveness of the models using the Jaccard metric. The results showed an excellent Jaccard
174 value for the models, and species are more likely to occur in the region. However, significant
175 losses in suitable areas were noticeable in future scenarios, especially in Brazil. Depending on
176 the scenario, the reduction ranged from 50% to 64%, with some species facing critical situations
177 and possible extinctions. The shift of centroids to warmer regions, including the Amazon
178 rainforest, suggests ecological adaptation but also highlights potential imbalances. In summary,
179 climate change threatens the diversity and distribution of these species, requiring attention and
180 interventions for preservation.

181

182

183 **Keywords:** Biodiversity, Climate changes, Medicinal plants of the Cerrado, Species modeling.

184

185



186 **Lista de tabelas**

187

188

189 Tabela 1. Espécies de plantas com potencial medicinal nativas do Brasil modeladas neste
190 trabalho. Na tabela são apresentados valores de estatística Jaccard, tamanho da distribuição (\times
191 1.000 células) no presente e nos três possíveis cenários [otimista (ssp126), intermediário
192 (ssp245) e pessimista (ssp585)].....Pág.26

193

194 Tabela S1 – Autovalores e contribuições individuais e somada dos componentes principais
195 originários das 49 variáveis ambientais que correspondem a 96% da variação ambiental
196 original.....Pág.41

197

198 Tabela S2: Doi das respectivas espécies baixadas pelos bancos de dados.....Pág.43

199

200

201

202

203 **Lista de Figuras**

204

205 **Figura 1.** Fluxograma de todos os procedimentos de modelagem realizados neste estudo. (A)
206 Ocorrências das espécies, área de estudo e desbaste das ocorrências; (B) e (C) seleção das
207 variáveis ambientais, seguido pela PCA e procedimento de treino e teste, (C) ensemble dos
208 algoritmos, (D) resultados contendo ensembles, distribuição e mapa de riqueza de espécies.

209Pág.19

210

211 **Figura 2.** Mapa de distribuição e riqueza de espécies. A) Mapa de riqueza no presente, 1)
212 Recorte para o Brasil no presente, B) Mapa de riqueza para o futuro otimista ssp126, 2) Recorte
213 para o Brasil no futuro otimista ssp126, C) Mapa de riqueza para o futuro intermediário ssp245,
214 3) Recorte para o Brasil no futuro intermediário ssp245, D) Mapa de riqueza para o futuro
215 pessimista 585, 4) Recorte para o Brasil no futuro pessimista
216 ssp585.....Pág.21

217

218 **Figura 3.** Mapa de distribuição e riqueza de espécies. A) Mapa de riqueza no presente, 1)
219 Recorte para o Cerrado no presente, B) Mapa de riqueza para o futuro otimista ssp126, 2)
220 Recorte para o Cerrado no futuro otimista ssp126, C) Mapa de riqueza para o futuro
221 intermediário ssp245, 3) Recorte para o Cerrado no futuro intermediário ssp245, D) Mapa de
222 riqueza para o futuro pessimista 585, 4) Recorte para o cerrado no futuro pessimista
223 ssp585.....Pág.22

224

225 **Figura. 4** Mapa de perda e ganho de riqueza de espécies em comparação com o cenário
226 presente. A) Presente menos cenário ssp125; (B) Presente menos cenário spp245; (C) Presente
227 menos cenário ssp545. Segundo este mapa, locais com valores vermelhos significam que houve
228 aumento no número de espécies no cenário futuro em comparação com o cenário presente. Por
229 outro lado, valores azuis significam que houve diminuição no número de espécies em relação
230 ao cenário futuro considerado.

231Pág.23

232

233 **Figura 5.** Correlações de Pearson do tamanho da distribuição das espécies no presente e em
234 cada um dos cenários futuros. A) ssp126; B) ssp245; C) ssp585..... Pág.24

235



236 **Figura 6.** Distribuição individual de cada espécie. Em roxo são as áreas em que as espécies
237 individualmente se mantiveram estáveis, em vermelho o quanto cada espécie perdeu de range
238 em cada cenário, e na cor verde, o quanto cada espécie ganhou de área nos cenários futuros
239 em comparação com
240 presente.....Pág.25

241

242 **Figura. 7.** Deslocamento dos centroides de cada espécie, nos diferentes cenários futuros, as
243 espécies que se deslocam para o lado direito, estão sentido norte, as que estão sentido esquerdo,
244 estão se deslocando para a região sul.....Pág.26

245

246

247



248 1. Introdução

249 No contexto de um mundo em constante transformação e fortemente influenciado pelas
250 ações humanas, a biodiversidade enfrenta ameaças cada vez mais intensas (Cardinale, 2012). A
251 perda significativa de espécies em ecossistemas terrestres e marinhos é uma preocupação
252 evidente, originada tanto pela ocupação dos habitats naturais quanto pelas mudanças no uso do
253 solo, perda de habitat e fragmentação e demais ações humanas (*International Platform on*
254 *Biodiversity and Ecosystem Services*–IPBS, 2019). Nos ambientes terrestres, essas ações
255 incluem desmatamento e conversão de terras para fins agrícolas e urbanos (Arraes et al., 2012),
256 poluição do ar, água e solo proveniente de atividades industriais (Derisio, 2016), mudanças
257 climáticas devido às emissões de gases de efeito estufa (Heikkinen *et al.*, 2006), exploração
258 excessiva de recursos naturais (Osco *et al.*, 2013), introdução de espécies invasoras (Tylianakis
259 *et al.*, 2008), fragmentação de habitat (Do Nascimento, 2007), uso de produtos químicos na
260 agricultura (Confalonieri *et al.*, 2002), construção de barragens e destruição de ecossistemas
261 aquáticos (Maxwell, 2016). Especificamente considerando-se as mudanças climáticas, é
262 importante ressaltar que elas têm o potencial de se tornarem a maior ameaça à biodiversidade
263 mundial em médio prazo. Entretanto, tal ameaça já começa a ser evidenciada nos efeitos
264 observados em diversos sistemas ecológicos (Garcia *et al.*, 2012). Ao longo dos últimos 100
265 anos, alterações substanciais no clima e nos eventos climáticos extremos têm ocorrido e os
266 impactos têm se difundido na distribuição geográfica de plantas e animais, eventos causados
267 principalmente pelas ações antrópicas (Garcia *et al.*, 2014; Thomas *et al.*, 2004; Pecl *et al.*,
268 2017).

269 As mudanças climáticas também afetam as dinâmicas populacionais das espécies, as áreas
270 de ocorrência, os habitats, as rotas migratórias e suas interações com outras espécies. (Thomas
271 2004, Hughes, 2000, Pecl 2017, Parmesan 2006.) Essas transformações têm potencial para
272 resultar na redução de serviços ecossistêmicos e, em última instância, na extinção das espécies,
273 devido à uma interação complexa de fatores bióticos e abióticos (Nascimento, 2020; Pecl *et al.*,
274 2017). As mudanças climáticas são causadas por um conjunto diversificado de gases como o
275 dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e vapor d'água. O CO₂ é
276 proveniente principalmente da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento,
277 constituindo um dos principais atores desse cenário. O CH₄ é proveniente de atividades como
278 pecuária, cultivo de arroz e gestão de resíduos e pecuária. (De Lima, 2002; Khanal,2009) O
279 N₂O é produzido pela agricultura, no uso de fertilizantes e pela queima de combustíveis fósseis



280 (De Lima, 2002; Oliveira et al., 2013). Por fim, apesar do vapor d'água (H₂O) não ser emitido
281 diretamente por atividades humanas, sua evaporação pode ser intensificada pelas mudanças
282 climáticas, originando o processo de ebulição global e amplificando o efeito estufa originado
283 por outros gases (Barbosa, 2014; Schneider, 2010).

284 Embora algumas espécies possam colonizar novos locais no futuro, grande parte delas
285 pode não se dispersar com rapidez suficiente para encontrar locais ambientalmente adequados
286 de maneira a evitar extinções locais. Isto se torna um maior risco de extinção para espécies com
287 baixa mobilidade ou com distribuição restrita, como o caso das espécies vegetais (Urban, 2015).
288 Perdas de biodiversidade vegetal afetam diretamente a estrutura dos ecossistemas, alterando a
289 produção de biomassa e ciclagem de nutrientes (Tilman *et al.*, 1996; Hector *et al.*, 1999). A
290 vegetação Sul Americana no sul do continente e em sua maioria no Brasil, por se encontrar em
291 uma zona com uma vasta proporção florestal e com clima tropical, tende a ser mais vulnerável
292 às variações climáticas (Fearnside, 2008). Isto se deve ao fato de que nessas regiões existe uma
293 vasta biodiversidade adaptada a condições ambientais específicas relacionadas ao clima atual.
294 Consequentemente, isso se torna um risco a todos os biomas presentes na região, ainda mais
295 quando se ressalta que nessa região se encontram-se dois dos maiores *hotspots* de
296 biodiversidade existentes, a Mata Atlântica e o Cerrado. Este último compõe uma das maiores
297 floras vegetais do mundo e, é responsável por uma vasta quantidade de nascentes hidrográficas
298 da América do Sul e abastecer grande parte do Brasil (Myers *et al.* 2000; Mendonça *et al.*, 1998;
299 Román-Palacio & Wiens 2020; Urban, 2015).

300 O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil em extensão, sua vegetação já ocupou
301 aproximadamente 2 milhões de km², correspondendo a 20% do território brasileiro (Maroni,
302 2006). Entretanto, acredita-se que mais de 50% do bioma já tenha sido convertido para locais
303 mais adequados para a agricultura e pecuária (Klink e Machado 2005; Klink e Moreira, 2002;
304 Sano, 2008). Portanto segundo algumas estimativas, o Cerrado se encontra na relação dos 17
305 ecossistemas mais degradados do planeta, precisando imediatamente de medidas que
306 compatibilizem com a sua manutenção e proteção de sua diversidade biológica (Conservation
307 International, 2005; <http://www.conservation.org.br>; Myers *et al.*, 2000). O bioma ainda
308 abrange uma das mais diversas e maiores floras vegetais do país, com aproximadamente dez
309 mil espécies vegetais (Myers *et al.*, 2000; Strassburg *et al.* 2017).

310 Dentro desse notável número de espécies vegetais que compõem a flora do Cerrado,
311 destaca-se a presença de uma quantidade significativa de espécies com potencial medicinal.

312 Essas plantas não apenas ampliam a diversidade biológica do bioma, mas também oferecem
313 uma gama de recursos que podem ser explorados para benefício da saúde humana. A cultura
314 medicinal que é passada de geração a geração, é um forte aliado ao desenvolvimento da humano
315 e suas práticas baseadas no conhecimento tradicional, se torna um grande aliado a produção de
316 remédios caseiros, banhos, benzimentos, dietas alimentares, orações, entre outros (Dias 2009
317 & Vieira *et al.*, 2018)

318 Apesar do extenso uso das plantas medicinais na região do Cerrado, seja para fins
319 alimentícios, medicinais, aromáticos ou ornamentais, poucos estudos etnobotânicos têm sido
320 produzidos envolvendo as espécies de plantas medicinais do bioma Cerrado mais utilizadas.
321 Portanto, avaliar como a distribuição dessas as espécies medicinais se comportarão frente às
322 mudanças climáticas é imprescindível. As informações provenientes da medicina popular,
323 tornam possíveis a exploração das espécies de forma sustentável, garantindo tanto a
324 conservação do bioma quanto a aquisição de recursos do cerrado. Nessa perspectiva interação
325 homem e ambiente, a medicina tradicional e cultural oferece uma contribuição ímpar à
326 Humanidade. Essa contribuição se deve a uma gama de conhecimentos culturais e práticas
327 médicas de caráter empírico que são baseados na experiência, prática e observação,
328 influenciadas pelo contexto sociocultural, econômico e físico, no qual encontram-se inseridos
329 (Camargo, 1976).

330 Apesar da evidente importância em se conservar o Cerrado, o entendimento acerca da
331 distribuição das espécies é limitado pela lacuna no conhecimento acerca da sua distribuição no
332 espaço geográfico, o chamado déficit Wallaceano (Whittaker *et al.*, 2005). Assim, no sentido
333 de contornar este problema, os modelos de distribuição de espécies (MDE) tem sido
334 amplamente utilizada para se prever a distribuição potencial de espécies. Os MDEs têm sido
335 desenvolvidos de forma significativa nos últimos anos devido à disponibilidade de dados
336 climatológicos e ecológicos, em conjunto com a facilidade de acesso a sistemas de informação
337 geográfica, e o maior poder computacional (Paglia *et al.*, 2012).

338 Os MDEs são construídos a partir de dados de ocorrências e variáveis ambientais
339 amplamente disponíveis. Estes métodos são gerados a partir da correlação entre os registros e
340 as informações climáticas de onde as espécies ocorrem, gerando um ambiente multivariado que
341 é projetado para áreas desconhecidas. Nestas áreas, assume-se que haja condições similares e
342 favoráveis a ocorrência das espécies modeladas. Os MDEs têm sido utilizados para: (i) conhecer
343 a situação de reservas naturais para que haja um possível melhoramento nas condições de

344 manejo, (Nóbrega & de Marco 2011; Gallon & Leroy *et al.*, 2014), (ii) criação e priorização de
345 novas unidades de conservação, (Nóbrega & de Marco 2011), (iii) guiar pesquisas de maneira
346 mais eficiente como monitoramento de espécies, priorização de áreas para conservação e
347 pesquisas de biodiversidade, (Paglia *et al.*, 2012, Werneck *et al.*, 2012; Bonnacorso *et al.*, 2006),
348 (iv) prever os efeitos de mudanças climáticas globais, (vi) indicar áreas para a restauração de
349 habitats, (vi) reintrodução de espécies ou auxiliar no manejo de espécies invasoras (Paglia *et*
350 *al.*, 2012; Bellard *et al.*, 2013; Werneck *et al.*, 2012; Bonnacorso *et al.*, 2006).

351 Neste contexto, este trabalho tem como objetivo examinar de que maneira as mudanças
352 climáticas podem afetar tanto a diversidade potencial de espécies de plantas medicinais no
353 cerrado quanto a área geográfica em que essas espécies podem ser encontradas. (riqueza
354 potencial e tamanho da distribuição). Especificamente, será avaliada como o tamanho da
355 distribuição, os centroides de distribuição das espécies e os padrões de riqueza das espécies
356 serão potencialmente alterados em respostas às mudanças climáticas globais previstas para o
357 futuro próximo de 2060.

358

359 **2. Material e Métodos**

360 **2.1 Dados das espécies**

361 Um passo-a-passo de cada decisão metodológica considerada neste trabalho está
362 descrito na Figura 1. Para coleta das ocorrências foi realizado uma busca em diferentes fontes
363 de dados *online*. Acessamos os registros das espécies medicinais catalogadas nas bases *Global*
364 *Biodiversity Information Facility* – GBIF (<https://www.gbif.org/>; números doi de cada espécie
365 disponíveis no material suplementar), Portal da Biodiversidade – PortalBio
366 (<https://portaldabiodiversidade.icmbio.gov.br/portal/>), Sistema de Informação Distribuído para
367 Coleções Científicas – speciesLink (<http://splink.cria.org.br/>); e Reflora – Flora e Funga
368 (<http://reflora.jbrj.gov.br>). Para a seleção das espécies dois trabalhos base foram utilizados:
369 *Farmacopeia Popular do Cerrado* (Dias, 2009) e *Recursos genéticos de plantas medicinais do*
370 *cerrado: Uma compilação de dados* (Vieira *et al.*, 2000).

371 Estas publicações levaram consideração dois fatores impactantes na pesquisa sobre
372 medicina natural: o contexto cultural e o aspecto comercial. Estes quesitos ressaltam a
373 importância da valorização dos conhecimentos culturais e valorizam a biodiversidade
374 promovendo benefícios médicos e econômicos. Inicialmente, a coleta de dados abrangeu 124
375 espécies. Entretanto, após uma segunda filtragem que priorizou espécies nativas do Brasil,

376 resultou em 110 espécies nativas do país. Sabendo que o uso de registros duplicados ou
377 inconfiáveis pode causar um enviesamento dos modelos produzidos (Foody, 2011), uma vez
378 que a qualidade dos modelos é diretamente relacionada com a confiabilidade dos registros
379 utilizados (Beck *et al.*, 2014; Fourcade *et al.* 2014). Assim, foram removidos registros com
380 coordenadas geográficas repetidas, alocados em centroides de cidades e aqueles encontrados
381 fora da extensão deste estudo (América do Sul) ou com georreferência nos oceanos.

382 Importa ressaltar que, apesar de serem reconhecidas culturalmente por suas
383 propriedades medicinais, a presença dessas plantas fora da América do Sul não necessariamente
384 indica imprecisão, visto que indivíduos dessas espécies podem ter sido transplantados para
385 outros continentes com fins medicinais ou alimentícios. Da mesma maneira, acreditamos que
386 haja uma influência humana considerável na dispersão de várias ocorrências das espécies por
387 nós modeladas neste trabalho. Apesar deste efeito nos modelos de distribuição final das poder
388 ser discutível, não havia nenhuma maneira de controlar a inclusão de ocorrências que tivessem
389 tido sua distribuição direta ou indiretamente influenciadas pelas atividades humanas. Havia um
390 total de 367.704 mil ocorrências no início do tratamento das mesmas. Contudo, ao eliminar
391 registros com coordenadas ausentes ou incorretas, o número foi reduzido para 119.616 mil
392 ocorrências válidas (Figura 1A). Optou-se por remover as ocorrências duplicadas
393 geograficamente para todas as espécies considerando que a qualidade desses modelos está
394 intrinsecamente ligada à confiabilidade dos dados utilizados (Beck *et al.*, 2014; Fourcade *et al.*,
395 2014), dada a influência negativa de registros duplicados ou não confiáveis na precisão dos
396 modelos gerados (Foody, 2011). Para isso, criou-se uma grade de células de 10 km e selecionou-
397 se uma única ocorrência por espécie em cada célula, utilizando o pacote ENMTML (Andrade;
398 Velazco; De Marco Junior, 2020). Ao final, após a exclusão das duplicações, restaram 55.879
399 mil ocorrências e 109 espécies com pelo menos 10 registros únicos de ocorrência.

400

401 **2.2 Variáveis ambientais**

402 Para se produzir a distribuição das plantas utilizamos uma combinação das 19 variáveis
403 bioclimáticas do sítio do WorldClim (<http://www.worldclim.org>) e 30 variáveis relacionadas às
404 propriedades físicas e químicas do solo do sítio do SoilGrids
405 (<http://www.isric.org/data/soilgrids>), totalizando inicialmente 49 variáveis ambientais
406 (resolução de 8 km). Combinamos variáveis climáticas e edáficas porque tal combinação event
407 ualmente melhora o desempenho do modelo de espécies vegetais e torna a projeção do

408 modelo futuro mais confiável (Beauregard; Blois, et al., 2014; Velazco *et al.*, 2017; Hulshof;
409 Spasojevic *et al.*, 2020).

410 As variáveis foram padronizadas subtraindo o valor individual de cada célula na
411 variável pela média geral dos valores de células desta variável e, em seguida, dividindo o
412 resultado pelo desvio padrão. Assim, os valores obtidos tinham uma padronização de desvio
413 padrão igual a $|1|$ e média igual a zero (transformação z). Assim, todas as variáveis teriam a
414 mesma média e desvio padrão, não influenciando os modelos produzidos de maneira desigual.
415 Em seguida foi realizado uma análise de componentes principais (PCA), para que assim fossem
416 selecionadas apenas os componentes principais (CPs) ortogonais/independentes especializados
417 de maior representatividade. Foram selecionados nove CPs resultantes do cenário presente, que
418 explicaram 95% da variação dos dados originais (Tabela Suplementar 1; Figura 1C), pois estes
419 foram responsáveis pela maior variação ambiental do modelo produzido (Jiménez-Valverde et
420 al. 2011). A estrutura original das variáveis climáticas no presente foi mantida em todos os
421 cenários futuros após a PCA, de maneira a garantir a manutenção de dependência entre o
422 cenário presente e os cenários futuros. A padronização das variáveis e escolha dos componentes
423 principais impede que certas variáveis pesem na decisão dos modelos em relação as demais, o
424 que é conhecido por causar um enviesamento nos modelos produzidos (Hirzel; Arlettaz, 2003).

425 Os modelos climáticos de circulação global são considerados as principais ferramentas
426 para estudos de mudanças climáticas, eles possibilitam analisar as projeções para as mudanças
427 climáticas do século 21 e os efeitos potenciais dessas mudanças em escalas global e regional
428 (Su *et al.* 2013; Bannister *et al.* 2017). Os modelos climáticos de circulação global permitem
429 de prever mudanças climáticas futuras e levam em consideração diversos fatores externos de
430 emissão de gases de efeito estufa. Logo existem diferentes decisões socioeconômicas capazes
431 de interferir no resultado de emissões ao longo do século, como por exemplo a matriz energética
432 utilizada economicamente pela sociedade atual e futura. Os diferentes modelos produzidos com
433 base nesses parâmetros são chamados de “*Shared Socioeconomic Pathways*” (SSP) cada
434 cenário oferece uma visão diferente de como nossas escolhas podem afetar as mudanças
435 climáticas e o desenvolvimento global. Usamos três cenários de emissão (SSPs): otimista (126),
436 intermediário (245) e crítico (585) para oito modelos de circulação atmosfera-oceano: BCC-
437 CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR,
438 MIROC-ES2L, MIROC6, MRI-ESM2-0.

439

440 2.3 Modelagem de distribuição das espécies e avaliação dos modelos

441 A fim de se controlar a autocorrelação espacial entre os registros, particionamos as
442 ocorrências das espécies em subconjuntos. Para isso, os dados foram divididos em dois
443 subconjuntos, chamados de treino e teste, levando-se em consideração um padrão conhecido
444 como mesa de damas ou “checkerboard”. Primeiramente o subconjunto treino composto por
445 50% dos dados das espécies foi utilizado para a produção da distribuição preditiva das espécies
446 dos modelos. Posteriormente, o segundo subconjunto foi usado para testar os modelos
447 produzidos pelo subconjunto anterior. Em seguida, os conjuntos anteriormente utilizados como
448 “teste” foram utilizados para se produzir as distribuições potenciais das espécies, enquanto os
449 conjuntos previamente utilizados como “treino” foram utilizados para avaliação das
450 distribuições produzidas em um segundo momento. Na produção final dos mapas, todos os
451 pontos de ocorrência foram utilizados em um modelo final para cada método em cada cenário.
452 Esse método promove a partição geográfica dos dados em quadrículas semelhante a um
453 tabuleiro de xadrez e tem sido reconhecido com a melhor forma de treinar e avaliar modelos de
454 distribuição de espécies (Bahn & McGill 2013; Roberts et al. 2017; Figura 1B). Também foi
455 utilizado o limiar que maximiza a soma da sensibilidade e especificidade, quantificando os erros
456 de omissão e comissão, para assim determinar a distribuição, produzindo então previsões mais
457 precisas que melhor representam os ajustes de distribuição das espécies (Allouche *et al.* 2006).

458 A avaliação dos modelos produzidos foi feita utilizando-se a métrica Jaccard para
459 validação dos modelos. Está métrica varia de 0 até 1, sendo que valores próximos a 1 são
460 considerados ideais e valores iguais ou menos que 0.5 são considerados iguais ao acaso. O uso
461 desta métrica ocorreu por considerar apenas presenças e por não ser afetado pela prevalência
462 (Leroy *et al.* 2018).

463 Todo o procedimento de modelagem foi realizado no ambiente R versão 4.2.3 para o
464 qual foi utilizado o pacote desenvolvido por Andrade *et al.* (2020) para criação de modelos de
465 nicho ecológico. Foram utilizados quatro métodos de modelagem para criação dos modelos,
466 sendo eles: *Random Forest* (Breiman, 2001), *Generalized Linear Models* (Nelder &
467 Wedderburn, 1972) *Boosted Regression Tree* (Friedman, 2001) e *Maximum Entropy with*
468 *quadratic and linear* (Anderson *et al.* 2011). Os modelos finais produzidos para cada espécie
469 consideraram um método de consenso por média ponderada, utilizando os valores individuais
470 do índice de similaridade de Jaccard de cada espécie em cada método de modelagem para
471 ponderar a representatividade de cada algoritmo no modelo final produzido para cada cenário

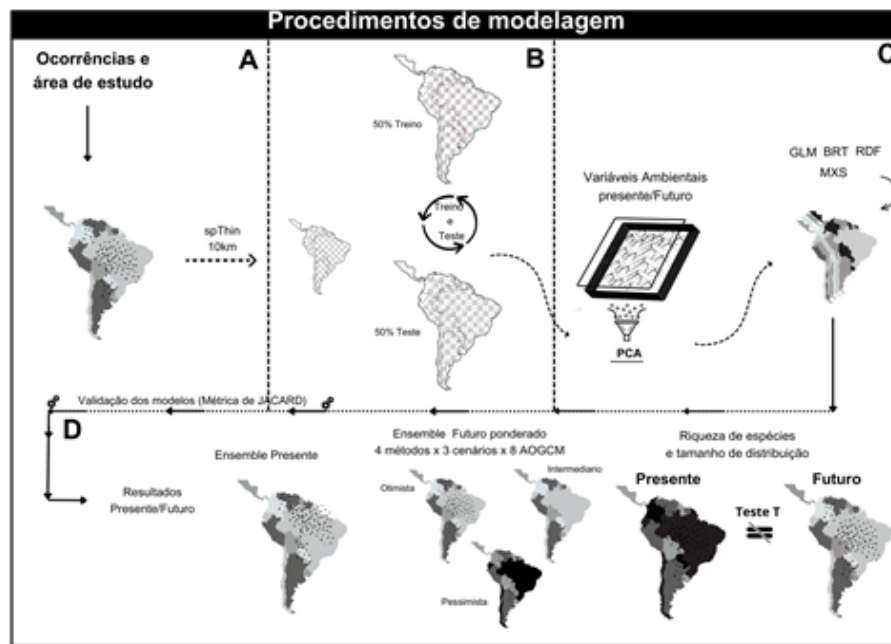


472 (Thuiller *et al.* 2009).

473 Utilizamos testes t dependentes para avaliar se o tamanho de distribuição das áreas
474 adequadas para as plantas se alterou do presente em relação a cada um dos três cenários
475 climáticos futuros considerados. Adicionalmente, utilizamos correlações de Pearson para
476 mostrar a diferença entre as distribuições das espécies entre o presente e cada um dos cenários
477 futuros (Figura 1D). Também foi calculada a quantidade de áreas estáveis, em expansão e em
478 perda para cada espécie considerando o cenário atual como referência para cada cenário futuro.
479 Adicionalmente, o pacote letsR (Vilela e Villalobos, 2015; função *lets.midpoint*) foi utilizado
480 para calcular o centroide geográfico das distribuições de cada espécie nos cenários presente e
481 futuros. Nesta análise, o valor de centroide zero corresponde à quantidade de graus de latitude
482 do centroide atual. Espécies que eventualmente se direcionaram para o norte apresentaram
483 incremento na quantidade de graus latitudinais em relação ao centroide do presente. Por outro
484 lado, espécies cujo centroide espacial se deslocou para o sul, tiveram a diminuição na
485 quantidade de graus latitudinais em relação ao presente.

486 Por fim, também foi calculada a perda de riqueza de espécies do cenário presente para
487 cada um dos cenários futuros analisados no trabalho. Para tanto, as predições consenso de cada
488 espécie em cada cenário foi somada para a produção da riqueza de espécies somadas de
489 espécies. Em seguida, foi feita a subtração do mapa do presente de cada um dos mapas de
490 futuros de riqueza de espécies, para se determinar áreas em que houve perda ou ganho de
491 espécies em cada cenário futuro, em comparação com o cenário presente.

492



493 **Figura 1.** Fluxograma de todos os procedimentos de modelagem realizados neste estudo. (A) Ocorrências das
494 espécies, área de estudo e desbaste das ocorrências; (B) e (C) seleção das variáveis ambientais, seguido pela PCA
495 e procedimento de treino e teste, (C) ensemble dos algoritmos, (D) resultados contendo ensembles, distribuição e
496 mapa de riqueza de espécies.

497

498 3. Resultados

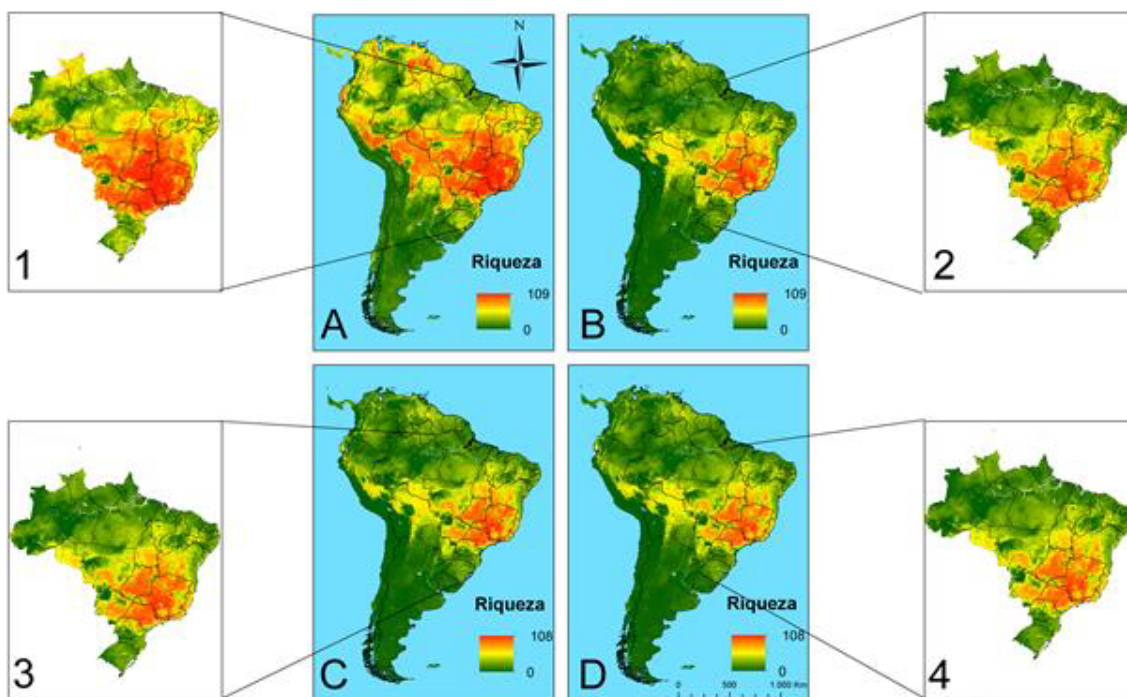
499 Após a aplicação dos métodos de filtragem de ocorrências, o número de registros únicos
500 para as espécies variou entre 10 e 3.539. Assim, apenas 109 espécies, que continham ao menos
501 10 registros únicos de ocorrência foram utilizados considerando-se a resolução espacial de 8
502 km. A espécie *Renealmia exaltata* (L. f., 1971) não entrou para os procedimentos de modelagem
503 por não conter 10 ocorrências únicas.

504 Os modelos apresentaram valores médios de Jaccard excelentes ($0.94 \pm 0,04$; média \pm
505 desvio padrão). No cenário presente, é possível notar que há espécies com distribuição muito
506 ampla como *Aristolochia trilobata* (L., 1753), *Bulbostylis capillaris* ((L.) Kunth, 1893),
507 *Desmodium uncinatum* ((Jacq.) DC, 1825), *Dorstenia brasiliensis* (Lam. 1786), *Hymenaea*
508 *stigonocarpa* (Mart., 1830), *Psidium guineense* (Sw., 1788), *Smilax campestris* (Griseb., 1842)
509 e *Tapirira guianensis* (Aubl., 1775) (Tabela 1). Por outro lado, algumas espécies que já se
510 encontram em situação de vulnerabilidade no quesito distribuição no cenário presente ficam em
511 situação ainda mais crítica ainda nos cenários futuros. Por exemplo, apenas 2,5% da distribuição
512 de *Austroplenckia populnea* ((Reissek) Lundell, 1939) restou no pior cenário futuro (ssp545).
513 Neste mesmo cenário, as distribuições de *Campomanesia pubescens* (O. Berg., 1854) (apenas

514 24%), *Cestrum sendtnerianum* (Mart. 1846) (apenas 22%), *Eriosema glabrum* (Mart.,1849)
515 (apenas 9%), *Eugenia kunthiana* (DC. 1828) (apenas 13%), *Eugenia lívida* (O. Berg., 1859)
516 (apenas 4,5%), *Gomphrena officinalis* (Mart., 1823) (apenas 11%), *Heteropterys aphrodisiaca*
517 (O. Mach) (apenas 8%), *Hymenaea stigonocarpa* (Mart., 1830) (apenas 5%), *Ipomoea gigantea*
518 (Silva Manso (Benth. & Hook.), 1845) (apenas 5%), *Jacaranda caroba* (Vell., 1845) (apenas
519 17%), *Macrosiphonia velame* (A. St.-Hil., 1860) (apenas 10%), *Mikania smilacina* (DC., 1836)
520 (apenas 0,7%), e *Vernonia barbata* (Less., 1829) (apenas 6 %) também tiveram perdas
521 consideráveis em suas distribuições.

522 De uma maneira geral, foram detectadas áreas adequadas para as espécies em quase toda
523 a América do Sul no presente. Países como Brasil, Bolívia, Venezuela, Equador e Peru tiveram
524 maior quantidade de áreas adequadas para as espécies modeladas no presente. Já nos cenários
525 ssp126, ssp245 e ssp585 é possível se observar que apenas o Brasil se manteve
526 predominantemente com áreas adequadas para a ocorrência das espécies nos cenários futuros.
527 Contudo, ao se observar o cenário otimista e seguindo para o cenário pessimista (Figura 2), essa
528 realidade torna-se mais crítica levando a um possível futuro com reduções drásticas para a
529 existência das espécies, podendo levar algumas plantas a situações críticas como possível
530 extinções (Tabela 1; Figura 3).

531
532 **Figura 2.** Mapa de distribuição e riqueza de espécies. A) Mapa de riqueza no presente, 1) Recorte para

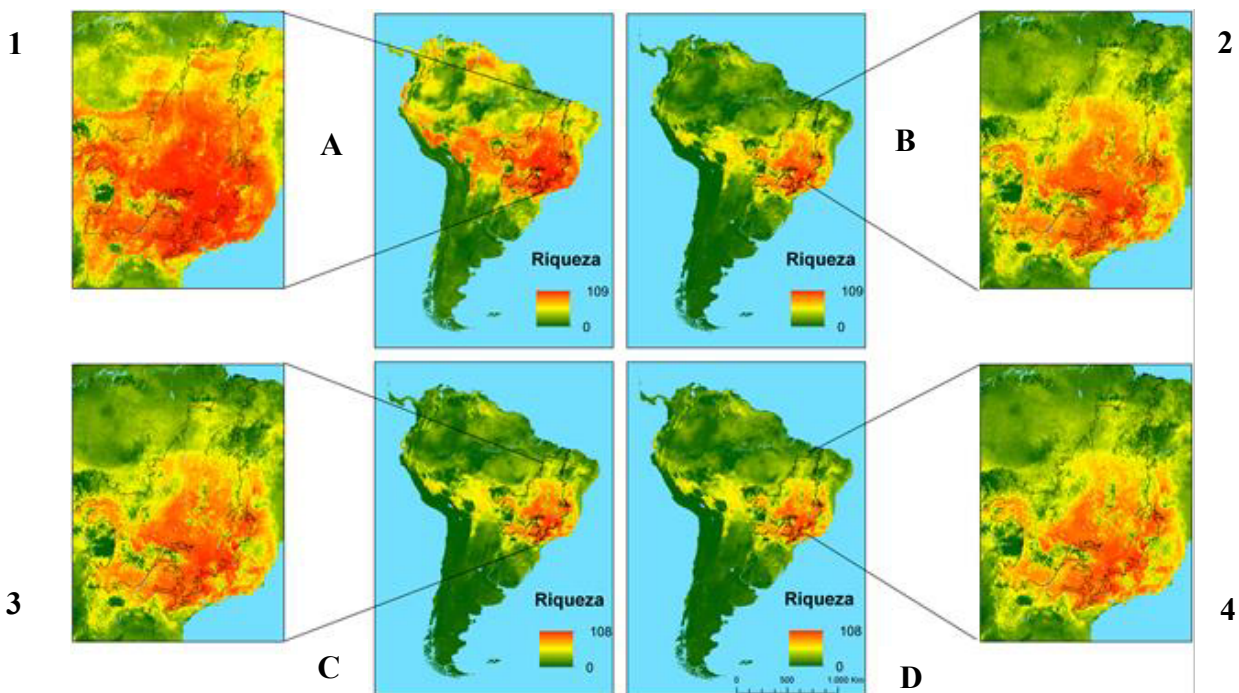


533 o Brasil no presente, B) Mapa de riqueza para o futuro otimista ssp126, 2) Recorte para o Brasil no

534 futuro otimista ssp126, C) Mapa de riqueza para o futuro intermediário ssp245, 3) Recorte para o Brasil
535 no futuro intermediário ssp245, D) Mapa de riqueza para o futuro pessimista 585, 4) Recorte para o
536 Brasil no futuro pessimista ssp585.

537

538 No Brasil, o Cerrado foi o bioma com maior incidência de ocorrências das espécies,
539 consequentemente o de maior distribuição potencial. Os estados brasileiros com maiores
540 representatividades de range foram, Goiás, Minas Gerais, Bahia, São Paulo, Mato Grosso e
541 Mato Grosso do Sul (Figura 3).



542 **Figura 3.** Mapa de distribuição e riqueza de espécies. A) Mapa de riqueza no presente, 1) Recorte para
543 o Cerrado no presente, B) Mapa de riqueza para o futuro otimista ssp126, 2) Recorte para o Cerrado
544 no futuro otimista ssp126, C) Mapa de riqueza para o futuro intermediário ssp245, 3) Recorte para o
545 Cerrado no futuro intermediário ssp245, D) Mapa de riqueza para o futuro pessimista 585, 4) Recorte
546 para o cerrado no futuro pessimista ssp585.

547

548 Em média o tamanho geral da distribuição das espécies foi significativamente maior no
549 presente em comparação com as distribuições futuras, que diminuiu gradativamente com os
550 possíveis cenários futuros. Aproximadamente 50% da distribuição das espécies no cenário
551 otimista é perdida em comparação com o do presente. No cenário intermediário, há a perda de
552 média de 62% da distribuição. Já no cenário mais crítico (pessimista), houve uma queda ainda
553 maior,

554 de 64% em relação às áreas atuais (Figura 4)

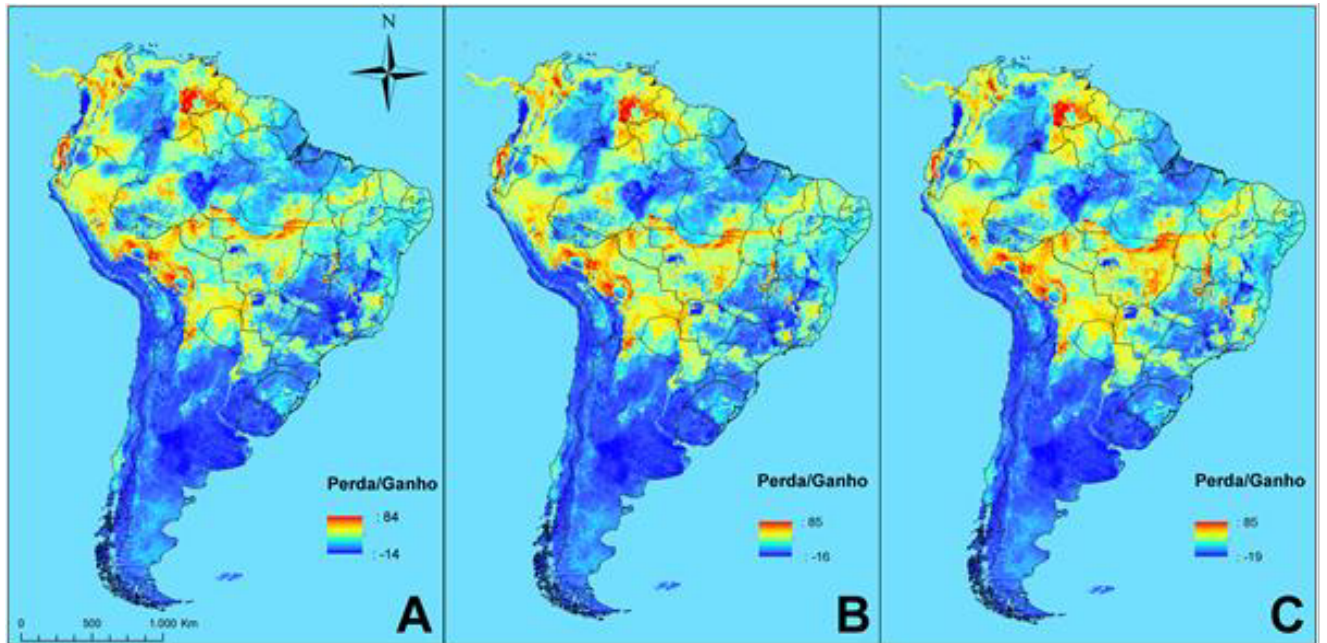


Figura. 4 Mapa de perda e ganho de riqueza de espécies em comparação com o cenário presente. A) Presente menos cenário ssp125; (B) Presente menos cenário ssp245; (C) Presente menos cenário ssp545. Segundo este mapa, locais com valores vermelhos significam que houve aumento no número de espécies no cenário futuro em comparação com o cenário presente. Por outro lado, valores azuis significam que houve diminuição no número de espécies em relação ao cenário futuro considerado.

555

556

557

558

559

560

561

562

563

As distribuições das espécies no presente foram significativamente maiores no cenário presente do que cada um dos cenários futuros, de acordo com os resultados dos testes t (presente vs. ssp126: $t_{106} = 23.358$, $p < 0.05$; presente vs. ssp245: $t_{106} = 23.537$, $p < 0.05$; presente vs. ssp585: $t_{106} = 23.953$, $p < 0.05$). As correlações entre as distribuições no presente e cada um dos cenários futuros também indicaram resultados semelhantes (diminuição das distribuições futuras em comparação com a distribuição presente) e podem ser observadas na (Figuras 5 A–C).

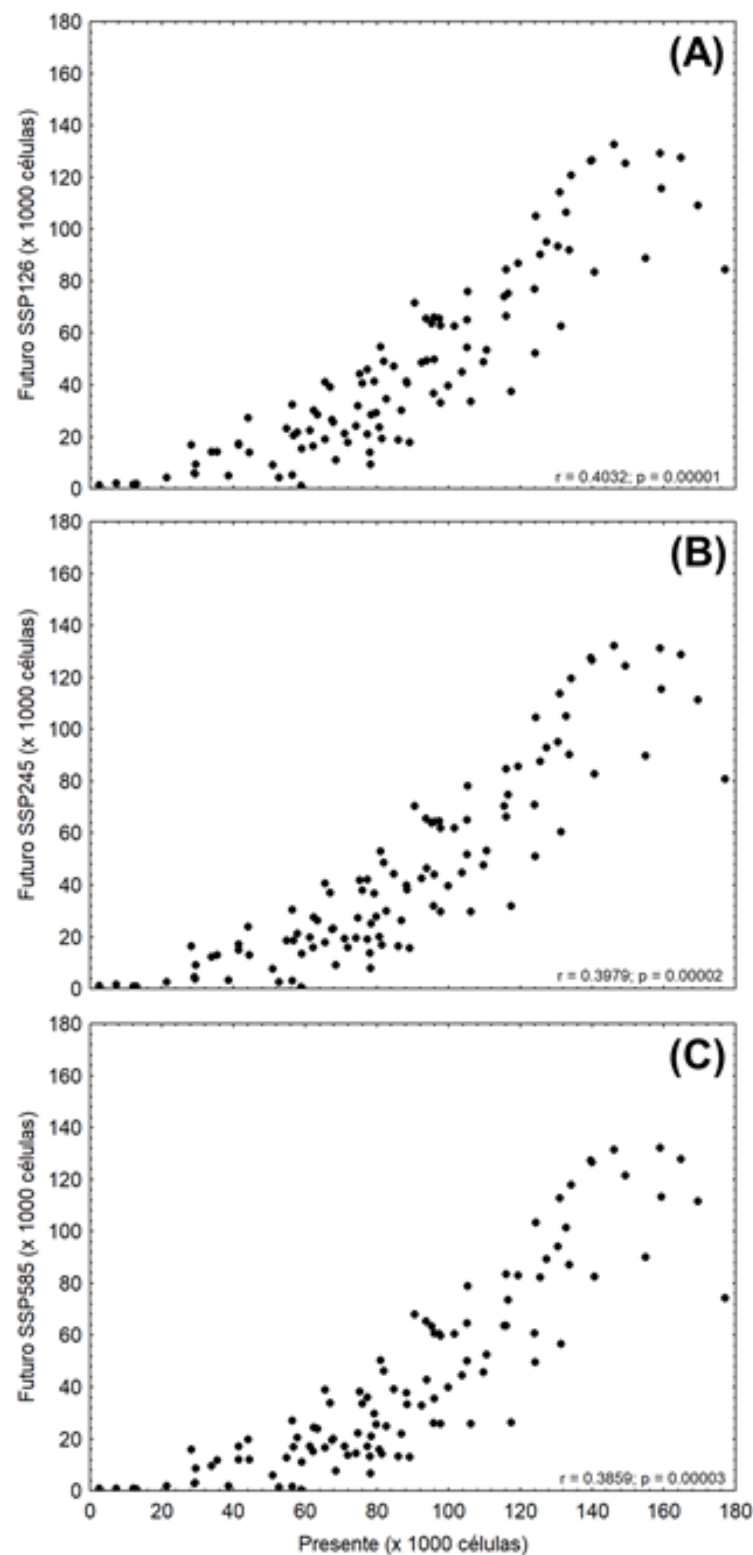


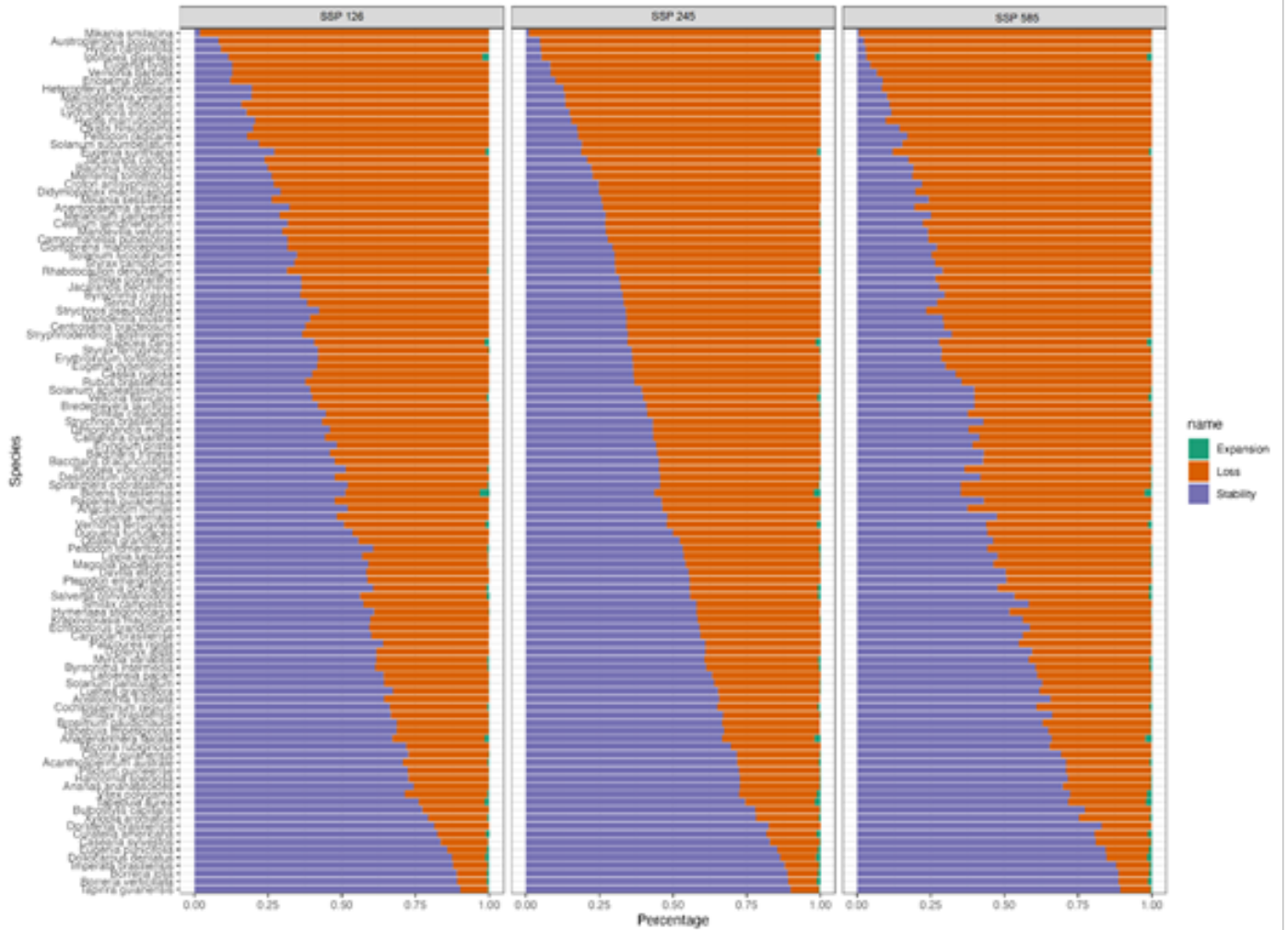
Figura 5. Correlações de Pearson do tamanho da distribuição das espécies no presente e em cada um dos cenários futuros. A) ssp126; B) ssp245; C) ssp585.

564

565

De modo geral, diversas espécies mostraram uma conservação de áreas estáveis (Figura

566 6). No entanto, algumas evidenciaram uma notável diminuição no futuro dessas áreas quando
567 comparadas ao cenário atual. Apesar dessas variações, é possível observar, de maneira geral,
568 um deslocamento dos centroides de distribuição geográfica de muitas espécies para o norte, em
569 direção à linha do Equador (Figura 7).



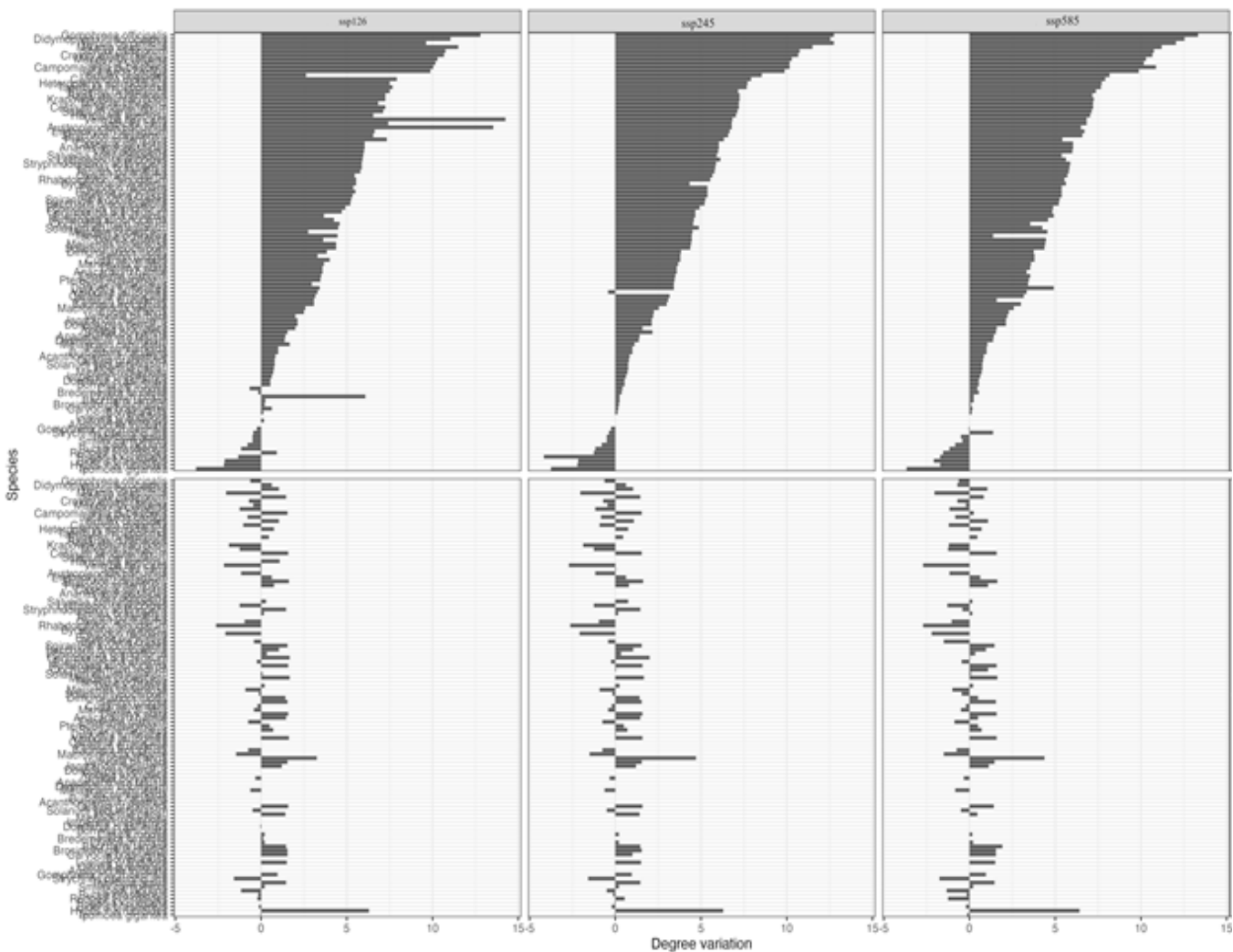
570 **Figura 6.** Distribuição individual de cada especie. Em roxo são as areas em que as especies
571 individualmente se mantiveram estaveis, em vermelho o quanto cada especie perdeu de range em cadaa
572 cenario, e na cor verde, o quanto cada especie ganhou de area nos cenarios futuros em comparação com
573 presente.

574

575 Portanto é importante ressaltar que os centroides dessas espécies estão se deslocando
576 para outras regiões aos quais não são nativas (Figura 7); podendo levar ao desequilíbrio
577 ecológico dessas regiões. Espécies savânicas tem características evolutivas, de alto poder de
578 resistência a diferentes condições, o que acaba favorecendo sua manutenção em áreas mais
579 quentes. Um dos ambientes aos quais as espécies estão se direcionando é a floresta amazônica,

580 e essa mudança de nicho é muito facilitada pela desertificação que vem ocorrendo devido ao
581 desmatamento ilegal. Esse processo colabora para a criação de áreas antes não adequadas em
582 ambientes propícios a sua ocorrência.

583 Considerando-se a perda de distribuição adequada para estas espécies nos futuros em
584 comparação com o presente, é importante se ressaltar que também houve uma perda de riqueza
585 de espécies entre o presente e cada um dos três cenários futuros (Figura 4). De uma maneira
586 geral, espera-se perda de espécies na área central da Amazônia, sudeste, sul e sudoeste da
587 América do Sul em comparação com o cenário presente. Entretanto, também se observa que
588 algumas áreas na região central do continente e próximo aos Andes podem se tornar
589 climaticamente adequadas para estas espécies no continente sul-americano.



590
591 **Figura. 7.** Deslocamento dos centroides de cada espécie, nos diferentes cenários futuros, as
592 espécies que se deslocam para o lado direito, estão sentido norte, as que estão sentido esquerdo,



593 estão se deslocando para a região sul.

594

595 **3. Discussão**

596 Neste trabalho, 109 espécies de plantas medicinais foram modeladas nos cenários
597 presente e futuro (e.g., cenários otimista, intermediário e otimista) para o ano de 2060.
598 Observou-se uma ampla distribuição de algumas espécies no cenário atual, enquanto algumas
599 espécies, aparentemente poderão se tornar vulneráveis visto que enfrentam reduções críticas
600 em suas distribuições nos cenários futuros. O tamanho médio da distribuição espacial das
601 espécies diminuiu gradativamente nos cenários futuros, resultando em perdas significativas de
602 área adequada. Também se observou uma perda de riqueza de áreas adequadas para espécies de
603 plantas medicinais na América do Sul, especialmente em áreas centrais da Amazônia, sudeste,
604 sul e sudoeste. No entanto, algumas áreas próximas aos Andes podem se tornar climaticamente
605 adequadas para essas espécies no futuro. Também observamos que os centroides espaciais da
606 distribuição das espécies tendeu a se deslocar para latitudes mais ao norte, em direção às áreas
607 que tenderão a se tornar mais quentes no futuro.

608

609 **Tabela 1.** Espécies de plantas com potencial medicinal nativas do Brasil modeladas neste
610 trabalho. Na tabela são apresentados valores de estatística Jaccard, tamanho da distribuição (\times
611 1.000 células) no presente e nos três possíveis cenários [otimista (ssp126), intermediário
612 (ssp245) e pessimista (ssp585)].

Espécie	Jaccard	Presente	ssp126	ssp245	ssp585
<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) Kuntze	0.963	130.478	93.359	95.123	94.159
<i>Anacardium humile</i> A. St.-Hil.	0.977	79.202	41.346	36.838	29.704
<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg	0.980	93.621	65.458	65.553	65.228
<i>Ananas ananassoides</i> (Baker) L.B. Sm.	0.975	127.315	95.088	92.870	89.251
<i>Anemopaegma arvense</i> (Vell.) Stellfeld	0.958	74.134	24.031	19.505	14.570
<i>Aristolochia trilobata</i> L.	0.845	169.521	109.277	111.425	111.569
<i>Austroplenckia populnea</i> (Reissek) Lundell	0.863	52.662	4.360	2.595	1.332
<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	0.971	88.172	41.461	39.934	37.666
<i>Baccharis trimera</i> (Less.) DC.	0.973	105.174	54.480	51.841	49.959
<i>Bauhinia holophylla</i> (Bong.) Steud.	0.960	71.899	17.936	16.007	13.824
<i>Bidens brasiliensis</i> Sherff	0.972	2.592	1.454	1.218	0.997
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Schum.	0.987	140.035	126.517	126.589	126.515
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G. Mey.	0.974	139.585	126.300	127.536	127.220
<i>Bredemeyera laurifolia</i> A. St.-Hil.) Klotzsch	0.841	124.187	52.207	51.069	49.632
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	0.979	95.985	66.158	64.253	60.599
<i>Bulbostylis capillaris</i> (L.) Kunth ex C.B. Clarke	0.971	164.745	127.579	128.733	127.941
<i>Byrsonima crassa</i> Nied.	0.941	56.730	20.458	18.685	16.904
<i>Byrsonima intermedia</i> A. Juss.	0.973	105.100	65.149	65.156	64.676
<i>Calliandra dysantha</i> Benth.	0.975	109.641	48.789	47.636	45.690
<i>Campomanesia pubescens</i> (DC.) O. Berg	0.968	106.272	33.635	29.670	25.751
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	0.978	81.937	49.156	48.545	46.164
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	0.984	149.305	125.502	124.456	121.598
<i>Cassia rugosa</i> G. Don	0.894	35.527	14.222	13.006	11.879
<i>Centrosema bracteosum</i> Benth.	0.936	67.810	25.591	23.129	20.001
<i>Cestrum sendtnerianum</i> Mart.	0.918	117.487	37.415	31.840	26.403
<i>Clitoria guianensis</i> (Aubl.) Benth.	0.962	119.399	86.811	85.741	82.990
<i>Cochlospermum regium</i> (Mart. ex Schrank) Pilg.	0.956	97.419	65.528	64.535	60.357
<i>Croton antisiphiliticus</i> Mart.	0.966	77.367	20.890	19.096	17.051
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	0.983	110.555	53.490	53.247	52.524
<i>Curatella americana</i> L.	0.982	124.319	104.997	104.678	103.421
<i>Davilla elliptica</i> A. St.-Hil.	0.983	67.006	39.161	37.029	33.745
<i>Desmodium uncinatum</i> (Jacq.) DC.	0.977	177.129	84.483	80.833	74.192
<i>Didymopanax macrocarpus</i> (Cham. & Schltdl.)	0.957	80.735	23.552	20.126	15.953
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	0.960	88.381	40.590	38.125	33.418
<i>Dipteryx alata</i> Vogel.	0.975	101.581	62.772	62.020	60.412
<i>Doliocarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	0.967	134.224	120.758	119.562	117.793
<i>Dorstenia brasiliensis</i> Lam.	0.977	158.965	129.387	131.242	132.305
<i>Duguetia furfuracea</i> (A. St.-Hil.) Benth. & Hook. f.	0.976	75.908	40.727	37.942	33.612



<i>Echinodorus grandiflorus</i> (Cham. & Schltld.) Micheli	0.986	140.680	83.439	82.875	82.579
<i>Eriosema glabrum</i> Mart. ex Benth.	0.841	78.291	9.444	7.998	6.812
<i>Eryngium pristis</i> Cham. & Schltld.	0.880	62.336	30.164	27.573	24.374
<i>Erythroxyllum tortuosum</i> Mart.	0.962	33.938	14.243	12.278	9.709
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	0.963	82.536	34.449	30.045	24.741
<i>Eugenia kunthiana</i> DC.	0.810	7.387	2.109	1.485	0.966
<i>Eugenia livida</i> O. Berg	0.848	38.615	4.971	3.217	1.744
<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	0.986	130.952	114.282	113.827	112.754
<i>Gomphrena macrocephala</i> A. St.-Hil.	0.921	44.462	14.059	13.098	12.029
<i>Gomphrena officinalis</i> Mart.	0.946	68.538	10.977	9.191	7.640
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	0.979	116.103	84.503	84.689	83.448
<i>Heteropterys aphrodisiaca</i> O. Mach.	0.809	21.327	4.178	2.717	1.784
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	0.977	947.001	57.763	55.074	49.165
<i>Hyptis carpinifolia</i> Benth.	0.812	56.458	5.149	2.935	1.704
<i>Hyptis marrubioides</i> Epling.	0.915	29.192	6.021	4.481	2.873
<i>Imperata brasiliensis</i> Trin.	0.950	183.361	162.544	163.316	163.601
<i>Ipomoea gigantea</i> (Silva Manso) Choisy	0.691	12.900	1.820	0.920	0.640
<i>Jacaranda caroba</i> (Vell.) DC.	0.966	81.312	19.342	16.959	14.129
<i>Jacaranda decurrens</i> Cham.	0.936	61.369	22.352	19.848	17.006
<i>Krapovickasia macrodon</i> (DC.) Fryxell	0.982	28.188	16.840	16.476	15.870
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	0.974	97.848	62.867	61.893	59.818
<i>Lippia lupulina</i> Cham.	0.967	56.393	32.313	30.453	27.161
<i>Luehea grandiflora</i> Mart.	0.980	81.035	54.713	52.984	50.308
<i>Lychnophora ericoides</i> Mart.	0.970	50.925	9.037	7.581	5.903
<i>Macrosiphonia velame</i> A. St.-Hil.) Müll. Arg.	0.857	29.360	5.702	3.897	2.986
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	0.974	77.267	45.995	42.147	35.979
<i>Mandevilla illustris</i> (Vell.) Woodson	0.972	67.487	26.467	23.029	19.616
<i>Mandevilla velutina</i> K. Schum.	0.923	70.948	21.157	19.328	17.013
<i>Melancium campestre</i> Naudin	0.954	65.622	18.959	17.759	16.538
<i>Merremia tomentosa</i> (Choisy) Hallier	0.972	58.971	15.446	13.402	11.062
<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	0.962	125.542	90.313	87.532	82.197
<i>Mikania sessilifolia</i> DC.	0.977	62.130	16.314	15.984	15.090
<i>Mikania smilacina</i> DC.	0.878	58.820	1.131	0.659	0.440
<i>Myrcia variabilis</i> DC.	0.933	65.588	41.137	40.504	38.911
<i>Oxalis hirsutissima</i> Mart. ex Zucc.	0.970	89.188	17.762	15.608	12.964
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	0.973	115.440	74.092	70.498	63.519
<i>Peltodon radicans</i> Pohl	0.956	77.971	13.953	13.828	13.290
<i>Peltodon tomentosus</i> Pohl	0.972	44.172	27.283	23.961	19.857
<i>Psidium guineense</i> Sw.	0.975	159.278	115.801	115.394	113.280
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	0.981	75.241	44.139	41.850	38.133
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	0.973	84.784	47.200	44.315	39.231
<i>Rapanea guianensis</i> Aubl.	0.954	131.375	62.584	60.500	56.549
<i>Rhabdocaulon denudatum</i> (Benth.) Epling	0.896	29.426	9.426	9.118	8.687
<i>Rubus brasiliensis</i> Mart.	0.972	57.887	21.832	21.371	20.508

<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	0.957	95.966	49.889	43.967	35.461
<i>Sabicea cana</i> Hook. f.	0.849	74.651	31.911	27.280	22.259
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	0.976	116.103	66.610	66.208	63.747
<i>Senna rugosa</i> (G. Don) H.S. Irwin & Barneby	0.975	95.859	36.838	31.940	26.066
<i>Smilax brasiliensis</i> Spreng.	0.963	95.293	63.585	63.934	63.359
<i>Smilax campestris</i> Griseb.	0.941	154.968	88.732	89.697	90.138
<i>Smilax cissoides</i> Mart. ex Griseb.	0.908	63.387	28.546	26.389	23.999
<i>Smilax polyantha</i> Griseb.	0.948	78.340	28.443	24.990	20.885
<i>Solanum aculeatissimum</i> Jacq.	0.924	99.914	39.585	39.605	39.995
<i>Solanum lycocarpum</i> A. St.-Hil.	0.963	86.854	30.200	26.228	21.961
<i>Solanum paniculatum</i> L.	0.980	116.582	75.211	74.737	73.455
<i>Solanum subumbellatum</i> Vell.	0.959	86.025	18.882	16.388	13.167
<i>Spiranthera odoratissima</i> A. St.-Hil.	0.965	92.391	48.609	42.505	32.869
<i>Strychnos brasiliensis</i> (Spreng.) Mart.	0.975	103.676	45.045	44.738	44.518
<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	0.948	54.794	23.188	18.653	12.856
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	0.954	79.885	29.228	27.728	25.692
<i>Styrax camporum</i> Pohl	0.980	97.778	33.196	29.626	25.960
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	0.976	41.495	17.469	15.026	12.023
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.	0.975	90.495	71.585	70.477	67.949
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl	0.969	133.696	91.916	90.347	87.231
<i>Tabebuia ochracea</i> (Cham.) Standl	0.960	123.906	76.930	70.857	60.609
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0.989	146.101	132.759	132.312	131.472
<i>Vellozia flavicans</i> Mart. ex Schult. f.	0.913	41.360	16.937	17.113	17.130
<i>Vernonia barbata</i> Less.	0.898	12.033	1.543	1.006	0.802
<i>Vernonia ferruginea</i> Less.	0.925	93.923	49.311	46.511	42.865
<i>Vitex polygama</i> Cham.	0.976	105.337	76.092	78.223	78.970
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	0.974	132.715	106.586	105.116	101.454

613

614 Nossos resultados apontam para a redução na distribuição das espécies medicinais na
615 área de estudo. Já se tem previsões que suportam tal cenário, com mudanças climáticas mais
616 aceleradas nas regiões tropicais como na América do Sul caracterizadas pelo aumento das
617 temperaturas e redução no padrão de precipitação (Colwell *et al.* 2008; Vasconcelos; do
618 Nascimento 2016). É importante ainda salientar que dentre os cenários analisados para o futuro,
619 o cenário mais esperado é o mais crítico possível. De acordo com alguns trabalhos que
620 prevenem um cenário muito mais quentado que o originalmente imaginado (e.g., Schwalm *et*
621 *al.* 2020; Steffen *et al.* 2018) dizem que, de acordo como se encontram nossas políticas e
622 atitudes atuais no presente, as perturbações serão inevitáveis, o cenário mais esperado é seja o
623 mais crítico possível (Peissimista), (ssp585) antigo (rcp8.5).

624 Também observamos que, de uma maneira geral, os centroides geográficos de muitas
625 das espécies modeladas se deslocaram em direção ao Equador. Considerando-se a teoria

626 macroecológica envolvida nas mudanças climáticas, esperava-se que as espécies tenderiam a
627 ter suas adequabilidades diminuídas em áreas próximas ao Equador, uma vez que estas regiões
628 são esperadas se tornarem mais quentes no futuro próximo em virtude das mudanças climáticas.
629 Uma hipótese para explicar este resultado é que as plantas com potencial medicinais,
630 ornamental, como muitas exóticas invasoras, cultural ou religioso apresentam características
631 que as tornam resilientes diante das mudanças climáticas (Zenni & Ziller 2011; Giraldi e
632 Hanazaki, 2010; Fulgêncio-Lima, 2021). Uma vez que já foram dispersas pela Humanidade no
633 passado, estas espécies já podem ter rompido barreiras biogeográficas naturais do passado,
634 possibilitando que elas tenham se adaptado a condições climáticas às quais não teriam acesso
635 natural. Como em nossos procedimentos metodológicos não foi possível controlar quais
636 ocorrências teriam sido introduzidas pelas atividades humanas e quais teriam se dispersado
637 naturalmente, o efeito da movimentação destas plantas facilitada pelos humanos pode, de certa
638 forma, explicar este resultado que é contrário ao que se esperaria considerando as teorias
639 macroecológicas abarcadas nas mudanças climáticas.

640 Além disso, as plantas do Cerrado, comparadas às espécies de outros biomas, são
641 adaptadas às condições climáticas extremas, superando desafios como o clima, fogo, e estresses
642 hídricos/nutricionais, aos quais outras espécies podem enfrentar (Scariot *et al.*, 2005). Essa
643 adaptabilidade pode ser atribuída à longa trajetória evolutiva dessas plantas com os variados
644 climas e solos presentes no cerrado, distinguindo por exemplo as diferentes fitofisionomias
645 encontradas no bioma. Esse processo de adaptação as garantem vantagens potenciais frente a
646 possíveis alterações ambientais . Portanto, a combinação de dispersão facilitada por atividades
647 humanas e a capacidade de adaptação torna as plantas medicinais do cerrado menos suscetíveis
648 aos impactos das mudanças climáticas, fortalecendo sua resiliência e importância no contexto
649 da biodiversidade.

650 A previsão de conversão de várias regiões de floresta tropical em savanas, impulsionada
651 pelas alterações climáticas e processos de desmatamento causados pelo homem (Oyama e
652 Nobre 2003; Soares-Filho *et al.* 2006; Malhi *et al.* 2008), pode levar à expansão geográfica
653 dessas espécies. Este processo possibilita a abertura de novos espaços ecológicos para essas
654 espécies. Mais especificamente, a área leste da Amazônia brasileira, conhecida como “arco de
655 desmatamento”, tem a possibilidade de se converter em uma vegetação de savana semelhante
656 ao cerrado, devido à diminuição das precipitações e a elevação da temperatura (Oyama e Nobre
657 2003; Malhi *et al.* 2008). Essas regiões, atualmente enfrentam projeções com estimativas de

658 perda de 40% de sua cobertura florestal até 2050, devido à expansão das práticas agropecuárias
659 (Fearnside e Philip, 2001; Soares-Filho *et al.* 2006; Malhi *et al.* 2008). O Cerrado atualmente
660 se encontra entre os biomas com menor proteção de suas áreas naturais, em um estudo levantado
661 por (Strassburg *et al.* 2017) revela que apenas 7,5% do bioma se encontra protegido. Uma outra
662 estimativa apontada pelos autores é a de que Entre 2002 e 2011, as taxas de desmatamento no
663 Cerrado foram 2,5 vezes maiores do que na Amazônia, e que até 2050, mais de 30% do cerrado
664 remanescente será perdido (Strassburg *et al.* 2017). Um ponto levantado no trabalho realizado
665 por (DE Marco JR *et al.* 2023) foi de que as regiões destinadas à preservação em propriedades
666 privadas podem desempenhar um papel crucial na aprimoração das paisagens favoráveis à
667 biodiversidade. Essa abordagem de preservação deve revelar-se particularmente eficiente em
668 áreas altamente ameaçadas e inadequadamente protegidas por terras públicas, como é o caso do
669 bioma Cerrado no Brasil.

670

671 As altas taxas atuais de desmatamento também têm o potencial de proporcionar
672 ambientes mais extensos e abertos (Escobar, 2019); facilitando assim a possível ampliação da
673 distribuição dessas espécies para a região central da Amazônia (Oyama e Nobre 2003; Malhi,
674 2008). Considerando-se a potencial savanização da floresta amazônica (Brienen *et al.* 2015), as
675 condições climáticas futuras deste bioma podem se tornar mais favoráveis ao estabelecimento
676 das espécies de plantas modeladas neste trabalho. Isto, de certa forma, explicaria o
677 deslocamento do centroide de distribuição destas espécies de plantas medicinais para o norte
678 do continente sulamericano, em regiões que devem se tornar mais quentes e secas comparadas
679 ao cenário de clima atual.

680 Apesar dos nossos resultados, é preciso se analisar criticamente os métodos de MDEs
681 utilizada neste estudo. Estes métodos são essenciais para preencher lacunas no conhecimento
682 sobre as espécies (Guisan & Thuiller 2005; Elith & Leathwick 2009). Por exemplo, com os
683 MDEs é possível indicar áreas para se concentrar esforços para obtenção de dados mais
684 adequadas para as espécies e desempenham um papel crucial na redução do Déficit Wallaceano
685 (Whittaker *et al.* 2005; Hortal *et al.* 2015). Contudo os modelos devem ser sempre questionados,
686 pois fatores como a simplificação de nicho ecológico, por usarmos variáveis apenas abióticas,
687 o quesito de ainda não haver variáveis de solo para o futuro ou a incerteza de alguns pontos de
688 ocorrências. Logo, é fundamental destacar a necessidade urgente de pesquisas de campo
689 (Wilson, 2017).

690 Contudo vale ressaltar que a aplicação de Modelos de Distribuição de Espécies (SDMs)
691 para prever a dispersão de organismos apresenta desafios significativos. A escolha apropriada
692 de algoritmos é de suma importância (Elith *et al.* 2006; Elith e Leathwick 2009; Loyola 2012).
693 Há também, alocação de pseudoausências durante a modelagem (VanDerWal *et al.* 2009;
694 Barbet-Massin *et al.* 2012), limiarização das matrizes de adequação (Liu *et al.* 2011) e
695 avaliações estatísticas (Allouche *et al.* 2006; Lobo *et al.* 2008; Muscarella *et al.* 2014), além de
696 possíveis vieses de ocorrência (Kramer-Schadt *et al.* 2014; Varela *et al.* 2014).

697 A modelagem de distribuição de espécies cujas barreiras biogeográficas de dispersão
698 são rompidas pela facilitação humana, como as plantas medicinais do cerrado, é um desafio em
699 MDEs, devido à sua ampla distribuição em diferentes condições ambientais (Tsoar *et al.* 2007;
700 Evangelista *et al.* 2008; Jarnevich *et al.* 2015). Nossos modelos apresentaram avaliações
701 consideradas excelentes, conforme indicado pela métrica de Jaccard nos nossos resultados. Isso
702 nos permite discutir que, modelos de distribuição de espécies são muito essenciais até mesmo
703 em casos de modelos com menor precisão, pois eles podem desempenhar um papel valioso
704 como ponto de partida para a identificação de áreas com potencial para futuras pesquisas de
705 campo. Estudos anteriores (Almeida *et al.* 2010; Silva *et al.* 2013) respaldam essa abordagem,
706 destacando a utilidade dos modelos mesmo quando menos precisos, pois ainda sim são
707 essenciais na geração de percepções iniciais.

708

709

710 **4. Conclusão**

711 Assim como objetivado, foi examinado de que maneira as mudanças climáticas
712 implicariam na diversidade e possíveis áreas geográficas em que essas espécies podem ser
713 encontradas no presente e em diferentes cenários futuros. Podendo concluir que frente às
714 mudanças climáticas as espécies estudadas nos possíveis cenários, o Brasil é ainda o país com
715 maior potencial de ocorrência das espécies e o cerrado é o local onde atualmente é encontrado
716 uma gama de ocorrências muito grande. Portanto nos cenários de mudanças climáticas perderá
717 áreas consideradas adequadas para ocorrências de suas espécies com potencial medicinal. Além
718 da perda de áreas de distribuição no futuro ao quais no cenário presente são consideradas
719 adequadas, há também uma redução na riqueza de espécies, onde se foi possível observar que
720 quanto mais crítico o cenário for, menor será a riqueza.

721 Quanto às regiões as quais as espécies podem ser encontradas no futuro, observamos

722 que os centroides da grande maioria das espécies se deslocará em direção de áreas mais
723 quentes ao norte do continente, próximo à linha do equador. Possivelmente, estas espécies na
724 atualidade devem ter se adaptado a condições climáticas mais extremas devido à facilitação de
725 dispersão mediada pela ação humana de utilização medicinal destas plantas. Assim,
726 futuramente espera-se que se mantenham e consigam se deslocar para regiões mais quentes.
727 Desta maneira, medidas e projetos de conservação tanto do cerrado quanto de outros biomas
728 sulamericanos, com na região da amazônica, precisam ser realizados, para tentar se minimizar a
729 degradação ambiental, em uma tentativa de se minimizar o declínio de grande parte da
730 biodiversidade nativa.

731

732 5. Referências

733 Friedman, JH 2001 . "Aproximação de função gananciosa: uma máquina de aumento de
734 gradiente " . *Anais de Estatística* **29** 5 1189 – 1232.

735 NELDER, John Ashworth; WEDDERBURN, Robert WM. Generalized linear models. **Journal**
736 **of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

737 .FEARNSIDE, Philip M. Soybean cultivation as a threat to the environment in
738 Brazil. **Environmental conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001.

739 ALLOUCHE, Omri; TSOAR, Asaf; KADMON, Ronen. Assessing the accuracy of species
740 distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of applied**
741 **ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223-1232, 2006.

742 ANDERSON, Robert P.; GONZALEZ JR, Israel. Species-specific tuning increases robustness
743 to sampling bias in models of species distributions: an implementation with Maxent. *Ecological*
744 *Modelling*, v. 222, n. 15, p. 2796-2811, 2011.

745 Andrade AFA. DE; Velazco SJE, De-Marco JP, 2020. ENMTML: An R package for a
746 straightforward construction of complex ecological niche models. *Environmental Modelling &*
747 *Software*, v. 125, p. 104615, 1 mar.

748 Araujo M & New M, 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology &*
749 *Evolution*, v. 22, n. 1, p. 42–47.

750 ARRAES, Ronaldo de Albuquerque; MARIANO, Francisca Zilania; SIMONASSI, Andrei
751 Gomes. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista**
752 **de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, p. 119-140, 2012.

753 Bahn V, McGill BJ (2013) Testing the predictive performance of distribution models. *Oikos*
754 122:321–331. doi: 10.1111/j.1600-0706.2012.00299.x

- 755 Bannister D, *et al.* 2017. An assessment of recent and future temperature change over the
756 Sichuan Basin, China, using CMIP5 climate models. *Journal of Climate*, v. 30, n. 17, p. 6701-
757 6722.
- 758 BARBET-MASSIN, M. *et al.* Selecting pseudo-absences for species distribution models: how,
759 where and how many? *Methods Ecol Evol* 3: 327–338. 2012.
- 760 BARBOSA, Henrique MJ. Vapor de água na atmosfera: do efeito estufa às mudanças
761 climáticas. **Revista USP**, n. 103, p. 67-80, 2014.
- 762 BEAUREGARD, F.; DE BLOIS, S. Beyond a climate-centric view of plant distribution:
763 edaphic variables add value to distribution models. **PloS one**, v. 9, n. 3, p. e92642, 2014.
- 764 BELLARD, Celine *et al.* As mudanças climáticas promoverão futuras invasões?. **Biologia da**
765 **mudança global**, v. 12, pág. 3740-3748, 2013.
- 766 Biosphere. Sterner, RW and Elser, JJ (2002) *Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.*
767 ISSN 0-691-07491-7.
- 768 Bonnacorso E, Koch I & Peterson T, 2006. Pleistocene fragmentation of Amazon
769 species' ranges. *Diversity and Distributions*, 12(2):157-164. [http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-](http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00212.x)
770 [9516.2005.00212.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00212.x)
- 771 Brandão M, 1991. Plantas medicamentosas do cerrado mineiro. *Inf Agropec*, v. 15, p. 15-20.
- 772 BRIENEN, Roel JW *et al.* Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n.
773 7543, p. 344-348, 2015.
- 774 Camargo MTLA, 1976. Medicina popular. Rio de Janeiro: *Campanha de Defesa do Folclore*
775 *Brasileiro*, 46p.
- 776 Cardinale B, 2012. Impacts of Biodiversity Loss. *Science*, v. 336, n. 6081, p. 552–553.
- 777 CI, 2005. Acessado em:10, fev. (<http://www.conservation.org.br>).
- 778 COLWELL, R. K. *et al.* Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition
779 in the wet tropics. *science*, v. 322, n. 5899, p. 258-261, 2008.
- 780 CONFALONIERI, Ulisses EC *et al.* Mudanças globais e desenvolvimento: importância para a
781 saúde. **Informe epidemiológico do SUS**, v. 11, n. 3, p. 139-154, 2002.
- 782 DE ALMEIDA, Mirian C.; CORTES, Lara G.; DE MARCO JUNIOR, Paulo. New records and
783 a niche model for the distribution of two Neotropical damselflies: *Schistolobos boliviensis* and
784 *Tuberculobasis inversa* (Odonata: Coenagrionidae). **Insect Conservation and Diversity**, v. 3,
785 n. 4, p. 252-256, 2010.
- 786 DE LIMA, Magda Aparecida. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais:

- 787 caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.
788 19, n. 3, p. 451-472, 2002.
- 789 DE MARCO JR, Paulo et al. The value of private properties for the conservation of biodiversity
790 in the Brazilian Cerrado. **Science**, v. 380, n. 6642, p. 298-301, 2023.
- 791 DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. Oficina de textos,
792 2016.
- 793 DIAS, Jaqueline Evangelista. **Farmacopéia popular do cerrado**. Pacari, 2009.
- 794 DO NASCIMENTO, SANDRO MUNIZ. Efeitos da fragmentação de habitats em populações
795 vegetais. 2007.
- 796 Elith J, Leathwick JR (2009) Species Distribution Models: Ecological Explanation and
797 Prediction Across Space and Time. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 40:677–697. doi:
798 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159
- 799 ELITH, Jane et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence
800 data. *Ecography (Cop)* 29: 129–151. 2006.
- 801 ELITH, Jane; LEATHWICK, John R. Species distribution models: ecological explanation and
802 prediction across space and time. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v.
803 40, p. 677-697, 2009.
- 804 Escobar, H. (2019). Brazilian president attacks deforestation data. *Science*, 365(6452), 419–
805 419. <https://doi.org/10.1126/science.365.6452.419>
- 806 EVANGELISTA, Paul H. et al. Modelling invasion for a habitat generalist and a specialist plant
807 species. **Diversity and distributions**, v. 14, n. 5, p. 808-817, 2008.
- 808 Ferreira MB, 1980. Plantas portadoras de substâncias medicamentosas, de uso popular, nos
809 cerrados de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, v. 6, n. 61, p. 19-23.
- 810 Foody GM, 2011. Impacts of imperfect reference data on the apparent accuracy of species
811 presence–absence models and their predictions. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 3,
812 p. 498–508.
- 813 FULGÊNCIO-LIMA, Luiza Gabriela et al. Invasive plants in Brazil: climate change effects and
814 detection of suitable areas within conservation units. **Biological Invasions**, v. 23, p. 1577-1594,
815 2021.
- 816 Gallon, RK, et al. (2014). Vinte anos de mudanças observadas e previstas em assembleias subtit
817 de algas vermelhas ao longo de uma zona de transição biogeográfica: Inferindo causas
818 potenciais a partir de dados ambientais. *Jornal de Biogeografia*, 41(12), 2293– 2306.

- 819 <https://doi.org/10.1111/jbi.12380>
- 820 Garcia, M. *et al.*, 2014. Multiple Dimensions of Climate Change and Their Implications for
821 Biodiversity. *Science* 344:1247579.
- 822 Garcia, R. A. *et al.*, 2012. Exploring consensus in 21st century projections of climatically
823 suitable areas for African vertebrates. *Glob. Change Biol.* 18: 1253- 1269.
- 824 GIRALDI, Mariana; HANAZAKI, Natalia. Uso e conhecimento tradicional de plantas
825 medicinais no Sertão do Ribeirão, Florianópolis, SC, Brasil. **Acta botanica brasílica**, v. 24, p.
826 395-406, 2010.
- 827 Grandi TSM *et al.* 1989. Plantas medicinais de Minas Gerais, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*,
828 v. 3, n. 2, p. 185-224.
- 829 Guarim-Neto G, 1987. Plantas utilizadas na medicina popular do Estado de Mato Grosso.
830 *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*. P.58.
- 831 Guisan A, Thuiller W (2005) Predicting species distribution: offering more than simple habitat
832 models. *Ecol Lett* 8:993–1009. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- 833 Harris G, 2003. Ecological Stoichiometry: Biology of Elements from Molecules to the
834 Hector A, *et al.* 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands.
835 *science*, v. 286, n. 5442, p. 1123-1127.
- 836 HEIKKINEN, Risto K. *et al.* Métodos e incertezas na modelagem do envelope bioclimático
837 sob mudanças climáticas. **Progresso em Geografia Física** , v. 30, n. 6, pág. 751-777, 2006.
- 838 Hirzel AH, Arlettaz R, 2003. Modeling habitat suitability for complex species distributions by
839 environmental-distance geometric mean. *Environmental management*, v. 32, n. 5, p. 614– 623.
- 840 Hortal J, de Bello F, Diniz-Filho JAF, et al (2015) Seven Shortfalls that Beset Large-Scale
841 Knowledge of Biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 46:523–549. doi: 10.1146/annurev-
842 ecolsys-112414-054400
- 843 Houghton, J. T. et al. *Climate change 2001: the Scientific Basis. Contributions of Working*
844 *Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*
845 *Change* (Cambridge Univ. Press, 2001)
- 846 Hughes,L.(2000)Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?
847 *trens in Ecology and Evolution* 15,56-61
- 848 HULSHOF, C. M.; SPASOJEVIC, M. J. The edaphic control of plant diversity. **Ecologia**
849 **Global e Biogeografia**, v. 29, n. 10, pág. 1634-1650, 2020.
- 850 JARNEVICH, Catherine S. et al. Caveats for correlative species distribution

- 851 modeling. **Ecological Informatics**, v. 29, p. 6-15, 2015.
- 852 Jiménez-Valverde A, Peterson AT, Soberón J, et al (2011) Use of niche models in invasive
853 species risk assessments. *Biol Invasions* 13:2785–2797. doi: 10.1007/s10530-011-9963-4
- 854 KHANAL, Ram Chandra. Climate change and organic agriculture. *Journal of Agriculture and*
855 *Environment*, v. 10, p. 116-127, 2009.
- 856 Klink CA, Machado RB (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv Biol* 19:707–
857 713
- 858 Klink CA, Moreira AG (2002) Past and current human occupation, and land use. In: Oliveira
859 PS, Marquis RJ (eds) *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical*
860 *Savanna*. Columbia University Press, New York, pp 69–88
- 861 KRAMER-SCHADT, Stephanie et al. The importance of correcting for sampling bias in
862 MaxEnt species distribution models. **Diversity and distributions**, v. 19, n. 11, p. 1366-1379,
863 2013.
- 864 LE ROUX, J. J. et al. Recent anthropogenic plant extinctions differ in biodiversity hotspots and
865 coldspots. *Current Biology*, v. 29, n. 17, p. 2912-2918. e2, 2019.
- 866 LEMES P *et al.* 2011. Refinando dados espaciais para a conservação da
867 biodiversidade. *Natureza & Conservação*, v. 9, n. 2, p. 240-243.
- 868 LEMES, Priscila; LOYOLA, Rafael. Mudanças climáticas e prioridades para a conservação da
869 biodiversidade. 2014.
- 870 Leroy B, *et al.* 2018. Without quality presence–absence data, discrimination metrics such as
871 TSS can be misleading measures of model performance. *Journal of biogeography*, v. 45, n. 9,
872 p. 1994–2002.
- 873 Liu C, White M, Newell G. 2009. Measuring the accuracy of species distribution models: A
874 review. *18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia* 13–17 July, 4241–4247.
- 875 LIU, Canran; WHITE, Matt; NEWELL, Graeme. Measuring and comparing the accuracy of
876 species distribution models with presence–absence data. **Ecography**, v. 34, n. 2, p. 232-243,
877 2011.
- 878 LOBO, Jorge M.; JIMÉNEZ-VALVERDE, Alberto; REAL, Raimundo. AUC: a misleading
879 measure of the performance of predictive distribution models. **Global ecology and**
880 **Biogeography**, v. 17, n. 2, p. 145-151, 2008.
- 881 LOYOLA, Thiago Fernando Rangel & Rafael Dias. Labeling ecological niche
882 models. **Natureza Conservação**, v. 10, p. 119-126, 2012.

- 883 MALHI, Yadvinder et al. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **science**,
884 v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.
- 885 MALHI, Yadvinder et al. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **science**,
886 v. 319, n. 5860, p. 169-172, 2008.
- 887 MARCOS JUNIOR, Antonio Duarte et al. Classificação climática de Thornthwaite para o
888 Brasil com base em cenários de mudanças climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de**
889 **Meteorologia**, v. 33, p. 647-664, 2018
- 890 Maroni BC, DI-stasi LC & Machado SR, 2006. Plantas medicinais do cerrado de Botucatu: guia
891 ilustrado. *Unesp*.
- 892 MARTÍNEZ-MEYER, Enrique et al. Ecological niche structure and rangewide abundance
893 patterns of species. **Biology letters**, v. 9, n. 1, p. 20120637, 2013.
- 894 Maxwell SL, et al. 2016. Food and Agriculture Team News & Views. *Nature*, v. 536, p.
895 143-145.
- 896 Mendonça, R.C.; Felfini, J.M.; Walter, B.M.T. Flora vascular do cerrado. In: Sano, S.M.;
897 Almeida, S.P. Cerrado, ambiente e flora. Planaltina: Embrapa/CAPC, p. 289-556, 1998
- 898 MUSCARELLA, Robert et al. ENM eval: An R package for conducting spatially independent
899 evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche
900 models. **Methods in ecology and evolution**, v. 5, n. 11, p. 1198-1205, 2014.
- 901 Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000).
902 Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858.
903 <https://doi.org/10.1038/35002501>
- 904 MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n.
905 6772, p. 853-858, 2000.
- 906 Nóbrega CC, De-Marco JRP, 2011. Desprotegendo as espécies raras: uma análise de lacunas
907 baseada em nicho para odonatos em uma área central de Cerrado. *Diversidade e distribuições*,
908 v. 17, n. 3, pág. 491-505.
- 909 OLIVARES, José; BEDMAR, Eulógio J.; SANJUÁN, Juan. Fixação biológica de nitrogênio
910 no contexto das mudanças globais. *Interações moleculares planta-micróbio*, v. 26, n. 5,
911 pág. 486-494, 2013.
- 912 OSCO, Lucas Prado *et al.* A Exploração de Recursos Naturais: Legislação e
913 Impactos. **Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente**, 2013.
- 914 OYAMA, Marcos Daisuke; NOBRE, Carlos Afonso. A new climate-vegetation equilibrium

- 915 state for tropical South America. **Geophysical research letters**, v. 30, n. 23, 2003.
- 916 OYAMA, Marcos Daisuke; NOBRE, Carlos Afonso. A new climate-vegetation equilibrium
917 state for tropical South America. **Geophysical research letters**, v. 30, n. 23, 2003.
- 918 Paglia AP, *et al.* 2012. Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação
919 da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças
920 climáticas. *Natureza & Conservação, Curitiba*, v. 10, n. 2, p. 231-234.
- 921 Parmesan, C. & Yohe, G. Uma impressão digital globalmente coerente dos impactos das
922 mudanças climáticas nos sistemas naturais. *Natureza* **421** , 37–42 (2003)
- 923 PARMESÃO, Camila. Respostas ecológicas e evolutivas às mudanças climáticas
924 recentes. **Annu. Rev. Ecol. Evolução Sist.** , v. 37, pág. 637-669, 2006.
- 925 PAULINO, Renan *et al.* Riqueza e importância das plantas medicinais do Rio Grande do Norte.
926 2011.
- 927 Pecl, G. T., *et al.*, (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on
928 ecosystems and human well
- 929 Roberts DR, Bahn V, Ciuti S, *et al* (2017) Cross-validation strategies for data with temporal,
930 spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography (Cop)* 40:913–929. doi:
931 10.1111/ecog.02881
- 932 Roberts DR, *et al.* 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical,
933 or phylogenetic structure. *Ecography* 1–17.
- 934 Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira LG (2008) Mapeamento semidetalhado do uso da terra
935 do Bioma Cerrado. *Pesqui Agropecuária Bras* 43:153–156
- 936 SCARIOT, A.; SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (Org.) 2005. Cerrado: ecologia,
937 biodiversidade e conservação. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- 938 SCHNEIDER, Tapio *et al.*,. Water vapor and the dynamics of climate changes. **Reviews of**
939 **Geophysics**, v. 48, n. 3, 2010.
- 940 SCHWALM, Christopher R.; GLENDON, Spencer; DUFFY, Philip B. RCP8. 5 tracks
941 cumulative CO2 emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 33,
942 p. 19656-19657, 2020.
- 943 Silva SR, 1998. Plantas do cerrado utilizadas pelas comunidades da região do Grande Sertão
944 Veredas. *Funatura*.
- 945 SILVA, Daniel P. *et al.* Amazonian species within the Cerrado savanna: new records and
946 potential distribution for *Aglae caerulea* (Apidae: Euglossini). **Apidologie**, v. 44, p. 673-683,

- 947 2013.
- 948 Siqueira JC, 1982. Plantas do cerrado na medicina popular. *Spectrum-J. Bras. Ci*, v. 2, p. 41.
- 949 SOARES-FILHO, Britaldo Silveira et al. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**,
- 950 v. 440, n. 7083, p. 520-523, 2006.
- 951 STEFFEN, Will et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of**
- 952 **the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 33, p. 8252-8259, 2018.
- 953 STRASSBURG, Bernardo BN et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology**
- 954 **& Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017.
- 955 Su F, *et al.* 2013. Evaluation of the global climate models in the CMIP5 over the Tibetan
- 956 Plateau. *Journal of climate*, v. 26, n. 10, p. 3187-3208.
- 957 THOMAS, Chris D. et al. Risco de extinção devido às mudanças climáticas. **Natureza**, v. 427,
- 958 n. 6970, pág. 145-148, 2004.
- 959 Thuiller W, *et al.* 2009. BIOMOD – uma plataforma para previsão de conjuntos de distribuição
- 960 de espécies. – *Ecografia* 32: 369–373 (Versão 0)
- 961 Tilman D, Wedin D, Knops J, 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity
- 962 in grassland ecosystems. *Nature*, v. 379, n. 6567, p. 718-720.
- 963 TSOAR, Asaf et al. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species
- 964 distribution. **Diversity and distributions**, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2007.
- 965 Tylianakis JM, Didham RK, Bascompte J, Wardle DA (2008) Global change and species
- 966 interactions in terrestrial ecosystems. *Ecol Lett* 11:1351–1363. doi: 10.1111/j.1461-
- 967 0248.2008.01250.x
- 968 VANDERWAL, Jeremy et al. Selecting pseudo-absence data for presence-only distribution
- 969 modeling: how far should you stray from what you know?. **Ecological modelling**, v. 220, n. 4,
- 970 p. 589-594, 2009.
- 971 VARELA, Sara et al. Environmental filters reduce the effects of sampling bias and improve
- 972 predictions of ecological niche models. **Ecography**, v. 37, n. 11, p. 1084-1091, 2014.
- 973 VASCONCELOS, T. S.; DO NASCIMENTO, B. T. M. Potential Climate-Driven Impacts on
- 974 the Distribution of Generalist Treefrogs in South America. *Herpetologica*, v. 72, n. 1, p. 23- 31,
- 975 2016.
- 976 Vieira RF, Martins, MV de M, 1996. Estudos etnobotânicos de espécies medicinais de uso
- 977 popular no Cerrado. In: *VIII Simpósio sobre o Cerrado*. Brasília: EMBRAPA-CPAC.
- 978 VIEIRA, Roberto F.; MARTINS, Marcus VM. Recursos genéticos de plantas medicinais do



979 cerrado: uma compilação de dados. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 3, n. 1, p.
980 13-36, 2000.

981 VIEIRA, Roberto Fontes et al. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou
982 potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste. Brasília, DF: MMA, 2018., 2018.

983 Vila-Verde, *et al.*, 2003. Levantamento etnobotânico das plantas medicinais do cerrado
984 utilizadas pela população de Mossâmedes (GO). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 13,
985 p. 64-66.

986 Vilela B, Villalobos F (2015) letsR: a new R package for data handling and analysis in
987 macroecology. *Methods Ecol Evol* 6:1229–1234. doi: 10.1111/2041-210X.12401

988 VITOUSEK, Peter M. Mudança ambiental global: uma introdução. **Revisão anual de Ecologia
989 e Sistemática** , v. 23, n. 1, pág. 1-14, 1992.

990 Werneck FP *et al.* 2012. Deep diversification and long-term persistence in the South American
991 dry ‘dry diagonal’: integrating continent-wide phylogeography and distribution modeling of
992 geckos. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*.

993 Whittaker RJ, Araújo MB, Jepson P, *et al.*,(2005) Conservation Biogeography: assessment and
994 prospect. *Divers Distrib* 11:3–23. doi: 10.1111/j.1366-9516.2005. 00143.x

995 Wilson EO (2017) Biodiversity research requires more boots on the ground. *Nat Ecol Evol*
996 1:1590–1591. doi: 10.1038/s41559-017-0360-y.BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine
997 learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.

ANEXOS

 998
 999
 1000

Tabela S1 – Autovalores e contribuições individuais e somada dos componentes principais originários das 49 variáveis ambientais que correspondem a 96% da variação ambiental original.

Variáveis	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Densidade aparente 0_5cm	-0.001	0.203	-0.215	0.146	0.018	0.013	0.318	0.087	0.033
Densidade aparente 100_200cm	-0.011	0.178	-0.229	0.092	0.118	-0.290	-0.104	-0.144	-0.236
Densidade aparente 15_30cm	-0.006	0.210	-0.250	0.104	0.035	-0.124	0.178	-0.022	-0.075
Densidade aparente 30_60cm	-0.001	0.194	-0.250	0.094	0.083	-0.240	0.021	-0.086	-0.158
Densidade aparente 5_15cm	0.001	0.210	-0.233	0.122	0.024	-0.044	0.270	0.048	-0.009
Densidade aparente 60_100cm	-0.003	0.183	-0.237	0.092	0.107	-0.282	-0.074	-0.136	-0.201
Temperatura Média Anual	-0.174	0.193	0.018	0.029	0.099	0.057	-0.027	0.119	0.201
Temperatura Média do trimestre mais quente	-0.158	0.205	-0.050	-0.026	0.050	-0.013	-0.066	0.085	0.372
Temperatura Média do Trimestre Mais Frio	-0.176	0.172	0.063	0.064	0.134	0.086	-0.021	0.127	0.078
Precipitação Anual	-0.175	-0.002	0.163	-0.113	0.140	-0.048	0.137	-0.258	-0.019
Precipitação do Mês Mais Chuvoso	-0.167	0.047	0.158	-0.011	0.145	0.118	0.039	-0.390	-0.030
Precipitação do Mês Mais Seco	-0.109	-0.092	0.134	-0.203	0.079	-0.354	0.336	0.060	0.044
Sazonalidade de Precipitação	0.057	0.100	-0.051	0.260	0.088	0.465	0.063	-0.235	-0.062
Precipitação do Trimestre Mais úmido	-0.168	0.046	0.157	-0.025	0.145	0.114	0.039	-0.391	-0.044
Precipitação do Trimestre Mais Seco	-0.115	-0.090	0.141	-0.201	0.087	-0.344	0.318	0.038	0.053
Precipitação do Trimestre Mais Quente	-0.134	-0.023	0.085	-0.178	-0.059	0.151	0.524	0.061	-0.098
Precipitação do Trimestre Mais Frio	-0.116	-0.026	0.148	-0.026	0.220	-0.233	-0.184	-0.449	0.147
Faixa Diurna Mensal (Temp. Max - Temp. Min)	0.119	0.044	-0.165	0.013	-0.128	0.230	0.312	-0.313	0.108
Isotérmica	-0.123	0.057	0.158	0.132	0.234	0.111	0.157	0.119	-0.225
Sazonalidade da Temperatura	0.133	-0.066	-0.179	-0.151	-0.193	-0.174	-0.035	-0.129	0.316
Temperatura Máxima do Mês Mais Quente	-0.134	0.222	-0.092	-0.036	0.028	0.020	-0.071	-0.031	0.406
Temperatura Mínima do Mês Mais Frio	-0.180	0.148	0.085	0.051	0.157	0.003	-0.095	0.165	0.080
Faixa Anual de Temperatura	0.141	-0.015	-0.205	-0.106	-0.202	0.014	0.074	-0.266	0.247
Temperatura Médio do Trimestre Mais úmido	-0.161	0.189	-0.049	0.011	0.063	0.079	0.103	0.130	0.268
Temperatura Média do Trimestre Mais Seco	-0.163	0.164	0.090	0.057	0.143	0.014	-0.158	0.101	0.096

Fragmentos Grossos 0_5cm	0.148	-0.130	0.063	0.250	0.173	-0.075	0.058	0.004	0.126
Fragmentos Grossos 100_200cm	0.160	-0.133	0.052	0.238	0.132	-0.052	0.067	0.019	0.133
Fragmentos Grossos 15_30cm	0.152	-0.129	0.057	0.249	0.169	-0.075	0.079	0.007	0.123
Fragmentos Grossos 30_60cm	0.155	-0.132	0.052	0.246	0.155	-0.062	0.100	0.007	0.119
Fragmentos Grossos 5_15cm	0.150	-0.131	0.064	0.246	0.174	-0.082	0.054	0.011	0.141
Fragmentos Grossos 60_100cm	0.157	-0.138	0.054	0.239	0.140	-0.046	0.086	0.016	0.113
Argila 0_5cm	-0.168	-0.069	0.042	0.183	-0.228	-0.050	0.056	-0.047	0.136
Argila 100_200cm	-0.180	-0.011	0.066	0.200	-0.198	-0.054	-0.018	-0.020	-0.098
Argila 15_30cm	-0.173	-0.053	0.053	0.207	-0.223	-0.084	0.006	-0.035	0.031
Argila 30_60cm	-0.177	-0.018	0.047	0.206	-0.221	-0.080	-0.004	-0.009	-0.069
Argila 5_15cm	-0.163	-0.076	0.046	0.189	-0.241	-0.061	0.046	-0.057	0.124
Argila 60_100cm	-0.180	-0.013	0.054	0.202	-0.210	-0.062	-0.008	-0.016	-0.087
Areia 0_5cm	0.178	0.170	0.118	-0.060	0.029	-0.008	-0.013	0.003	-0.052
Areia 100_200cm	0.194	0.133	0.085	-0.101	0.040	-0.003	0.012	0.008	0.059
Areia 15_30cm	0.182	0.164	0.109	-0.082	0.036	0.004	0.013	0.003	-0.015
Areia 30_60cm	0.191	0.138	0.100	-0.099	0.052	0.005	0.015	-0.007	0.029
Areia 5_15cm	0.175	0.176	0.117	-0.066	0.035	-0.006	-0.002	0.009	-0.050
Areia 60_100cm	0.193	0.132	0.094	-0.105	0.050	-0.004	0.016	-0.001	0.040
Lodo 0_5cm	-0.118	-0.188	-0.204	-0.063	0.145	0.052	-0.028	0.034	-0.037
Lodo 100_200cm	-0.096	-0.196	-0.211	-0.074	0.168	0.069	0.003	0.012	0.021
Lodo 15_30cm	-0.111	-0.193	-0.208	-0.067	0.148	0.069	-0.025	0.028	-0.007
Lodo 30_60cm	-0.099	-0.197	-0.209	-0.075	0.168	0.083	-0.019	0.020	0.032
Lodo 5_15cm	-0.117	-0.189	-0.204	-0.060	0.146	0.058	-0.034	0.033	-0.030
Lodo 60_100cm	-0.096	-0.195	-0.214	-0.072	0.169	0.080	-0.015	0.021	0.039
Valor cumulativo de cada CP	0.389	0.572	0.726	0.808	0.876	0.910	0.932	0.949	0.964
Contribuição individual de cada PC	0.389	0.183	0.154	0.082	0.068	0.033	0.023	0.017	0.014

1001

1002

1003 **Tabela S2:Doi das respectivas**

1004 **espécies**

1005

https://doi.org/10.15468/dl.8qg6v9?	Acanthospermum_australe
https://doi.org/10.15468/dl.55sv9w	Anacardium_humile
https://doi.org/10.15468/dl.hs25ac	Anadenanthera_falcata
https://doi.org/10.15468/dl.gfecsh	Ananas_ananassoides
https://doi.org/10.15468/dl.mb2nfv	Anemopaegma_arvense
https://doi.org/10.15468/dl.qgaack	Aristolochia_trilobata
https://doi.org/10.15468/dl.gfecsh	Austroplenkia_populnea
https://doi.org/10.15468/dl.v6z5gg	Baccharis_dracunculifolia
https://doi.org/10.15468/dl.2jh10000	Baccharis_trimera
https://doi.org/10.15468/dl.5kz8uf	Bauhinia_holophylla
https://doi.org/10.15468/dl.2jh6156	Bidens_brasiliensis
https://doi.org/10.15468/dl.qgaack	Borreria_latifolia
https://doi.org/10.15468/dl.t56mvd	Borreria_verticillata
https://doi.org/10.15468/dl.89uuuzr	Bredemeyera_laurifolia
?https://doi.org/10.15468/dl.rtzgs886	Brosimum_gaudichaudii
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9912	Bulbostylis_capillaris
?https://doi.org/10.15468/dl.pxmbc696	Byrsonima_crassa
https://doi.org/10.15468/dl.gp97wx	Byrsonima_intermedia
https://doi.org/10.15468/dl.r3bn6z	Calliandra_dysantha
https://doi.org/10.15468/dl.kghbpbk	Campomanesia_pubescens
https://doi.org/10.15468/dl.txgjec	Caryocar_brasiliense
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9651	Casearia_sylvestris
https://doi.org/10.15468/dl.4p8exk	Cassia_rugosa
https://doi.org/10.15468/dl.earu8e	Centrosema_bracteosum
https://doi.org/10.15468/dl.5kz8uf	Cestrum_sendtnerianum

https://doi.org/10.15468/dl.2jh10037	<i>Clitoria guianensis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.tw9274	<i>Cochlospermum regium</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9995	<i>Croton antisiphiliticus</i>
https://doi.org/10.15468/dl.55sv9w	<i>Cupania vernalis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9695	<i>Curatella americana</i>
https://doi.org/10.15468/dl.hs25ac	<i>Davilla elliptica</i>
https://doi.org/10.15468/dl.hx9hjg?	<i>Desmodium uncinatum</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9727	<i>Didymopanax macrocarpus</i>
https://doi.org/10.15468/dl.txgjec	<i>Dimorphandra mollis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9653	<i>Dipteryx alata</i>
https://doi.org/10.15468/dl.kghbpk	<i>Doliocarpus dentatus</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9884	<i>Dorstenia brasiliensis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.5kz8uf	<i>Duguetia furfuracea</i>
https://doi.org/10.15468/dl.gfecsh	<i>Echinodorus grandiflorus</i>
https://doi.org/10.15468/dl.n3myhr	<i>Eriosema glabrum</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9779	<i>Eryngium pristis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.xn7mny	<i>Erythroxylum tortuosum</i>
https://doi.org/10.15468/dl.6mk4xq	<i>Eugenia dysenterica</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9990	<i>Eugenia kunthiana</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9993	<i>Eugenia livida</i>
https://doi.org/10.15468/dl.pe4mhd	<i>Eugenia punicifolia</i>
https://doi.org/10.15468/dl.r3bn6z	<i>Gomphrena macrocephala</i>
https://doi.org/10.15468/dl.xq4ks639	<i>Gomphrena officinalis</i>
https://doi.org/10.15468/dl.jxmuy1602	<i>Hancornia speciosa</i>
https://doi.org/10.15468/dl.tqbx4a	<i>Heteropterys anceps</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9991	<i>Heteropterys aphrodisiaca</i>
https://doi.org/10.15468/dl.n3myhr	<i>Hymenaea stigonocarpa</i>
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9997	<i>Hyptis marrubioides</i>

https://doi.org/10.15468/dl.2jh9650	Imperata_brasiliensis
https://doi.org/10.15468/dl.txgjec	Ipomoea_gigantea
https://doi.org/10.15468/dl.2jh10103	Jacaranda_caroba
https://doi.org/10.15468/dl.pxmbc697	Jacaranda_decurrens
https://doi.org/10.15468/dl.6gee6s	Krapovickasia_macrodon
https://doi.org/10.15468/dl.4p8exk	Lafoensia_pacari
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9721	Lippia_lupulina
https://doi.org/10.15468/dl.xr9rcn	Luehea_grandiflora
https://doi.org/10.15468/dl.kr7ndu	Lychnophora_ericoides
https://doi.org/10.15468/dl.r6rx5n	Macrosiphonia_velame
https://doi.org/10.15468/dl.2jh10076	Magonia_pubescens
https://doi.org/10.15468/dl.vtjwux	Mandevilla_illustris
https://doi.org/10.15468/dl.s99028	Mandevilla_velutina
https://doi.org/10.15468/dl.r3bn6z	Melancium_campestre
https://doi.org/10.15468/dl.55sv9w	Merremia_tomentosa
https://doi.org/10.15468/dl.kghbpbk	Miconia_rubiginosa
https://doi.org/10.15468/dl.hvn6x69	Mikania_sessilifolia
https://doi.org/10.15468/dl.gfecsh	Mikania_smilacina
https://doi.org/10.15468/dl.2jh10001	Myrcia_variabilis
https://doi.org/10.15468/dl.txgjec	Oxalis_hirsutissima
https://doi.org/10.15468/dl.9ntbnx	Palicourea_rigida
https://doi.org/10.15468/dl.2jh4574	Peltodon_radicans
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9992	Peltodon_tomentosus
https://doi.org/10.15468/dl.pavwn126	Psidium_guineense
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9662	Pterodon_emarginatus
https://doi.org/10.15468/dl.kr7ndu	Qualea_grandiflora
https://doi.org/10.15468/dl.5kz8uf	Rapanea_guianensis
https://doi.org/10.15468/dl.xq4ks645	Rhabdocaulon_denudatum

https://doi.org/10.15468/dl.n3myhr	Rubus_brasiliensis
https://doi.org/10.15468/dl.auysvu	Rudgea_viburnoides
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9649	Sabicea_cana
https://doi.org/10.15468/dl.tw9266	Salvertia_convallariodora
https://doi.org/10.15468/dl.89uuzr	Senna_rugosa
https://doi.org/10.15468/dl.mb2nfu	Smilax_brasiliensis_Spreng
https://doi.org/10.15468/dl.77zvx277	Smilax_campestris
https://doi.org/10.15468/dl.mb2nfu	Smilax_cissoides
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9998	Smilax_polyantha
https://doi.org/10.15468/dl.89uuzr	Solanum_aculeatissimum
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9921	Solanum_lycocarpum
?https://doi.org/10.15468/dl.hx9hjg?	Solanum_paniculatum
?https://doi.org/10.15468/dl.xq4ks640	Solanum_subumbellatum
https://doi.org/10.15468/dl.y43rqy	Spiranthera_odoratissima
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9693	Strychnos_brasiliensis
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9657	Strychnos_pseudoquina
https://doi.org/10.15468/dl.tw9282	Stryphnodendron_adstringens
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9915	Styrax_camporum
https://doi.org/10.15468/dl.txgjec	Styrax_ferrugineus
https://doi.org/10.15468/dl.qgaack	Tabebuia_aurea
https://doi.org/10.15468/dl.3s897t	Tabebuia_impetiginosa
https://doi.org/10.15468/dl.vujfma	Tabebuia_ochracea
https://doi.org/10.15468/dl.y43rqy	Tapirira_guianensis
https://doi.org/10.15468/dl.mb2nfu	Vellozia_flavicans
https://doi.org/10.15468/dl.y43rqy	Vernonia_barbata
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9726	Vernonia_ferruginea
https://doi.org/10.15468/dl.2jh9738	Vitex_polygama
https://doi.org/10.15468/dl.rwzvn5211	Xylopia_aromatica

