



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

LÍVIA ISADORA DE ALMEIDA GUIMARÃES

**NÍVEIS DE RESILIÊNCIA ECOLÓGICA DE QUELÔNIOS CONTINENTAIS DA
AMAZÔNIA LEGAL**

Belém - Pará

2024

LÍVIA ISADORA DE ALMEIDA GUIMARÃES

**NÍVEIS DE RESILIÊNCIA ECOLÓGICA DE QUELÔNIOS CONTINENTAIS DA
AMAZÔNIA LEGAL**

Tese apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Sócio Ambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Dr. Peter Mann de Toledo.

Coorientador: Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva

Belém – Pará

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de
Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G963n Guimarães, Livia Isadora de Almeida.
Níveis de resiliência ecológica de quelônios continentais
da Amazônia Legal / Livia Isadora de Almeida Guimarães. —
2024.

250 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Peter Mann de Toledo

Coorientador(a): Prof. Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2024.

1. Testudines. 2. Modelagem ecológica. 3. Mudanças
climáticas. 4. Isótopos.

CDD 574.5222

LÍVIA ISADORA DE ALMEIDA GUIMARÃES

NÍVEIS DE RESILIÊNCIA ECOLÓGICA DE QUELÔNIOS CONTINENTAIS DA AMAZÔNIA LEGAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor(a) em Ciências Ambientais. Área de concentração: Clima e Dinâmica Sócio Ambiental na Amazônia.

Data da Aprovação: 23/12/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **PETER MANN DE TOLEDO**
Data: 10/02/2025 19:11:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Peter Mann de Toledo - Orientador
Doutor em Geologia
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Documento assinado digitalmente
 **ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA**
Data: 10/02/2025 23:26:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Aline Maria Meiguins de Lima – Membro Interno
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DE LOURDES PINHEIRO RUIVO**
Data: 10/02/2025 19:22:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – Membro Interno
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi

Documento assinado digitalmente
 **SUE ANNE REGINA FERREIRA DA COSTA**
Data: 10/02/2025 19:37:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Sue Anne Regina Ferreira da Costa – Membro Externo
Doutora em Geologia
Universidade Federal do Pará - Museu Paraense Emílio Goeldi

Documento assinado digitalmente
 **VINICIUS TAVARES KUTTER**
Data: 11/02/2025 08:48:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Vinicius Tavares Kütter – Membro Externo
Doutor em Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho aos meus sobrinhos,

Antônio Diadorim e Fidel Lekan.

TITIA AMA MUITO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, ao Mestre Jesus, assim como Nossa Senhora de Nazaré, São Francisco de Assis e Santa Dulce dos Pobres, pelo incentivo e conforto espiritual proporcionados ao longo da execução deste trabalho. Muito obrigada aos trabalhadores da Casa Espírita Vinha de Luz, e Sukyo Mahikari de Belém, por me ajudarem a manter a fé.

Agradeço a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA), cuja concessão da bolsa foi crucial à elaboração deste trabalho.

Em especial, também sou muito grata aos meus pais, Antônio Guimarães e Conceição Almeida. A minha irmã, Larissa Guimarães, e aos meus sobrinhos Antônio Diadorim e Fidel Lekan, que me motivam a seguir em frente e nunca desistir da vida.

Ao Coletivo de Funcionários da Clínica Médica Voo de Liberdade, na qual realizo meu tratamento desde julho 2022. Ao Dr. Pedro Maranhão, médico psiquiatra, que me acompanha desde o referido ano e esclareceu meu diagnóstico do TEA, fato marcante em minha vida.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Dr. Peter Toledo pois, apesar de meus transtornos e atrasos consecutivos em minha produção acadêmica, não desistiu de mim. A despeito de todas as minhas atribulações, sempre buscou estimular-me insistindo que "eu não ficasse ansiosa, ou preocupada". A ele, serei sempre grata.

Da mesma forma, serei grata ao meu coorientador, Professor Dr. José Francisco Berredo, por todo carinho e atenção despendidos e por não cessar de estimular-me a prosseguir.

Às minhas amigas Dra. Ana Paula Linhares e Dra. Sauri Machado, meus mais sinceros votos de amor e gratidão por absolutamente tudo.

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da UFPA (PROPESP), também registro um agradecimento especial. A Pró-Reitora, Professora Maria Iracilda da Cunha Sampaio, integrou o coletivo de pessoas cuja sensibilidade e solicitude para comigo e com minha família me concederam a oportunidade de conclusão deste trabalho. Minha eterna gratidão.

A Coordenadora do PPGCA, Professora Dra. Júlia Cohen, pela oportunidade concedida de finalização de meu trabalho.

Para além de possibilitar-me a pós graduação no PPGCA, a UFPA também acolheu-me através da CoAcess/SAEST UFPA. Na Divisão de Atendimento a discentes com

Transtorno do Espectro do Autismo e Deficiência Intelectual/DETEADI, sob a responsabilidade da Terapeuta Ocupacional Adeline Oliveira, sou atendida pela Psicopedagoga Rosilene Prado. Agradeço de coração.

À APG UFPA - Associação de Pós-Graduandos da UFPA, através de sua Ex-presidenta Professora Livia Maia, por todo apoio prestado.

Ao Dr. Luiz Fernando Esser, MS. Murilo Gomes e MSa. Amanda Reis, pelo auxílio e tempo prestados na parte metodológica desta pesquisa.

À Dra. Ana Lúcia da Costa Prudente, Curadora da Coleção Herpetológica do Museu Paraense Emílio Goeldi, e a toda equipe colaboradora da referida Coleção, pela concessão de amostras que utilizei ao longo de minha pesquisa.

Ao Professor Dr. Richard Vogt (in memoriam) e a toda equipe do CEQUA (Centro de Estudos dos Quelônios da Amazônia), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (em especial à Sabrina Menezes), por todo suporte proporcionado ao longo de minha coleta amostral na Coleção Herpetológica do referido Centro.

Ao Dr. Plínio Camargo, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), pela preparação amostral referente aos sinais isotópicos de minhas amostras.

Aos meus amigos da vida, Pedro Paulo dos Santos, Cristiane Ramos, Josiane Monteiro, Mariana Pureza, Fátima Khoury, Carolina Beltrão, Alessandra Raiol, Hugo Nocambi, Jéssica Mercês, dentre tantos outros que contribuem na minha vida.

Por fim, agradeço à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA) pela concessão da bolsa de pós-graduação, crucial ao desenvolvimento deste trabalho.

A todo corpo docente e discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, por toda atenção, conhecimentos e demonstrações de afeto.

SINCERAMENTE, MUITO OBRIGADA

*"Não aceito mais as coisas que não posso mudar,
estou mudando as coisas que não posso aceitar"*

(Angela Davis)

RESUMO

Quelônios continentais, sobretudo amazônicos, estão entre os grupos que mais demandam pesquisas atualizadas e estudos integrados, seja no âmbito sistemático ou ecológico, cujos conhecimentos auxiliem em sua preservação, assim como serviços ecossistêmicos e ambientais desempenhados. Diante disso, o presente trabalho visa análises de níveis de resiliência climática de espécies continentais da Amazônia Legal, via correlação/interdisciplinaridade entre modelos climáticos e de pressão antrópica com proxies geoquímicos, mais especificamente isótopos de carbono e nitrogênio, com resultados que viabilizem interpretações mais precisas sobre refúgios climáticos e isotópicos (*isoscapes*), além de informações complementares relacionadas as cadeias tróficas. Até então, modelos climáticos foram desenvolvidos, com simulações referentes as Trajetórias Representativas de Concentração ou RCPs (*Representative Concentration Pathways*) e Trajetórias Econômicas Compartilhadas ou SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*) para dez espécies quelônias, dado o seu número suficiente de observações e coordenadas registradas: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Rhinoclemmys punctulata*; *Kinosternon scorpioides*, *Chelonoidis carbonaria* e *Chelonoidis denticulata*. Tais coordenadas foram inter cruzadas com quatro variáveis ambientais da plataforma digital Worldclim, selecionadas pelo nível de influência sobre a distribuição das espécies, reportado na literatura, assim como reduzida inter correlação. Tais procedimentos foram executados no software Rstudio, através do pacote *Biomod2*, que reúne um conjunto de algoritmos cuja matemática permitiu o desenvolvimento de *rasters* com informações de adequabilidade climática das espécies. Até então, *P. expansa*, *P. unifilis* e sobretudo *Ch. denticulata*, são consideradas as mais ameaçadas de redução populacional, enquanto *Ph. geoffroannus* e *K. scorpioides* mostram-se, até então, com menor vulnerabilidade climática. Parâmetro este que tende a se manter em circunstâncias futuras, mesmo com a interferência antrópica na região. As demais espécies também apresentam níveis de vulnerabilidade, porém mais reduzidos em relação a *P. unifilis* e *Ch. denticulata*. Pela comparação das projeções realizadas com assinaturas isotópicas de nitrogênio e carbono, oriundas de tecido ósseo dos cascos de espécimes depositados no Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA, Manaus/AM) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG, Belém/PA), com os modelos climáticos e de influência antrópica, tendem a reforçar medidas de preservação das espécies e seus nichos, como estratégia à manutenção da biodiversidade regional.

Palavras-chave: Testudines; modelagem climática; mudanças climáticas; isótopos

ABSTRACT

Continental chelonians, especially the Amazonian ones, are among the groups which most demand new researches and integrated studies, whether in the systematic or ecological scope, whose knowledge helps in their preservation, as well as ecosystem and environmental services performed. Therefore, the present work aims to analyze the levels of climate resilience of continental species in the Legal Amazon, via correlation/interdisciplinarity between climate models and anthropogenic pressure with geochemical proxies, more specifically isotopes of carbon and nitrogen, with results that enable interpretations more precise information on climatic and isotopic refuges (*isoscapes*), as well as additional information related to trophic chains. Until then, climate models were developed, with simulations referring to Representative Concentration Pathways (or RCPs) and Shared Socioeconomic Pathways (or SSPs) for ten chelonian species, given their sufficient number of recorded observations and coordinates: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Rhinoclemmys punctularia*; *Kinosternon scorpioides*, *Chelonoidis carbonaria* and *Chelonoidis denticulata*. Such coordinates were intercrossed with four environmental variables from the Worldclim digital platform, selected according level of influence on the species distribution, reported in the literature, as well as reduced inter-correlation. These procedures were performed by Rstudio software, through the Biomod2 package, which reunites a set of algorithms whose mathematics allowed the development of rasters, with informations of climatic suitability inherent to each species. So far, *P. expansa*, *P. unifilis* and, above all, *Ch. denticulata*, are considered the most threatened of population reduction, while *Ph. geoffroannus* and *K. scorpioides* projections have shown less climate vulnerability. This parameter tends to be maintained in future circumstances, even with anthropogenic interference. The other species also present certain levels of vulnerability, which are more limited when compared to *Ch. denticulata* e *P. unifilis* levels. Confrontation of projections with isotopic signatures from nitrogen and carbon, collected from bone tissues of specimens deposited at the Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA, Manaus/AM) and Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG, Belém /PA). with climate models and anthropogenic influence, tend to reinforce politics to preserve species and their niches, as a strategy to maintain regional biodiversity.

Key-words: Testudines; climatic modeling; climate changes; isotopes

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Arcabouço teórico-conceitual interdisciplinar (Fonte: da autora).....	21
Figura 2 - Esquema com movimentação do pescoço em cada infraordem (Fonte: Bernhard <i>et al.</i> , 2016).....	23
Figura 3 - Plastrão nas infraordens (escudo intergular em Pleurodira) (Fonte: Ferrara <i>et al.</i> , 2016)	23
Figura 4 - Articulações da pelve com o casco (setas). A: Cryptodira; B: Pleurodira (Fonte: Williams; Stayton, 2019)	24
Figura 5 - Diagrama de BAM. A área verde (A) integra a área geográfica com o conjunto condições abióticas adequadas à espécie, podendo ser considerada a expressão geográfica do Nicho Fundamental (NF). A área B (azul) é a região de interações inter-específicas. $A \cap B$ representa a extensão geográfica do Nicho Realizado (RN) da espécie. M (vermelho) compreende as áreas de acessibilidade às espécies em algum sentido ecológico, sem barreiras ao movimento e colonização. $A \cap B \cap M = P$, representa a distribuição geográfica das espécies, reunindo assim condições bióticas, abióticas e de deslocamento adequadas. (Fonte: Soberon; Peterson, 2005)	31
Figura 6 – Distribuição isotópica de Nitrogênio em cada família quelônia da Amazônia Legal (Fonte: da Autora).....	57
Figura 7- Distribuição isotópica de Carbono em cada família quelônia da Amazônia Legal (Fonte: da Autora).....	58
Figura 8- Distribuição de sinais isotópicos por espécie (Fonte: da Autora).....	61
Figura 9- Nichos isotópicos do gênero do <i>Podocnemis</i> da Amazônia Legal (Fonte: da Autora).....	62
Figura 10- Amplitude de nichos isotópicos por gênero (Fonte: da Autora).....	63
Figura 11- Amplitude de nichos isotópicos por espécie de <i>Chelonoidis</i> (Fonte: da Autora)....	63
Figura 12- Nível de sobreposição de nicho segundo o Índice de Pianka (Fonte: da Autora)....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Configurações das Trajetórias Representativas de Concentração (Fonte: da Autora).....	34
Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas disponíveis na plataforma WorldClim. Em sombreado, estão as quatro variáveis ambientais selecionadas após teste de multicolinearidade (Fonte: da Autora).....	43
Tabela 3 - Relação de Modelos Climáticos Globais (GCMs) e respectivas Instituições de pesquisa responsáveis pelo seu desenvolvimento (Fonte: da Autora)	44
Tabela 4 - Valores médios de isótopos estáveis de Nitrogênio e Carbono por espécie (Fonte: da Autora).....	56
Tabela 5- Teste de significância das análises isotópicas (Fonte: da Autora).....	58
Tabela 6- Sobreposição de nichos, a partir de $\delta^{15}\text{N}$ (Fonte: da Autora).....	59
Tabela 7- Sobreposição de nichos, a partir de $\delta^{13}\text{C}$ (Fonte: da Autora).....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 PROBLEMÁTICA(S) DA PESQUISA E HIPÓTESE(S)	20
3 OBJETIVOS	22
3.1 Geral	22
3.2 Específicos	22
4 REFERÊNCIAL TEÓRICO	06
4.1- Aspectos ecológicos.....	25
4.1.1 Importância Ecológica–Ameaças X Conservação.....	25
4.1.2 Estratégias de Conservação.....	26
4.2 Nichos e Modelos Climáticos.....	29
4.3 Geoquímica Isotópica.....	36
4.3.1 Análises isotópicas em quelônios.....	39
5 MATERIAL E MÉTODOS	41
5.1 Coleta das amostras.....	41
5.1.1 Coleta tecidual de material isotópico.....	41
5.2 Metodologia.....	41
5.2.1 Nichos e Modelos Climáticos.....	41
5.2.2 Geoquímica Isotópica.....	47
5.2.2.1 <i>Processamento laboratorial de material isotópico.....</i>	<i>47</i>
6 RESULTADOS	50
6.1 Nichos e Modelos Climáticos.....	50
6.1.1 Projeções Futuras.....	50
6.1.2 Modelos Climáticos Globais (GCMs).....	55
6.2 Análises Isotópicas.....	56

7 DISCUSSÃO	68
7.1 Modelagem.....	68
7.2 Análises Isotópicas.....	71
7.3 Considerações sobre as discussões.....	74
7.4 Recomendações para Políticas e Conservação.....	75
8 CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICES A- Relação de mapas	
A.1 -Projeções RCP para <i>Chelonoidis carbonaria</i> , da atualidade a 2070.....	102
A.2- Projeções RCP para <i>Chelonoidis carbonaria</i> , da atualidade a 2070.....	103
A.3- Projeções RCP para <i>Chelonoidis denticulata</i> , da atualidade a 2070.....	104
A.4- Projeções SSP para <i>Chelonoidis denticulata</i> , da atualidade à 2080.....	105
A.5 - Projeções SSP de <i>Chelonoidis carbonaria</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	106
A.6 - Projeções SSP de <i>Chelonoidis denticulata</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	107
A.7 - Projeções RCP para <i>Chelus fimbriata</i> , da atualidade a 2070.....	108
A.8 - Projeções SSP para <i>Chelus fimbriata</i> , da atualidade à 2080.....	109
A.9 - Projeções SSP de <i>Chelus fimbriata</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	110
A.10- Projeções RCP para <i>Kinosternon scorpioides</i> , da atualidade a 2070.....	111
A.11- Projeções SSP para <i>Kinosternon scorpioides</i> , da atualidade à 2080.....	112
A.12 - Projeções SSP de <i>Kinosternon scorpioides</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	113
A.13- Projeções RCP para <i>Mesoclemmys gibba</i> , da atualidade a 2070.....	114
A.14- Projeções SSP para <i>Mesoclemmys gibba</i> , da atualidade à 2080.....	115
A.15- Projeções SSP de <i>Mesoclemmys gibba</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	116
A.16- Projeções RCP para <i>Phrynops geoffroanus</i> , da atualidade a 2070.....	117

A.17- Projeções SSP para <i>Phrynops geoffroanus</i> , da atualidade à 2080.....	118
A.18 - Projeções SSP de <i>Phrynops groffroanus</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	119
A.19- Projeções RCP para <i>Platemys plathycephala</i> , da atualidade a 2070.....	120
A.20- Projeções SSP para <i>Platemys plathycephala</i> , da atualidade à 2080.....	121
A.21- Projeções RCP para <i>Podocnemis expansa</i> , da atualidade a 2070.....	122
A.22- Projeções SSP para <i>Podocnemis expansa</i> , da atualidade à 2080.....	123
A.23- Projeções SSP de <i>Platemys plathycephala</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	124
A.24- Projeções SSP de <i>Podocnemis expansa</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	125
A.25- Projeções RCP para <i>Podocnemis unifilis</i> , da atualidade a 2070.....	126
A.26- Projeções SSP para <i>Podocnemis unifilis</i> , da atualidade à 2080.....	127
A.27- Projeções SSP de <i>Podocnemis unifilis</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	128
A.28- Projeções RCP para <i>Rhinoclemmys punctularia</i> , da atualidade a 2070.....	129
A.29- Projeções SSP para <i>Rhinoclemmys punctularia</i> , da atualidade à 2080.....	130
A.30- Projeções SSP de <i>Rhinoclemmys punctularia</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2) da atualidade a 2080.....	131
A.31- Projeções RCP para <i>Ensemble</i> da atualidade a 2070.....	132
A.32- Projeções SSP para <i>Ensemble</i> da atualidade a 2080.....	133
A.33- Projeções SSP de <i>Ensemble</i> (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.....	134

APÊNDICES B – Relação de gráficos

B.1 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Chelonoidis carbonaria</i> em Terras Indígenas Unidades de Conservação por Área Total.....	135
B.2 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Chelonoidis denticulata</i> em Terras Indígenas Unidades de Conservação por Área Total.....	136
B.3 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Chelus fimbriata</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	137
B.4 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Kinosternon scorpioides</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	138
B.5 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Mesoclemmys gibba</i> em Terras Indígenas e	

Unidades de Conservação por Área Total.....	139
B.6 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Phrynos geoffroanus</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	140
B.7 - Distribuição espacial (em km ²) de <i>Platemys plathycephala</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	141
B.8 - Distribuição espacial (em Km ²) de <i>Podocnemis expansa</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	142
B.9 - Distribuição espacial (em Km ²) de <i>Podocnemis unifilis</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	143
B.10 - Distribuição espacial (em Km ²) de <i>Rhinoclemmys punctularia</i> em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	144
B.11 - Distribuição espacial (em Km ²) das projeções <i>Ensemble</i> , em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.....	145
B.12 – Representação em boxplot dos valores reais de perda e ganho de distribuição espacial por espécie. Valores abaixo de zero indicam perdas, enquanto valores acima de zero representam aumento nos valores de adequabilidade.....	146
B.13 – Extensão em km ² de distribuição espacial de espécies quelônias em UCs (Unidades de Conservação) e TIs (Terras Indígenas), conforme CMIP5 e CMIP6. (1) <i>Chelonoidis carbonaria</i> ; (2) <i>Chelonoidis denticulata</i> ; (3) <i>Chelus fimbriata</i> ; (4) <i>Kinosternon scorpioides</i> ; (5) <i>Mesoclemmys gibba</i> ; (6) <i>Phrynos geoffroanus</i> ; (7) <i>Platemys plathycephala</i> ; (8) <i>Podocnemis expansa</i> ; (9) <i>Podocnemis unifilis</i> ; (10) <i>Rhinoclemmys punctularia</i>	147
B.14 - Área de Território Indígena por Área Total, ocupada pela fauna quelônia Amazônia Legal, em diferentes cenários SSP e intervalos temporais. (bc: BCC-CSM2-MR; IPSL-CM6A-LR; mi: MIROC6; mr: MRI-ESM2-0)	148
B.15 - Área de Unidades de Conservação por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários SSP e intervalos temporais. (bc: BCC-CSM2-MR; ip: IPSL-CM6A-LR; mi: MIROC6; mr: MRI-ESM2-0).....	149
B.16 - Área de Terras Indígenas por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários RCP e intervalos temporais. (bc: BCC-CSM1-1; ip: IPSL-CM5A-LR; mi: MIROC5; mr: MRI-CGCM3).....	150

B.17 - Área de Unidades de Conservação por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários RCP e intervalos temporais. (bc: BCC-CSM1-1; ip: IPSL-CM5A-LR; mi: MIROC5; mr: MRI-CGCM3)	151
B.18 - Índice de Levin por espécie.....	152

APÊNDICES C – Relação de tabelas

C.1 - Valores de importância das variáveis e média TSS das projeções por espécie em CMIP5.....	153
C.2 - Valores de importância das variáveis e média TSS das projeções por espécie em CMIP6	154
C.3 – Relação completa de valores áreas de ocupação fauna quelônia na Amazônia Legal, considerando cenário, tempo, <i>baseline</i> assim como aumento/redução de distribuição espacial. . .	155
C.4 - Relação completa de valores áreas de ocupação fauna quelônia para <i>ensemble</i> na Amazônia Legal, considerando cenário, tempo, <i>baseline</i> assim como aumento/redução de distribuição espacial. Valores de Perda/Ganho Real abaixo de 1 indicam perda de distribuição territorial.....	161
C.5 - Extensão, em km ² , de ATs, UCs e TIs ocupados por espécies quelônias, reunidas em <i>ensembles</i> por GCM, para CMIP5 e CMIP6. (AT: área total; TI: Terras Indígenas; UC: Unidades de Conservação; bc: GCM-BCC; ip: GCM-IPSL; mi: GCM-MIROC; mr: GCM-MRI; <i>ensemble-current</i> : <i>ensemble</i> -cenário corrente RCP; <i>ensemble-current2</i> : <i>ensemble</i> -cenário corrente SSP).....	163
C.6 - Valores de Fatores de Inflação (VIF) por variável ambiental, para CMIP5.....	165
C.7- Valores de Fatores de Inflação (VIF) por variável ambiental, para CMIP6.....	166
C.8- Sinais isotópicos por espécime e média das espécies	167
C.9 – Valor de p ajustado para espécies com sobreposição valores $\delta^{13}\text{C}$, segundo o teste de Tukey ($p>0.05$).....	169
C.10- Valor de p ajustado para espécies com presença de sobreposição de valores para $\delta^{15}\text{N}$, segundo o teste de Tukey ($p>0.05$).....	171
C.11 - Índice de Pianka para as 14 espécies continentais da Amazônia continental.....	173

C.12 - Dados ecológicos para as 14 espécies de quelônios continentais da Amazônia Legal analisadas na pesquisa.....	174
C.13- Síntese acerca dos desafios de conservação e áreas prioritárias de preservação das espécies analisadas na pesquisa.....	175
ANEXO A- Tabela ilustrativa com aspectos ecológicos das espécies quelônias continentais do presente trabalho.....	176
ARTIGOS SUBMETIDOS.....	182

1 INTRODUÇÃO

As mudanças globais são motivo de preocupação de todos. A Ciência do Sistema Terrestre é um campo científico de integração de diferentes áreas disciplinares, com vistas à solução de problemas ambientais. Neste contexto, entender os processos históricos e na escala do tempo ecológico das variações ambientais é um atributo importante das ciências ambientais e disciplinas correlatas. Na área da biodiversidade, esse diálogo se dá com a biologia da conservação, que exerce um papel importante na construção de informações e análises sobre as mudanças nos ecossistemas, sejam causadas por processos naturais, mas especialmente por ações antrópicas.

O papel da biologia da conservação é de frear ou diminuir a extinção de populações de animais e plantas, ou prevenir a destruição de habitats em base de conhecimento científico interdisciplinar (Caro, 2010). As populações ou espécies estão sob ameaças em diferentes lugares, o que torna difícil as decisões sobre o foco de ações de conservação. Em condições ideais, estudos científicos detalhados deveriam preceder decisões sobre conservação. As principais dificuldades para integrar resultados de pesquisas científicas com políticas de conservação são: 1) a complexidade da natureza e o entendimento adequado dos processos na escala do tempo e espaço; 2) a escala da crise da biodiversidade; 3) decisões políticas que devem ser tomadas de maneira rápida, e 4) existência de custos de conservação que necessitam de estudos focados (Caro, 2010). Desta forma, o uso de “proxies” na biologia da conservação é uma estratégia importante da contribuição da ciência ambiental na construção de políticas públicas visando entender a dinâmica dos ecossistemas e as respostas das espécies mediante perturbações ambientais.

Hoje, a questão de conservação de quelônios é um ponto central dos estudos sobre ameaças da biodiversidade num mundo em rápida transformação. Para construir um volume de informações robusto para entender os padrões de respostas de várias espécies desse grupo biológico é importante ter acesso a amplo conjunto de dados e de abrangência regional sobre os níveis de mudanças do meio ambiente e os processos de adaptação. Particularmente, esse tipo de informação é importante para os quelônios, uma vez que as interações de mudanças climáticas com modificações das condições dos sistemas aquáticos e terrestres têm um potencial de causar desestruturação de populações e levando a gargalos genéticos ou extinção (Davenport, 1997; Fuentes *et al.*, 2016; Fuentes; Limpus; Hamann, 2011; Hays *et al.*, 2003; Lasala; Hughes; Wyneken, 2018; Lécuyer *et al.*, 2003; Poloczanska; Limpus; Hays, 2010; Valenzuela *et al.*, 2019).

Existem dois pontos importantes que devem ser analisados em estudos das ciências ambientais: a dimensão das mudanças globais, incluindo questões climáticas, e os processos de transformação dos ecossistemas naturais em novos cenários antropogênicos. Quando se fala sobre clima, refere-se as condições atmosféricas, sejam estas em escala local ou regional, cujos principais parâmetros são temperatura e precipitação. Tais parâmetros são controlados pelo (a): i) radiação solar; ii) eixo de rotação e translação da Terra com consequente formação dos ventos; iii) circulação das massas continentais e dos mares; iv) propriedades do ar, da água e da terra, com redistribuição de calor e umidade (Miller Junior, 2014).

Fatores climáticos influenciam diretamente a distribuição biota, de tal forma que a intensidade de eventos que a rodeiam deixam traços possíveis de serem interpretados e aplicados em medidas de preservação. Ademais, o uso de ferramentas geoquímicas como isótopos de carbono $\delta^{13}\text{C}$ e nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$, auxiliam na verificação de respostas adaptativas de espécies quelônias continentais, características da Amazônia Legal.

Outrossim, o uso de informações provenientes de modelos climáticos e dados geoquímicos sobre mudanças ambientais vêm ganhando mais protagonismo para o entendimento sobre as transformações de ecossistemas. A integração de tais dados podem ser incorporados em análises de sustentabilidade que envolvam entendimento de adaptação da biodiversidade em cenários futuros. Esse ponto é importante no contexto amazônico e suas políticas de conservação. A escolha de grupos específicos que corroborem ao entendimento de processos e dinâmicas ambientais na Amazônia é importante, e nesse ponto destacam-se os quelônios que, além de amplamente distribuídos e diversos, representarem um importante elos entre ecossistemas aquáticos e terrestres.

Grande parte da literatura científica sobre os impactos das mudanças climáticas em quelônios restringe-se a táxons marinhos, com relativamente pouca atenção dada às tartarugas de água doce. Devido a carência de pesquisas prévias e específicas, não existe uma análise comparativa e integrada envolvendo o grau informativo de isótopos entre espécies distintas de quelônios da região Amazônica, e cenários climáticos de distribuição. Logo, torna-se fundamental que se estabeleça os seguintes questionamentos: i) de que forma os resultados da análise isotópica entre representantes quelônios se diferenciam, e até que ponto tais diferenças serão informativas para compreensão das variações climáticas na região; ii) quais são os principais fatores atrelados a tais variações; iii) quais medidas a nível científico e social podem ser tomadas para atenuação dos efeitos provocados por impactos a biodiversidade.

2 PROBLEMÁTICA(S) DA PESQUISA E HIPÓTESE(S)

O desenvolvimento de estudos climáticos e sistemas de gestão pautados na comunicação das mais variadas disciplinas suportam medidas de redução das alterações atmosféricas em escala local, regional e global (Weart, 2013). O próprio IPCC, por exemplo, vem incentivando cada vez mais a elaboração de cenários climáticos que integrem em suas premissas a interdisciplinaridade no meio científico (Moss *et al.*, 2010).

Variações climáticas interferem na evolução da biota e, conseqüentemente, na qualidade de vida dos que dependem dela. Dessa forma, entender como tais mudanças são expressas na fauna amazônica, e de que forma diferentes áreas do conhecimento podem se complementar, torna-se indispensável à redução de impactos ambientais.

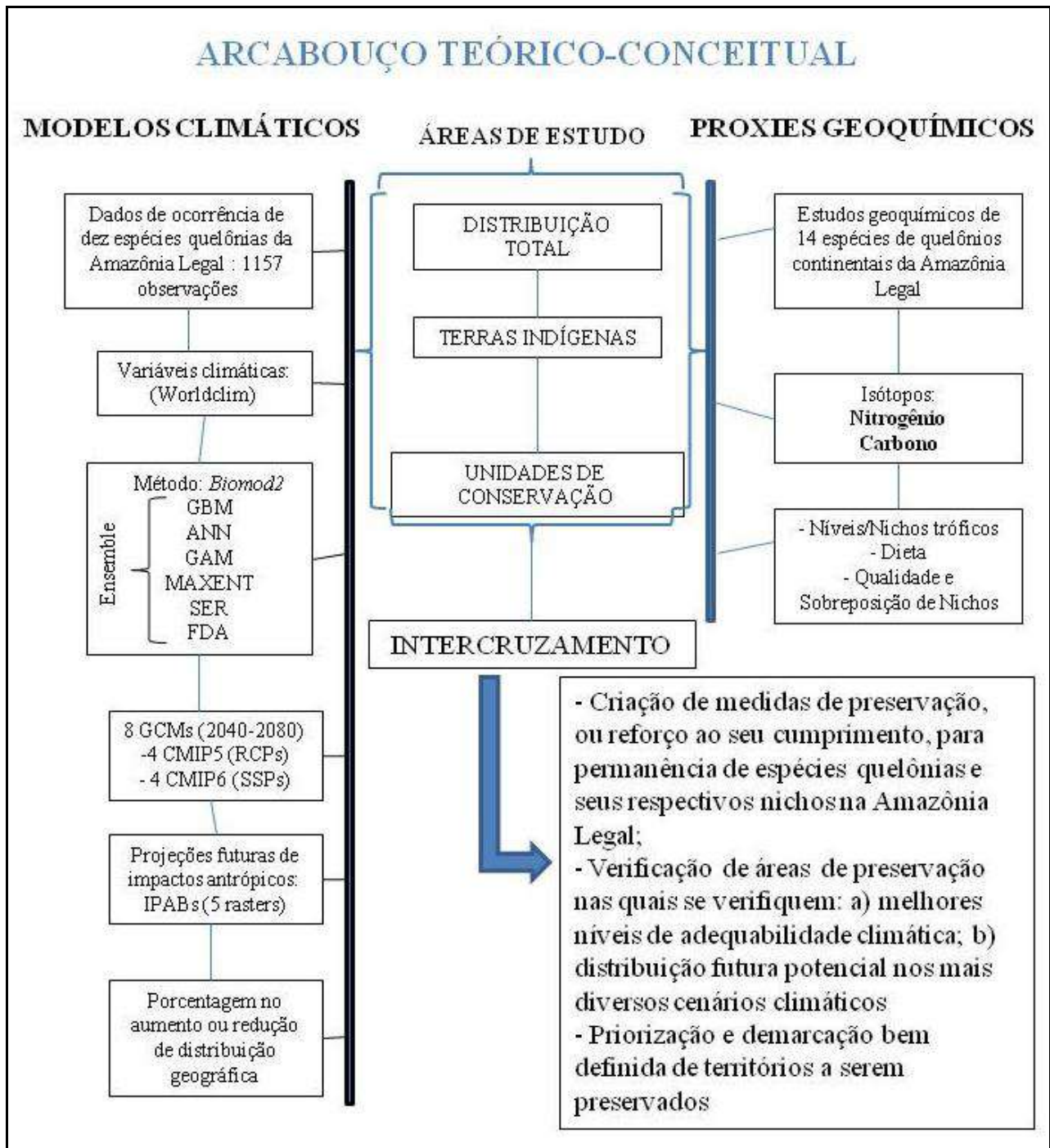
Pesquisas desenvolvidas na Amazônia sustentam a aplicabilidade de assinaturas isotópicas e modelos preditores em estudos climáticos e estimativas de resiliência ecológica (Anjos, 2016; Luz, 2016). Tais estudos, apesar de sua exiguidade e especificidades, devem ser considerados e ponderados como estratégia de conservação de biodiversidade.

Os cenários de distribuição podem ser correlacionados aos valores isotópicos de amostras quelônias para melhor compreensão dos níveis tróficos e demais parâmetros ecológicos, como suporte a medidas de conservação da fauna quelônia, assim como serviços ambientais e ecossistêmicos associados.

No trabalho aqui apresentado, a interdisciplinaridade se baseia no intercruzamento de modelos correlativos de adequabilidade climática, com dados isotópicos corroborantes com nichos tróficos (Figura 1), que embasem a criação de medidas preservacionistas da biota e serviços ecossistêmicos ou ambientais associados.

Diferentes níveis de resiliência de espécies de quelônios na Amazônia podem ser atestadas por meio de modelos ecológicos, climáticos e de pressão antrópica, associado a resultados de proxies geoquímicos.

Figura 1 - Arcabouço teórico-conceitual interdisciplinar.



Fonte: Da Autora.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

O objetivo desse estudo é a construção de estratégias de conservação biológica dos quelônios amazônicos em base de estudos interdisciplinares voltados a modelos ecológicos correlatos às mudanças climáticas, análises de tolerância ambiental baseadas em isótopos estáveis e construção de cenários de pressão antrópica como ameaças à sustentabilidade de populações continentais.

3.2 Específicos

- Modelagem de distribuição frente aos cenários climáticos,
- Modelagem de pressão antrópica atual e futura
- Análise ecológica das espécies e famílias baseada em isótopos estáveis

4 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Quelônios representam uma das linhagens mais remotas do planeta. Seus primeiros registros datam do Período Triássico, há aprox. 220 milhões de anos. Agrupados na ordem **Testudines**, quelônios ocupam uma grande variedade de ambientes terrestres, semiaquáticos e aquáticos, com representantes popularmente conhecidos como jabutis, tartarugas ou cágados. Morfologicamente, são reconhecidos pela presença de um casco ósseo envolto por escudo dérmico - característica exclusiva do grupo (Pritchard; Trebbau, 1984).

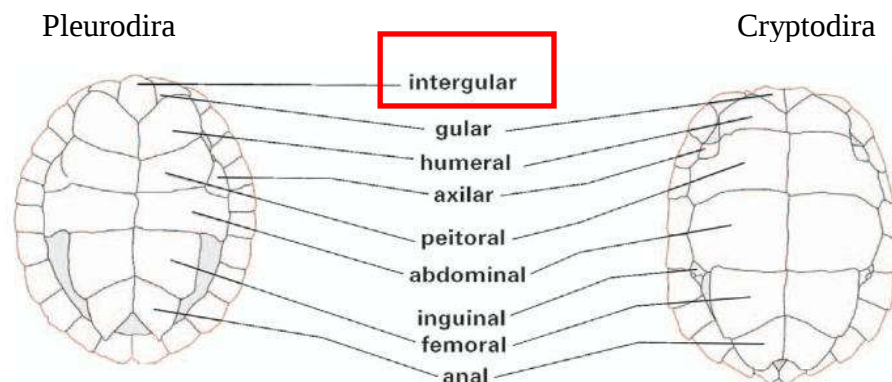
Salvo linhagens mais primitivas, duas infraordens principais compõem Testudines: Cryptodira e Pleurodira. Observa-se na primeira: retração do pescoço com movimento em S (Figura 2B); articulação ligamentosa da pelve com o casco (Figura 4A); e ausência de escudo intergular no plastrão (Figura 3B) (Pritchard; Trebbau, 1984). Na infraordem Pleurodira, a articulação das vértebras cervicais permite movimentos laterais do pescoço (Figura 2A), e a articulação entre pelve e casco é sutural (fusionada, Figura 4B), limitando certos movimentos do esqueleto apendicular (Mayerl; Brainerd; Blob, 2016).

Figura 2- Esquema com movimentação do pescoço em cada infraordem. A: Pleurodira. B: Cryptodira.



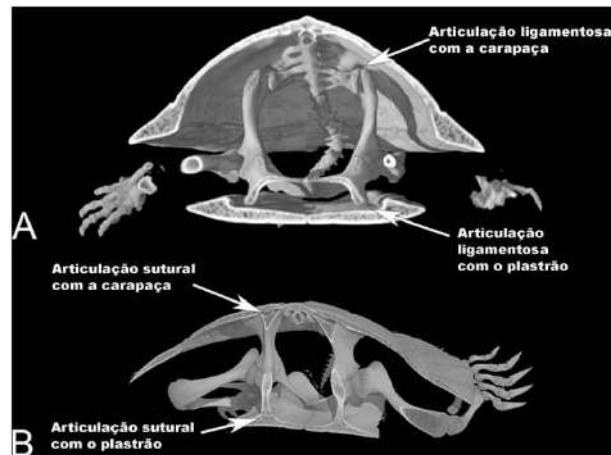
Fonte: (Bernhard *et al.*, 2016).

Figura 3 - Plastrão nas infraordens (escudo intergular em Pleurodira)



Fonte: (Ferrara *et al.*, 2016).

Figura 4- Articulações da pelve com o casco (setas). A: Cryptodira; B: Pleurodira.



Fonte: (Williams; Stayton, 2019).

Cryptodira é considerada a mais diversa em escala mundial, com vasto registro em espécies terrestres, semiaquáticas e aquáticas das mais variadas salinidades, enquanto pleuródios atuais restringem-se a ambientes dulcícolas do Hemisfério Sul do planeta (Sánchez-Villagra; Scheyer, 2010). Porém, a diversidade genérica e específica de Pleurodira é a mais destacada em esfera regional, desde o registro fóssil ao recente, com representantes da família Chelidae e Podocnemidae/Podocnemididae.

Dentre espécies atuais de Chelidae documentadas na Amazônia Legal, registram-se: *Chelus fimbriata*, o “matá-matá”; *Mesoclemmys gibba*, o “cágado-de-poças-da-floresta”; *M. nasuta*, ou “cágado-da-cabeça-de-sapo-comum”; e *M. raniceps*, a “lálá”; *Phrynops geoffroanus*, ou “cangapara”; *Ph. tuberosus*, “cágado-rajado”; *Platemys platycephala*, o “jabuti-machado”; e *Rhinemys rufipes*, “cágado-vermelho”. Podocnemididae integra _ para a região Norte_ *Peltocephalus dumerilianus* (“cabeçudo”), acrescida de quatro espécies de *Podocnemis*: *P. expansa*, conhecida popularmente como “tartaruga da Amazônia”; *P. unifilis*, o “tracajá”; *P. erythrocephala*, a “tartaruga irapuça”; *P. sextuberculata*, o “pitiú” ou “iaçá” (Ferrara *et al.*, 2017).

Em relação à Cryptodira, constata-se representantes amazônicos continentais da família Kinosternidae com a espécie *Kinosternon scorpioides*, também conhecido como “cabeçudinho”, “peito-de-mola” ou “muçua”; e Testudinidae, com *Rhinoclemmys punctulata*, as “peremas”; e duas espécies de *Chelonioides*, a *Ch. carbonarius* (“jabuti-vermelho” ou “jabuti-piranga”) e *Ch. denticulatus* (“jabuti-amarelo” ou “jabuti-tinga”) (Tabela 1) (Fagundes *et al.*, 2018; Rhodin *et al.*, 2019).

4.1- Aspectos Ecológicos

4.1.1 Importância Ecológica–Ameaças X Conservação

Com cerca de 12 famílias e aproximadamente 349 espécies registradas nos mais variados ambientes (Rhodin *et al.*, 2019), quelônios continentais estão envolvidos em diversas interações ecológicas. Além de dispersores de sementes (Liu; Platt; Borg, 2004; Moll; Jansen, 1995), os mesmos atuam como consumidores de vegetais, insetos, peixes e matéria morta, em complexas redes ecológicas que os convertem em predadores, ou presas naturais de outros vertebrados (Vogt, 2008).

Demais atributos incluem ciclagem de nutrientes, transformação de matéria orgânica em proteína animal - seja em ambientes terrestres ou aquáticos -, e remoção de restos orgânicos mortos (Ferrara *et al.*, 2016). Além disso, quelônios migratórios que percorrem longas distâncias para alimentação, reprodução e nidificação, destarte potencializam o transporte de substâncias cruciais em ciclos biogeoquímicos.

Vale ressaltar que a quantidade de biomassa produzida pela fauna quelônia é considerável, fator este justificado por elevadas densidades populacionais que determinados táxons alcançam (Iverson, 1982). Ademais, e conforme mencionado anteriormente, quelônios exercem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, dentro e entre ambientes aquáticos, semiaquáticos e/ou terrestres, atuando como predadores ou presas que mantém em funcionamento um ou mais ecossistemas.

Quelônios herbívoros, por exemplo, podem armazenar massa corporal a mais em relação a quantidade que despendem em seu metabolismo, tornando-se presas em potencial de predadores dos mais diversos níveis tróficos (Jodice *et al.*, 2006). Outro aspecto a ser destacado está relacionado a produção de matéria orgânica contida nos ninhos de quelônios, cujos ovos são fonte de proteínas e lipídios que compõem a base alimentar tanto de vertebrados quanto invertebrados dos mais variados ambientes, sendo assim uma espécie de atributo que confere aos quelônios a qualidade de elo entre diversos ecossistemas. (Fagundes; Vogt; Marco Júnior, 2016)

A importância dos Testudines no fluxo de energia também é atribuída a seu papel como táxon consumidor, especialmente necrófago. Ressalta-se todavia que quelônios ocupam posições tróficas diversas. Fator este que lhes confere, em vários casos, um caráter dominante em suas respectivas comunidades (Fukumori *et al.*, 2016; Hastings *et al.*, 2014). Sendo assim, quaisquer eventos que impliquem na remoção ou extirpação de tartarugas podem ter efeitos

desastrosos na estrutura e função das comunidades que compõem. Dentre as consequências geradas no processo, estão a perda da diversidade genética, assim como níveis alterados de biomassa e resiliência a espécies invasoras ou parasíticas.

Por fim, além de atuarem como dispersores de sementes e germinação de plantas, quelônios sobretudo tocadeiros contribuem a ciclagem de nutrientes nos solos (Cunha; Bernhard; Vogt, 2020). Todavia, a falha no reconhecimento dos quelônios para manutenção da biodiversidade e heterogeneidade de um habitat resulta em impactos ambientais das mais variadas magnitudes (Lovich *et al.*, 2018). Na Amazônia, por exemplo, o comércio irrestrito de carne e ovos de quelônios ao longo das décadas, aliado aos desmatamentos e expansão de áreas urbanas, colabora à diminuição de espécimes *in situ*, sendo a tartaruga-da-amazônia, tracajá, pitiú, irapuca e o cabeçudo os grupos mais suscetíveis e, ao mesmo tempo, necessários à sobrevivência de certas comunidades tradicionais (Santos *et al.*, 2019; Carrasco *et al.*, 2018; Ferrara *et al.*, 2016; Rhodin *et al.*, 2019).

4.1.2 Estratégias de Conservação

Visando-se a redução de tais impactos, criam-se estratégias de conservação nas quais diferentes *stakeholders*¹ atuam de forma conjunta. (Fagundes, 2015; Fagundes; Vogt; Marco Júnior, 2016; Rees *et al.*, 2016). O Programa Quelônios da Amazônia (PQA), por exemplo, foi criado em 1990 com suporte de grupos de pesquisa, entidades (não) governamentais e comunidades tradicionais/locais para manutenção da fauna. Integram o PQA: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Universidade Federal do Pará (UFPA), a Universidade Federal do Tocantins (UFT), a Associação de Ictiólogos e Herpetólogos da Amazônia (AIHA), o Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), o Projeto Pé-de-Pincha da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e o Projeto Tartarugas da Amazônia (Salera Júnior; Balestra; Luz, 2016; Schneider *et al.*, 2011).

Outro caso refere-se ao Programa de Conservação dos Quelônios do Mosaico do Baixo Rio Negro, uma parceria entre moradores locais e os seguintes grupos de apoio: *Wildlife Conservation Society - Brasil* (WCS Brasil), Departamento de Unidades de **Conservação da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Amazonas** (DEMUC/SEMA-AM), **Fundação Vitória Amazônica** (FVA), **Instituto Chico Mendes de Conservação da**

¹ *stakeholders*: agentes envolvidos e/ou beneficiados em planejamentos de conservação

Biodiversidade (ICMBio), **Instituto de Pesquisas Ecológicas** (IPÊ), e Projeto Pé-de-Pincha (Ferrara *et al.*, 2017).

Sinergias são altamente relevantes pela sua dimensão ecológica, econômica e educacional, uma vez que o envolvimento dos referidos *stakeholders* permite o desenvolvimento de sistemas de produção pautados na sustentabilidade (Silva *et al.*, 2017; Silva; Peres, 2016; Jentsch *et al.*, 2018). Suas ações implicam, sobretudo, no monitoramento de espécies em comportamento reprodutivo, verificação de territórios para nidificação, morfometria dos ovos, acompanhamento dos processos de desova e eclosão, supervisão dos quelônios recém-nascidos (Bernhard *et al.*, 2016).

Apesar da importância das referidas parcerias e demais suportes implantados, (criação de áreas protegidas contra desflorestamentos e projetos infraestruturais ou agrícolas), o ciclo de vida de quelônios continentais permanece ameaçado (Fagundes *et al.*, 2018). Torna-se necessário, em políticas ambientais, o conhecimento de mecanismos de integração ecossistêmica, haja vista que, na Amazônia Legal, áreas protegidas mostram-se mais eficientes na preservação de táxons terrestres, não considerando apropriadamente as relações entre ecossistemas terrestres e aquáticos na manutenção de serviços ambientais prestados aos residentes locais (Silva *et al.*, 2017; Fagundes; Vogt; Marco Júnior, 2016).

Outrossim, segundo Luz *et al.* (2019), alterações no regime hídrico da região contribuem às cheias ou secas prolongadas e assoreamento dos rios, que podem ocasionar distúrbios severos nos processos reprodutivos, migratórios e alimentares da fauna quelônia da região Amazônica. O assoreamento compromete fortemente espécies que dependem dos bancos de areia e de barrancos para a desova. Estes, por sua vez, necessitam não estar alagados durante a incubação dos filhotes. Ainda:

“Grandes empreendimentos hidrelétricos, comumente, induzem o desmatamento e inundam extensas áreas, inclusive áreas protegidas (Fearnside, 2015), podendo impactar áreas reconhecidas como de elevada importância para a conservação de quelônios.” (Fagundes *et al.*, 2019, p. 75)

Outra ameaça a fauna quelônia que desperta preocupações é a sua vulnerabilidade a variações climáticas. Sendo ectotérmicos, muitos quelônios apresentam distribuição geográfica e mecanismos dispersivos altamente restritos, e adaptabilidade a climas específicos, salvo alguns táxons migratórios cujo metabolismo é endotérmico, mais intenso e

condizente com seu ciclo de vida (Davenport, 1997; Fuentes *et al.*, 2016; Fuentes; Limpus; Hamann, 2011; Hays *et al.*, 2003; Lasala; Hughes; Wyneken, 2018; Lécuyer *et al.*, 2003; Lillywhite, 2016; Poloczanska; Limpus; Hays, 2010; Valenzuela *et al.*, 2019).

Além disso, há espécies em que a determinação do sexo está fortemente atrelada às temperaturas dominantes ao longo do desenvolvimento embrionário (Boyle *et al.*, 2014; Grayson *et al.*, 2014), processo este referido por **TSD** (*Temperature-dependent sex determination*). O aumento de calor gera impactos nas proporções sexuais de filhotes, com superpopulação de fêmeas em relação a machos mediante tais irregularidades atmosféricas (Booth; Astill, 2001; Fagundes, 2015; Fuller *et al.*, 2013; Godley *et al.*, 2002; Hawkes *et al.*, 2007; Hays *et al.*, 2017; Montero *et al.*, 2018; Sim; Booth; Limpus, 2015; Witt *et al.*, 2010). Pesquisas confirmam que tanto desenvolvimento embrionário como determinação sexual exigem intervalos de temperatura restritos (Fuentes; Limpus; Hamann, 2011; Refsnider; Janzen, 2016; Sim; Booth; Limpus, 2015), em ovos cuja plasticidade fenotípica é altamente limitada (Deutsch *et al.*, 2008; Liles *et al.*, 2019), gerando risco populacional e, por conseguinte, perda de variabilidade genética mediante alteração de parâmetros climáticos.

Em esfera extrínseca, condições atmosféricas interferem diretamente na ação de ondas e correntes, com alterações no transporte de nutrientes, comprometendo o ciclo de vida de vários grupos com elevada fidelidade de áreas forrageadas e/ou percorridas (Griffin *et al.*, 2019; Minagawa, 2017). Além disso, mudanças climáticas comprometem os ciclos de chuvas e cheias, impactando diretamente várias espécies quelônias, cujo ciclo reprodutivo é sincronizado com as mudanças de estação seca para chuvosa e vice-versa. (Eisemberg *et al.*, 2016)

Logo, a maioria dos estudos acadêmicos voltados à conservação quelônia gira em torno dos seguintes procedimentos metodológicos técnicas para proteção e monitoramento de ninhos, e sua exequibilidade por participação conjunta dos *stakeholders* envolvidos (Esteban *et al.*, 2018; Terán; Vogt; Thorbjarnarson, 2008; Marcovaldi *et al.*, 2014, 2016; Miorando *et al.*, 2013; Petit; Bugoni, 2017; Pike, 2014); monitoramento ecológico por marcação e recaptura, agrupamentos genéticos, telemetria satelital ou assinaturas isotópicas (Hart *et al.*, 2014; Hatase *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2014; Marcovaldi *et al.*, 2010; Robinson *et al.*, 2016); modelagens preditivas de distribuição de nichos para diferentes cenários climáticos (Fagundes, 2015; Griffin *et al.*, 2019; Hawkes *et al.*, 2007; Hays; Scott, 2013; Pike, 2014; Saba *et al.*, 2008; Seminoff *et al.*, 2012; Shaver *et al.*, 2016; Van Houtan; Halley; Marks, 2015; Waterson *et al.*, 2016; Witt *et al.*, 2010).

4.2 Nichos e Modelos Climáticos

O primeiro conceito de nicho foi introduzido por Joseph Grinnell, em 1917, um naturalista especialista em aves e mamíferos da América do Norte. Na dimensão Grinnelliana, um nicho compreende uma série de qualidades ambientais e abióticas (e.g. temperatura, precipitação, radiação solar, topografia etc), primordiais a estabilidade de uma espécie e suas populações em um dado local. Dez anos depois, o ecólogo britânico Charles Sutherland Elton sugere um significado alternativo ao termo nicho, que corresponderia ao *lugar de uma espécie em seu ambiente biótico, suas relações com os alimentos e os inimigos* (Elton, 1927), sendo seu principal foco as interações bióticas (e.g. competição, parasitismo, predação) assim como a relação entre recursos disponíveis e seus consumidores (Soberón, 2007). Elton sugere que uma espécie pode ocupar dois nichos, da mesma forma que um único nicho pode ser ocupado por mais de uma espécie (Colwell; Rangel, 2009).

Apesar das divergências conceituais existentes, o significado de nicho que predomina na literatura científica advém de Hutchinson (1957). Segundo este, nicho seria a soma de todos os fatores ambientais que influenciam um organismo, em um *hiperespaço* ou *hipervolume* n -dimensional, providos de n recursos limitantes a sua sobrevivência. Em uma abordagem alternativa, Chase; Leibold (2004) reúnem os três conceitos em um único, no qual um nicho deve dispor de *condições ambientais que permitam à espécie suprir suas necessidades mínimas, de tal forma que a taxa de natalidade de uma população local seja igual ou maior que sua taxa de mortalidade*.

Em suas pesquisas em limnologia, Hutchinson (1957) acrescenta o termo *biótopo*, conceituando-o como um mero espaço físico de um ecossistema (e.g como um lago, floresta). Em 1978, o mesmo autor atribui aos estudos de nichos a presença de eixos representativos de condições ambientais, referidas pelo termo “cenopoéticas”, e demais eixos inerentes aos recursos disponíveis, ou *bionômicos* que, em contraposição aos primeiros, podem ser consumidos. Dessa forma, surgem as primeiras inferências para embasamento da chamada *Dualidade de Biótopo-Nicho*, como forma de esclarecimento da diferença entre espaço geográfico e atributos que o integram.

Verifica-se na literatura a distinção entre diferentes tipos de nicho. O Nicho Fundamental, por exemplo, é determinado pelas propriedades intrínsecas de uma espécie, isto

é, como ela responde ao meio ambiente, abrangendo assim atributos fisiológicos que controlam níveis de tolerância a mudanças ambientais, sem considerar possíveis fatores bióticos (Soberón; Arroyo-Peña, 2017). Em outras palavras, o conceito de nicho fundamental poderia ser associado ao de nicho Grinnelliano, determinado a partir de condições não interativas, também referidas como variáveis cenopoéticas, como é o caso das variáveis de natureza climática.

O Nicho Potencial, proposto por Jackson e Overpeck (2000), é um subconjunto do Nicho Fundamental em que características climáticas existentes na paisagem e no tempo realmente coincidem com os requisitos fisiológicos da espécie. De maneira que mudanças em tais interações podem implicar na forma, tamanho e posição ocupada pelo nicho potencial no espaço. Por fim, tem-se o Nicho Realizado, que seria o segmento do Nicho Potencial realmente utilizado pela espécie, considerando fatores bióticos como agentes competidores e predadores, além de parâmetros dispersivos e colonizadores. Em outras palavras, este tipo de nicho agrega áreas de populações-fonte da espécie em questão.

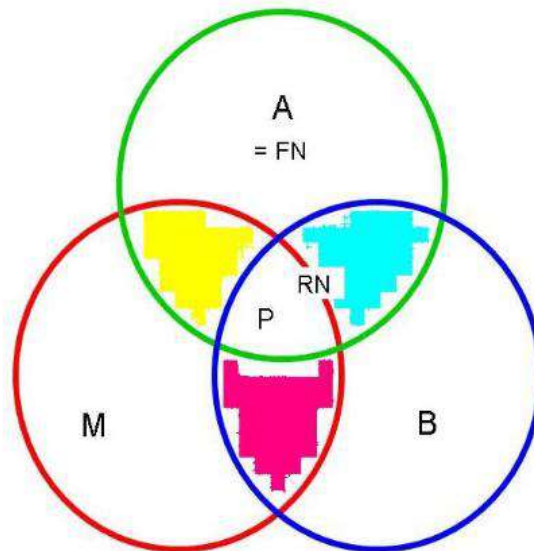
De maneira heurística, a ecologia distributiva se espelha no chamado diagrama BAM (Figura 5), isto é, uma esquematização da distribuição geográfica de uma espécie, via cruzamento de três atributos cruciais a um habitat em potencial: a) fatores abióticos (A) ou *Abiotic*; fatores bióticos (B) ou *Biotic*; níveis de acessibilidade por mecanismos dispersivos, migratórios e colonizadores (M) ou *Migration*. O diagrama de BAM baseia-se na premissa de que tão importantes quanto parâmetros abióticos e bióticos, é o intercruzamento destes com potenciais áreas de deslocamento no espaço geográfico, registrados em uma dada espécie (Peterson; Cobos; Jiménez-García, 2018), fatores estes que regulam acessibilidade da mesma a determinados recursos.

No tocante aos fatores climáticos, sua compreensão torna-se de fundamental importância à determinação da distribuição geográfica de uma espécie, cujas representações podem ser exemplificadas nos chamados **Modelos de Distribuição de Espécies** ou **SDMs**, (*Species Distribution Models*), também conhecidos como ou **Modelos de Nicho Climático**. Tais modelos requerem o uso de variáveis climáticas cujos valores não somente determinem a ocorrência presente de um táxon, como forneçam estimativas de adequabilidade climática, nos mais diversos cenários temporais e espaciais (Araújo; Thuiller; Pearson, 2006).

Modelos climáticos possibilitam inferências quanto a viabilidade de um determinado habitat à sobrevivência de espécies (Thuiller *et al.*, 2004; Thuiller; Lavorel; Araújo, 2005). Diante disso, propostas envolvendo a integração de métodos correlativos e mecanísticos são

constantemente observados. A principal diferença entre as duas abordagens é o fato de que, nos procedimentos mecanísticos, um conjunto de atributos comportamentais, morfológicos e fisiológicos são levados em consideração, e seus meios de estudo envolvem, geralmente, técnicas de natureza experimental.

Figura 5 - Diagrama de BAM. A área verde (A) integra a área geográfica com o conjunto condições abióticas adequadas à espécie, podendo ser considerada a expressão geográfica do Nicho Fundamental (NF). A área B (azul) é a região de interações inter-específicas. $A \cap B$ representa a extensão geográfica do Nicho Realizado (RN) da espécie. M (vermelho) compreende as áreas de acessibilidade às espécies em algum sentido ecológico, sem barreiras ao movimento e colonização. $A \cap B \cap M = P$, representa a distribuição geográfica das espécies, reunindo assim condições bióticas, abióticas e de deslocamento adequadas.



Fonte: (Soberon; Peterson, 2005).

Por outro lado, a principal abordagem do método correlativo abrange: (a) localidades georreferenciadas para as espécies em questão (ou seja, as coordenadas de latitude e longitude dos pontos de coleta das espécies), (b) dados sobre variáveis climáticas (e.g. precipitação anual, temperatura média mensal, média da precipitação no trimestre mais seco etc) nos pontos de ocorrência das espécies e arredores, e (c) algoritmos cujos métodos de processamento estimem o nicho climático e níveis de adequabilidade climática da área em estudo à manutenção de espécies (Wiens; Graham, 2005).

A integração das metodologias acima referidas possibilita a elaboração de cenários preditores, que representam uma estratégia cada vez mais recorrente na pesquisa e avaliação das mudanças climáticas ao longo do tempo, permitindo uma série de simulações nos mais

variados contextos, via integração de diversas linhas de pesquisa cujo aporte científico proporcione a criação de políticas de preservação do meio ambiente e seus agentes (Riahi *et al.*, 2017).

Para avaliação dos impactos ambientais associados ao clima, o **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas** ou **IPCC** (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) incentiva a comunidade científica a construção de projeções baseadas em emissões de gases do efeito estufa e suas concentrações (sobretudo CO₂, CH₄, N₂O), assim como reativos e precursores de aerossóis tais como SO₂, NO_x, VOCs, OC e NH₃ (Moss *et al.*, 2010; Van Vuuren *et al.*, 2011). GCMs totalmente acoplados, que incluem componentes da atmosfera, criosfera, terra e oceano, são chamados de **Modelos do Sistema Terrestre** ou **ESMs** (*Earth System Models*), sendo estes os componentes primordiais à modelagem climática (Parris, 2021).

O Projeto de Intercomparação de **Modelos Acoplados** ou **CMIP** (*Coupled Model Intercomparison Project*), criado em 1995, reúne um conjunto de modelos climáticos globais também referidos como **GCMs** (*Global Climatic Models*), cujos relatórios de avaliação, originalmente referidos como *Assessments Reports*, têm contribuído à compreensão e avaliação das mudanças climáticas (Meehl *et al.*, 2005; Su *et al.*, 2021).

O CMIP realiza experiências com modelos atmosféricos acoplados a dinâmica oceânica, eventos de superfície terrestre e termodinâmica de calotas polares, como ferramentas à compreensão de mudanças climáticas passadas, presentes e futuras, sejam estas decorrentes de eventos naturais ou forças radioativas, e que resultam em múltiplos modelos (Eyring *et al.*, 2016).

As duas primeiras fases do CMIP (CMIP1 e CMIP2) previam simulações interanuais de forçantes radiativas reduzidas a nulas, assim como concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico a uma taxa de 1% ao ano (Stouffer *et al.*, 2017). O CMIP3 marcou uma mudança de paradigma na comunidade científica do clima ao tornar a produção de modelos e respectivas simulações de mudanças climáticas de última geração amplamente acessíveis à comunidade científica. Em suas premissas, está o **Informe Especial sobre Cenários de Emissão** ou **SREs** (*Special Report on Emissions Scenarios*), que integra o quarto relatório de avaliação do IPCC, AR4, publicado em 2007. A fase seguinte, designada CMIP4, foi criada como suplemento aos experimentos do CMIP3. Todavia, asserções do CMIP4 são pouco divulgadas na literatura devido níveis comparativamente reduzidos de premissas em relação a outros modelos acoplados. (Stouffer *et al.*, 2017)

Em 2013, o CMIP5 reporta, através do AR5, a criação dos cenários RCP (*Representative Concentration Pathways*), traduzidos para português como *Trajetórias Representativas de Concentração*, que fornecem embasamento à simulações de diferentes cenários em uma ampla escala temporal e espacial, mediante informações sobre tipos e níveis de emissões atmosféricas, assim como forçantes radiativas e qualidade no uso da terra (Taylor; Stouffer; Meehl, 2012). O forçamento radiativo de CO₂ inclui o impacto direto da duplicação de dióxido de carbono atmosférico e impactos indiretos decorrentes de suas emissões, assim como reações químicas de ajustes de parâmetros atmosféricos e de superfície rumo condições de equilíbrio (Sherwood *et al.*, 2020).

Dentre os RCPs previamente mencionados, a trajetória 2.6 representa o cenário mais otimista, com maior controle nas emissões de gases do efeito estufa. Nos cenários RCP4.5 e RCP6.0, são previstas concentrações moderadas de gases do efeito estufa, assim como forçantes radiativas de moderadamente leves a pouco elevadas. Por fim, o RCP8.5 representa o pior cenário, com níveis máximos de emissão de gases e aerossóis responsáveis por aumento de temperatura, assim como forçantes radiativas de ampla magnitude (Tabela 1).

O Sexto Relatório (AR6), liberado em 2022, foi produzido com auxílio do CMIP6. Neste, são descritos cenários SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*), também referidos como **Trajetórias Econômicas Compartilhadas**, cujas asserções se assemelham as das RCPs, com acréscimo de atributos socioeconômicos inerentes a diferentes nações, observados nas interações entre sociedade e meio ambiente (Fujimori *et al.*, 2017; O'Neill *et al.*, 2014; The CMIP6 landscape, 2019).

Em outras palavras, os SSPs quantificam uma série de fatores em esfera populacional, tais como desenvolvimento econômico, urbanização, aspectos relacionados a educação e saúde, níveis de adaptação/resiliência, assim como premissas pré-estabelecidas no CMIP5 sobre o uso da terra, fontes energéticas e mudanças climáticas (Begum *et al.*, 2023; O'Neill *et al.*, 2014, 2017).

Representam-se assim trajetórias alternativas características de cada local, como fatores demográficos, econômicos, tecnológicos, sociais, de governança e ambientais, assim como níveis de vulnerabilidade em diferentes esferas e escalas, descritas e mensuradas de maneira qualitativa e quantitativa (O'Neill *et al.*, 2017). Segue abaixo a essência de cada uma das trajetórias econômicas compartilhadas, proposta por Sanderson *et al.* (2019, Tabela 1):

Tabela 1- Configurações das Trajetórias Representativas de Concentração.

PARÂMETROS	RCP 8.5	RCP 6.0	RCP 4.5	RCP 2.6
Forçantes Radiativas	8,5W/m ²	6W/m ²	4,5W/m ²	2,6W/m ²
Concentração de CO ₂ equivalente até 2100	~1370 ppm CO ₂ eq	~850 ppm CO ₂ eq	~650 ppm CO ₂ eq	~490 ppm CO ₂ eq
Produção de gases do efeito estufa	Alta	Moderada a alta	Moderada a baixa	Baixa
Crescimento populacional	Elevado	Moderado a elevado	Moderado a reduzido	Reduzido
Políticas de mitigação das mudanças climáticas	Ausentes	Moderadas	Moderadas	Severas
Uso da terra	Cultivo e pasto em larga escala	Médio cultivo. Redução de pasto	Maior redução de cultivo e pasto	Bioenergia

Fonte: (Sanderson *et al.*, 2019).

SSP1- Sustentabilidade: narrativa fundamentada em investimento maciço em infraestrutura e tecnologia verdes, assim como saúde e educação em massa.

SSP2- *Business as usual*: cenário em que as tendências sociais, econômicas e tecnológicas seguem padrões históricos. Tecnologia avança de forma constante junto à crescimento econômico moderado.

SSP3- Rivalidade regional: nações priorizam interesses locais ou regionais em detrimento de premissas internacionais, em um cenário de divergências no âmbito político, econômico e social.

SSP4- Desigualdade: intensa desigualdade social. Populações são divididas em pequenos grupos geralmente ricos e com maiores níveis de instrução que apoiam setores impulsionados pelo capital, e grandes grupos de baixa renda e menor instrução, que fornecem recursos naturais à uma economia global. Urbanização cresce em paralelo com a segregação nas mais variadas esferas.

SSP5- Desenvolvimento fomentado em combustíveis fósseis, com intensa expansão das áreas urbanas e impactos ambientais.

O CMIP6 amplia e endossa **Projetos de Intercomparação de Modelos** ou MIPs, (*Model Intercomparison Project*) que, a despeito de suas particularidades, podem ser integrados em vista de uma melhor compreensão das causas e consequências de mudanças climáticas. Basicamente, os MIPs integram uma série de premissas que não foram

minuciosamente esclarecidas em fases anteriores do CMIP. Sendo assim, o Painei CMIP6 preenche uma série de lacunas em esfera teórica e prática, além de minimizar sobreposições entre os MIPs, de modo que a cada um sejam atribuídas funções específicas que, em um dado momento, se complementam em vista de resultados assertivos sobre a evolução do clima no planeta (Eyring *et al.*, 2016).

Outro aspecto a ser considerado na caracterização de um CMIP é a chamada sensibilidade climática, que registra mudanças de temperatura mediante forçantes radiativas, como incremento de CO₂ na atmosfera motivado por atividades antropogênicas. O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, documentado em 1990, previa níveis de sensibilidade em torno de 1,5 - 4,5 °C, intervalo este ratificado nos relatórios posteriores do IPCC, porém refutado no AR6, que eleva esse valor a um intervalo 1,8-5,6 °C (Meehl *et al.*, 2020; Taylor; Stouffer; Meehl, 2012).

Como estratégia de caracterização do CMIP6, um dos procedimentos adotados é a mensuração de sensibilidade climática através da Sensibilidade Climática de Equilíbrio ou **ECS** (*Equilibrium Climate Sensitivity*), uma medida de resposta da temperatura atmosférica mediante emissões duplicadas de dióxido de carbono. Uma vez que o clima da Terra demanda tempo para se ajustar às mudanças na concentração de CO₂, sua retenção na atmosfera pode durar décadas quando produzido em larga escala, potencializando assim o aquecimento global até que gases de efeito estufa se dissipem e novas condições de equilíbrio sejam atingidas.

Outra ferramenta importante seria a **Resposta Climática Transitória** ou **TCR** (*Transient Climate Response*), que corresponde ao aumento de aquecimento com duplicação nas emissões de CO₂, e seu incremento gradual de 1% ao ano. Difere da ECS pela ausência de equilíbrio na distribuição de calor entre a atmosfera e os oceanos (MEEHL *et al.*, 2020). Todavia, a TCR também se tornou uma métrica padrão de sensibilidade do modelo como resposta ao aumento do CO₂. De maneira que estimativas de ECS e TCR são constantemente implementadas para geração de novos modelos climáticos, cujas simulações integram experimentos padrão do chamado **Diagnóstico, Avaliação e Caracterização de Clima** ou **DECK** (*Diagnosis, Evaluation, and Characterization of Klima*), requisitos imprescindíveis para integração ao CMIP6 (Meehl *et al.*, 2014).

4.3 Geoquímica Isotópica

Aspectos relacionados a fauna como distribuição espacial, vias migratórias e uso do habitat tornam-se cruciais em decisões de manejo. Tais levantamentos reforçam medidas de conservação de espécies e seus recursos, cujos inventários podem ser implementados de diversas formas. Dentre as ferramentas utilizadas em estudos ecológicos, estão os isótopos, caracterizados como representações atópicas do mesmo elemento químico, que registram o mesmo número de prótons, porém não de nêutrons.

As razões isotópicas são normalmente representadas através da notação δ , em valores de ‰ (per mil), através da fórmula:

$$\delta = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}] * 1000$$

onde R_{amostra} refere-se a razão isotópica medida na amostra e $R_{\text{padrão}}$ a mesma razão de um padrão, que geralmente é um material de referência laboratorial. Sendo assim, valores δ são reportados em comparação a um padrão internacionalmente reconhecido, fixado em 0‰ (Caxito; Silva, 2015).

Em particular, verifica-se uma categoria específica de isótopos, referidos como isótopos estáveis, assim chamados devido à ausência de radiação emitida ao longo do tempo. Suas aplicações revelam-se ainda mais imprescindíveis devido sua natureza interdisciplinar, integrando princípios como os da bioquímica, fisiologia, ecologia, geoquímica e climatologia em interpretações de natureza ambiental (West *et al.*, 2006).

Dentre as frações isotópicas mais estudadas em interpretações ambientais, estão as associadas a isótopos estáveis de hidrogênio (H), carbono (C), nitrogênio (N), e oxigênio (O), e cujas análises são referidas por **SIA** (*Stable Isotope Analysis*) ou **Análises de Isótopos Estáveis**. A partir das SIAs implementadas em amostras orgânicas de um ser vivo, uma série de interpretações ecológicas são possíveis, tais como tipos de habitat ocupados, posicionamento em níveis tróficos e aspectos ambientais de locais percorridos.

Outros fatores associados ao estudo dos isótopos estáveis estão no chamado fracionamento isotópico dos mesmos que, por sua vez, configuram-se em uma série de efeitos, sendo os principais: efeito isotópico cinético e efeito isotópico termodinâmico. O primeiro refere-se a diferenças nas taxas de reação de isótopos distintos. Quando um elemento ou molécula envolve-se em uma reação, o isótopo mais leve forma ligações atômicas mais

fracas do que o isótopo mais pesado. Dessa forma, o isótopo leve é mais reativo, característico de produtos da reação, enquanto o isótopo pesado concentra-se nos reagentes (Caxito; Silva, 2015).

O segundo efeito isotópico, chamado termodinâmico, ocorre devido mudanças na energia livre do sistema, em caso de substituição de um dado átomo pelo seu isótopo. Um composto que possui um isótopo mais pesado apresenta uma menor reserva de energia livre em relação a um composto com um isótopo mais leve. Este efeito está relacionado a diferenças nas propriedades físico-químicas das amostras analisadas, evidentes em processos onde não há quebra ou formação de ligações químicas (Caxito; Silva, 2015).

Razões isotópicas fundamentam-se nas composições isotópicas de um dado material apresentam a chamada discriminação isotópica, ou fracionamento isotópico, que nada mais é do que *um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo pesado da amostra em estudo (produto) em relação a sua fonte (substrato)* (Lopes apud. Pereira, 2007 p.16). Amostras enriquecidas em ^{13}C , por exemplo, tendem a ser mais pesadas ou menos negativas. Por outro lado, amostras empobrecidas em ^{13}C e, por conseguinte, maior influência do isótopo ^{12}C , são mais leves e mais negativas (Martinelli *et al.*, 1988).

Assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ são amplamente utilizadas na compreensão de processos metabólicos, distribuição de forrageamento, distâncias de migração e uso do habitat, beneficiando a conservação e o manejo de espécies ameaçadas (Pearson; Van De Merwe; Connolly, 2020) Ainda, o estudo das frações de tais isótopos fornecem vários detalhes relacionados a alimentação vegetal como, por exemplo, pela presença de plantas C_3 ou C_4 no sistema. Animais cuja dieta é rica em carbono C_3 apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -20‰ de razão isotópica. Gramíneas, que metabolizam mais carbono em sua cadeia (C_4), apresentam uma razão isotópica entre aproximadamente -12 e -8 ‰ (Amorim *et al.*, 2009). Ademais, em se tratando do carbono, o isótopo estável mais abundante é o ^{12}C , compondo 99% dos átomos de carbono presentes em uma substância. Em seguida vem o ^{13}C , que compõe cerca de 1% do total (Carvalho, 2008).

As plantas que utilizam a via metabólica alternativa dos ácidos crassuláceos (MAC) possuem as mesmas enzimas utilizadas na via C_4 , porém com atividade enzimática diferenciada. Essas plantas fixam o CO_2 durante a noite, usando a PEP-carboxilase com fracionamento, comumente, encontrado em plantas C_4 , associado ao de C_3 , sendo sua

variabilidade isotópica registrada entre -10 e -28‰ (Pereira, 2007 p.22).

Quanto ao nitrogênio, mais de 99% do nitrogênio conhecido na superfície da Terra ou próximo a ela está presente como N₂ atmosférico ou N₂ dissolvido no oceano. Apenas uma pequena quantidade é combinada com outros elementos, tais como C, O e H. Como o nitrogênio ocorre em vários estados de oxidação e nas formas gasosa, dissolvida e sólida (N₂, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₃, NH₄⁺), ele torna-se um elemento altamente adequado em estudos isotópicos (Hoefs, 2009).

Este reservatório massivo de N₂ bem misturado com uma composição isotópica que é essencialmente constante em 0‰. “O nitrogênio, na maioria das outras partes da biosfera, também tem uma composição isotópica próxima a esse valor, variando em um intervalo de -10 a + 10‰, principalmente porque a taxa de suprimento de nitrogênio frequentemente limita reações como crescimento de plantas. Sob essas condições, todo o nitrogênio disponível pode ser consumido sem fracionamento isotópico. Sendo assim, as taxas de suprimento e as quantidades de substrato N são importantes para entender as distribuições isotópicas de nitrogênio” (Peterson; Fry, 1987, p.302).

A associação de isótopos de carbono com os de nitrogênio representa um conjunto de ferramentas importantes ao monitoramento de biomassa, permitindo o reconhecimento de vias metabólicas, produtividade primária, elucidação de vias fotossintéticas, processos fisiológicos nos vegetais ou na determinação das fontes de alimento para consumidores em teias alimentares aquáticas ou terrestres (Cerling; Quade, 1993; Eagle *et al.*, 2010; Finné *et al.*, 2017; Koch, 1998; Kohn; Cerling, 2008; Kohn; Law, 2006; Lira *et al.*, 2021; O’Leary, 2008).

A combinação desses isótopos em inferências de níveis tróficos e paradigmas da teia alimentar é fortemente defendida, uma vez que auxiliam tanto na caracterização do papel funcional dos organismos, como em estimativas de energia ou fluxos de massa (Post, 2002). Variações de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ vêm sendo cada vez mais utilizadas na compreensão da composição alimentar de animais, sobretudo vertebrados e insetos (Gannes; Martínez Del Rio; Koch, 1998; Hobson, 1999; Rubenstein; Hobson, 2004). Basicamente, o $\delta^{13}\text{C}$ aumenta pouco menos que 1‰ de um nível trófico a outro, enquanto $\delta^{15}\text{N}$ aumenta aproximadamente 3‰ (Carvalho, 2008). Sendo assim, da mesma forma que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ auxiliam na detecção de diferentes fontes de carbono, valores de $\delta^{15}\text{N}$ são úteis na identificação do nível trófico ou estrutura trófica de um dado organismo ou sistema de interesse (Seminoff; Bjorndal; Bolte, 2007).

4.3.1 Análises isotópicas em quelônios

Tecidos quelônios investigados no meio científico integram tecidos de colágenos, amostras sanguíneas, musculares, tegumentares tal como garras, epiderme e escudos, assim como conteúdo estomacal e amostras fecais (e.g. Bulté; Gravel; Blouin-Demers, 2008). Suas interpretações permitem inferências de padrões de crescimento (Biasatti, 2004), níveis de competição interespecífica (Pearson *et al.*, 2013; Cavia; López; Martín, 2010), níveis tróficos, com identificação e correlações de áreas destinadas a forrageio ou desova (Blasi *et al.*, 2018; Gillis *et al.*, 2018; Godley *et al.*, 1998; Hatase *et al.*, 2002; Marques *et al.*, 2011; Medeiros *et al.*, 2019; Moraes; Silva, 2018; Pajuelo *et al.*, 2012; Pearson *et al.*, 2019; Van Houtan; Halley, 2011; Van Houtan; Halley; Marks, 2015; Vander Zanden, 2012; Vander Zanden *et al.*, 2013, 2015, 2005).

Em estudos desenvolvidos por Ennen *et al.* (2016), verifica-se uma relação positiva entre riqueza de espécies e produtividade primária, impulsionada pela alta diversidade (principalmente em água doce e riqueza taxonômica em ambientes aquáticos) e produtividade primária líquida no ecossistema. Porém, ressalta-se que pesquisas envolvendo quelônios continentais são comparativamente mais escassas em relação aos marinhos. Destacam-se, dentre estes, estudos implementados por de Aresco (2005), Aresco (2010), Aresco; Gunzburger (2007), Aresco; Travis; Macrae (2015), com inferências tróficas para quelônios da Flórida (EUA), assim como Seminoff; Bjorndal; Bolte (2007) que realiza investigações semelhantes em espécimes dulcícolas da Carolina do Sul. Outros como Polo-Cavia; López; Martín (2010), Pearson *et al.* (2013), investigam frações isotópicas em tecidos de espécies nativas e invasoras do Rio Manzanares (Espanha) e Filadélfia (EUA), respectivamente.

No Brasil, estudos com quelônios continentais tendem a ser mais isolados. Marques *et al.* (2011), por exemplo, identifica frações isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ semelhantes em diferentes tecidos para cada espécime de *Phrynops geoffroanus* (Mato Grosso), em vida, buscando técnicas pouco invasivas e prejudiciais a integridade física dos espécimes. Tal preocupação é potencializada pela presença de diferentes frações isotópicas em cada tipo de tecido. De modo que, uma vez comprovada proporções semelhantes $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em músculos e garras, por exemplo, tem-se uma alternativa viável e não destrutiva de espécimes, aos estudos dietéticos em *P. geoffroanus*, com o uso de isótopos.

Lara *et al.* (2012), desempenha estudos com amostras de espécies dulcícolas *Podocnemis unifilis* e *P. expansa*, da Amazônia, que ratificam uma série de particularidades referentes ao tipo de alimentação em cada uma das espécies. Embora nenhuma diferença

significativa tenha sido reportada entre as os táxons em relação a $\delta^{13}\text{C}$, *P. unifilis* acusou maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ do que *P. expansa*, corroborando a uma possível mudança trófica devido à exploração de diferentes recursos alimentares. Fator este que reforça a existência de diferentes níveis tróficos, assim como a simpatria existente entre as mesmas (Marques *et al.*, 2014).

Algum tempo depois, Marques *et al.* (2017), publicam resultados viabilizados por estudos isotópicos em *Mesoclemmys vanderhaegei* (Mato Grosso), uma espécie relativamente recente, que ainda não consta em determinados bancos de dados e referências. Suas conclusões sugerem ausência de mudanças significativas nos sinais isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre machos e fêmeas, assim como ausência de correlação entre massa corpórea e sinais isotópicos.

Sem embargo, é preciso considerar que muitos estudos isotópicos ainda precisam ser implementados em demais espécies quelônias da Amazônia Ocidental. De modo que, para este trabalho, propõe-se uma análise interpretativa dos dados geoquímicos, como estratégia de avigoramento e confronto com modelos correlativos, sugeridos na literatura científica.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Coleta das Amostras

5.1.1 - Coleta tecidual de material isotópico

Foram selecionadas amostras ósseas de carapaças de quelônios coletados dentro dos limites da Amazônia Legal, depositados nos acervos herpetológicos do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém, e Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas/INPA, em Manaus, armazenados em coleção seca e sob temperatura ambiente, conforme orientações de Haywood et al. (2019) e Barrow; Bjorndal; Reich (2008).

Ao todo, 40 amostras foram selecionadas, 3 para cada espécie, e uma para *Phrynops geoffroannus*, totalizando 14 espécies, sendo estas: *Podocnemis expansa*, *Podocnemis unifilis*, *Podocnemis erythrocephala*, *Podocnemis sextuberculata*, *Peltocephalus dumerilianus*, *Platemys plathycephala*, *Chelus fimbriata*, *Rhinemys rufipes*, *Mesoclemmys gibba*, *Phrynops geoffroannus*, *Chelonoidis denticulata*, *Chelonoidis carbonaria*, *Rhinoclemmys punctularia* e *Kinosternon scorpioides*.

Perfurações foram efetuadas com ferramenta rotativa Dremel 4000 e lâmina diamantada, para remoção de material ósseo de camadas compactas, com o máximo de mineralização em apatita, que potencializa o status de preservação de amostra (Amiot et al., 2004, 2007, 2017; Barrick; Fischer; Showers, 1999; Matson; Fox, 2008).

5.2 Metodologia

5.2.1 Nichos e Modelos Climáticos

Para este trabalho, faz-se uso de atributos característicos tanto do CMIP5 quanto CMIP6, representados respectivamente por trajetórias RCPs e SSPs disponibilizadas na plataforma digital WorldClim, para reprodução de possíveis cenários de distribuição, presente e futura, de espécies quelônias da Amazônia Legal. Utilizam-se aqui ambas as vertentes por serem as mais atualizadas, complementares e aceitas na comunidade científica. Encontram-se disponíveis na referida plataforma variáveis climáticas para os seguintes cenários: RCP2.6; RCP4.5; RCP6.0; RCP 8.5; SSP1-2.6 (associação do SSP1 e RCP2.6); SSP2-4.5 (associação do SSP2 e RCP4.5); SSP3-7.0 (associação do SSP3 e um RCP não disponível na plataforma WorldClim, o 7.0); e o SSP5-8.5 (associação dos piores cenários futuros, SSP5 e RCP8.5).

Foram reunidos dados de ocorrência geográfica de espécies quelônias com distribuição na Amazônia Legal. Dados estes expressos em coordenadas, disponibilizadas pela plataforma digital “*Global Biodiversity Information Facility*” (GBIF). Somente espécies com mais de 20 ocorrências distintas foram selecionadas para modelagem. Uma vez definido o número de observações, coordenadas duplicadas foram eliminadas. Em seguida, fez-se o intercruzamento entre dados de ocorrência e variáveis bioclimáticas disponibilizadas na plataforma digital do *WorldClim*, em uma resolução de 10 arcos por minutos.

Para seleção de variáveis com o mínimo de multicolinearidade, foram adotados seguintes procedimentos estatísticos: Fatores de Inflação da Variância ($VIF < 2$) e Correlação de Pearson ($|r| \leq 0.5$). Ao final, quatro variáveis foram elencadas à modelagem (Tabela 2): BIO2, temperatura média diurna (em °C); BIO8, temperatura média no trimestre mais úmido (em °C); BIO16, precipitação média ao longo do trimestre mais chuvoso (em mm); BIO17, precipitação durante trimestre mais seco (em mm). Valores de importância das variáveis foram calculados via critério **AUC** (*Area Under the Curve*). O método de correlação de Pearson pode variar entre - 1 e 1, onde 0 denota correlação nula, 1 seria uma correlação positiva total e - 1 uma correlação negativa total. Sua expressão matemática corresponde a seguinte:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde n é o tamanho da amostra; x_i e y_i são os pontos individuais; $\bar{x}$ é a média de x ; $\bar{y}$ é a média de y .

O **Fator de Inflação da Variância** ou **VIF** (*Variance Inflation Factor*) é uma medida que tende a valores elevados mediante presença significativa de multicolinearidade entre as variáveis envolvidas. Uma vez que tais variáveis são identificadas, procedimentos estatísticos são necessários à seleção daquelas com o mínimo possível de correlação, conforme o cálculo abaixo:

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2}$$

Onde R^2 representa um coeficiente de determinação, que auxilia na detecção de

variáveis correlacionáveis. $R^2 = 0$ denota ausência completa de multicolinearidade.

Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas disponíveis na plataforma WorldClim. Em sombreado, estão as quatro variáveis ambientais selecionadas após teste de multicolinearidade.

Variáveis bioclimáticas
BIO1 = Temperatura Média Anual
BIO2 = Temperatura média diurna - média mensal (max temp -min temp)
BIO3 = Isotermalidade (BIO2 / BIO7) (* 100)
BIO4 = Sazonalidade de temperatura (desvio padrão * 100)
BIO5 = Temperatura máxima no mês mais quente
BIO6 = Temperatura mínima no mês mais frio
BIO7 = Faixa Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8 = Temperatura média no trimestre mais úmido
BIO9 = Temperatura média no trimestre mais seco
BIO10 = Temperatura média no trimestre mais quente
BIO11 = Temperatura média no trimestre mais frio
BIO12 = Precipitação Anual
BIO13 = Precipitação no mês mais úmido
BIO14 = Precipitação no mês mais seco
BIO15 = Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
BIO16 = Precipitação no trimestre mais úmido
BIO17 = Precipitação no trimestre mais seco
BIO18 = Precipitação no trimestre mais quente
BIO19 = Precipitação no trimestre mais frio

Fonte: WORLDCLIM

Recorreu-se neste trabalho ao uso de dados climáticos de quatro Modelos de Circulação Global ou GCMs (*General Circulation Models*), do CMIP5, acrescidos por suas respectivas atualizações no CMIP6 (Tabela 3): a) BCC-CSM1-1 e BCC-CSM2-MR; b) IPSL-CM5A-LR e IPSL-CM6A-LR; c) MIROC5 e MIROC6; d) MRI-CGCM3 e MRI-ESM2-0. Simulações de distribuição foram delineadas em todos os RCPs e SSPs disponíveis para cada

modelo, no intervalo temporal de 2040 a 2080. Cada modelo foi analisado quanto ao seu desempenho na determinação de extensão de TIs e UCs por área total, em km², para todas as trajetórias RCP e SSP.

A calibração dos modelos compôs-se de uma série de etapas. Primeiramente, foram inseridos números de pseudoausências equivalentes aos números de presenças, para evitar possíveis desbalanceamentos dos dados. Em seguida, foram selecionadas variáveis bioclimáticas da plataforma digital *WorldClim*, versões 1.4 e 2.1, utilizando-se como critério a causalidade. Ou seja, quais variáveis são, com base na literatura (e.g. RODRIGUES et al., 2019), as mais significativas à distribuição de quelônios nos trópicos.

Tabela 3- Relação de Modelos Climáticos Globais (GCMs) e respectivas Instituições de pesquisa responsáveis pelo seu desenvolvimento.

GCM	INSTITUIÇÕES RESPONSÁVEIS	REFERÊNCIAS	PROJETO
BCC-CSM1-1	Beijing Climate Center (China)	Gao F., Xin X. (2012) Wu (2012)	CMIP5
BCC-CSM2-MR		Wu <i>et al.</i> (2019)	CMIP6
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre Simon Laplace (França)	Dufresne <i>et al.</i> (2013)	CMIP5
IPSL-CM6A-LR		Boucher <i>et al.</i> (2020)	CMIP6
MIROC5	University of Tokyo Center for Climate System Research (Japão)	Watanabe <i>et al.</i> (2010)	CMIP5
MIROC6		Tatebe <i>et al.</i> (2019)	CMIP6
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (Japão)	Yukimoto <i>et al.</i> (2012)	CMIP5
MRI-ESM2-0		Yukimoto <i>et al.</i> (2019)	CMIP6

Os modelos foram combinados no software Rstudios, com auxílio do pacote de instalação Biomod2. Procedimentos estatísticos necessários às modelagens foram implementados por meio dos seguintes algoritmos: Análise Discriminante Flexível (FDA); Modelo Aditivo Generalizado (GAM); Modelo Crescente de Gradiente (GBM); Envelope de Faixa de Superfície (SRE); Rede Neural Artificial (ANN); e Máxima Entropia (MAXENT). Cada algoritmo executa procedimentos matemáticos distintos, necessários à definição dos

nichos ecológicos, com base na distribuição das espécies no espaço ambiental multidimensional. Uma vez definido o nicho, projeções no espaço geográfico são viabilizadas em mapas preditivos (TSOAR et al., 2007).

O MAXENT é uma técnica de aprendizado de máquina (*machine-learning*) que estima a distribuição de probabilidades mais próxima à uma distribuição uniforme, sob a restrição de que os valores esperados para cada variável ambiental estejam de acordo com os valores observados nos pontos de ocorrência (Phillips; Anderson; Schapire, 2006; Phillips; Dudík, 2008). Basicamente, o aprendizado de máquina pressupõe que o processo de geração de dados decorre da observação de padrões de entradas e respostas dominantes, para a geração de modelos preditores (Elith; Leathwick; Hastie, 2008).

De acordo com Hastie; Tibshirani (1990), **Modelos Aditivos Generalizados** ou **GAM** (*Generalized Additive Model*) são modelos de regressão que reúnem um conjunto de funções classificadas como suavizadoras (*smooth functions*), cuja proposta é ajustar e melhor representar uma associação de variáveis dependentes e independentes, que não se correlacionam de maneira linear (Guisan; Edwards; Hastie, 2002; Yee; Mitchell, 1991).

O **Modelo Crescente de Gradiente** ou **GBM** (*Generalized Boosting Models*) envolve técnicas de *machine learning*, regressão e árvores de decisão, que são combinadas para geração de um dado modelo preditor. Os GBMs podem eventualmente produzir um bom ajuste dos valores preditos a partir de valores observados, mesmo se a natureza específica das relações entre as variáveis for complexa, haja vista que uma tendência do algoritmo é a eliminação gradativa de resíduos (também referidos como erros) que comprometam a qualidade do modelo (Li; Wang, 2013)

Uma **Rede Neural Artificial** ou **ANN** (*Artificial Neural Network*) integra um sistema complexo, incluindo *machine learning* e árvore de decisão, e cujo processamento envolve neurônios artificiais interligados, que processam informações para geração de modelos com possíveis habitats à uma espécie. A principal característica de uma rede neural é a presença de uma camada oculta (*hidden layers*) que processa informações recebidas por neurônios de uma camada de entrada (*input*), gerando resultados (*output*) que compõem as predições (Hopfield, 1982; Lek; Guégan, 1999).

O **Envelope de Faixa de Superfície** ou **SRE** (*Surface Range Envelope*) representa, conforme indica o termo, um método de envelope bioclimático que analisa dados de presença e condições climáticas relacionadas aos pontos de ocorrência. Valores mínimos e máximos

para as variáveis ambientais em foco são estabelecidos, como suporte a inferências de habitat em potencial para a espécie (Araújo; Peterson, 2012; Hallgren et al., 2019).

Por fim, a **Análise Discriminante Flexível** ou **FDA** (*Flexible Discriminant Analysis*) é um modelo de classificação baseado na integração de vários modelos de regressão linear, separados uns dos outros a partir das propriedades das variáveis dependentes. As projeções geradas a partir dos algoritmos acima foram associadas via técnica *ensemble forecasting*, que visa a elaboração de um modelo de consenso, com indicação de áreas de melhor adequabilidade climática (Araújo; New, 2007; Giannini et al., 2012).

Os dados da pesquisa foram divididos aleatoriamente em subconjuntos de treinamento e teste de 75% e 25%, respectivamente, como estratégia de validação dos cenários fornecidos e redução de erros. Ajustes estatísticos foram implementados através do método **TSS** (*True Skilled Statistics*), cujo valor pode variar de -1 a + 1. Valores negativos e próximos de zero são excluídos, pois indicam baixo nível de acurácia das predições. De modo que, para este trabalho, consideraram-se aceitáveis apenas os modelos com valor igual ou superior a 0,7 ($TSS \geq 0,7$).

A partir da geração de *rasters*, um conjunto de dados matriciais com informações sobre os valores de adequabilidade climática – dentre outros atributos referentes a área em estudo-, foram elaborados mapas de projeção futura e cálculos de área de distribuição total de quelônios, assim como cálculos de distribuição em Unidades de Conservação e Terras Indígenas. Cada espécie conta com 18 *rasters*, sendo nove característicos de trajetórias RCPs e nove SSPs. Tais valores, somados para todas as espécies e 18 cenários *ensemble*, totalizam 198 mapas de distribuição. Seus dados foram importados, analisados e retrabalhados no *software* ArcGis 10.5, com informações acerca dos níveis de adequabilidade de área para cada espécie, em diferentes cenários e escalas de tempo.

Ainda, foram gerados gráficos representativos da distribuição espacial das espécies em todas as RCPs e SSPs, com projeções distributivas em Km² em **Unidades de Conservação** (UCs) e **Terras Indígenas** (TIs), em comparação com a área total de ocorrência dos grupos. Foi elaborado um gráfico para cada espécie, somado a um gráfico *ensemble* reunindo todas as espécies modeladas.

Outro aspecto importante a ser ressaltado refere-se a qualidade dos GCMs empregados. Isto é, as previsões referentes a fauna quelônia em UCs e TIs conforme cada um dos oito modelos propostos, gerando um total de 16 gráficos representativos da distribuição

geográfica das espécies, considerando os tipos de baseline – RCP ou SSP –, cenários/trajetórias correspondentes, assim como intervalo temporal em foco.

Em seguida, foram gerados mapas de influência antrópica, com recursos tecnológicos fornecidos através dos **IPABs** (Índices de Pressão Antrópica à Biodiversidade), com auxílio do **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais** (INPE). Tais mapas foram gerados a partir de rasters SSP atuais, assim como trajetórias 2-4.5 e 3-7.0. As projeções futuras de cada espécie foram plotadas ao lado do respectivo mapa do IPAB, para comparações devidas.

Por fim, foram gerados códigos para cálculos de área total em Km² característicos de cada espécie, acrescidos por áreas de distribuição em Unidades de Conservação e Terras Indígenas por intervalo temporal, *baseline*, cenário com geração de porcentagens de ganho ou perda (aumento ou redução de expansão) territorial. Áreas de distribuição das espécies por Modelo Acoplado (CMIP5 e CMIP6) também foram inferidas, em vista de comparações e inferências de suporte a distribuição da fauna para ambos os projetos.

5.2.2 Geoquímica Isotópica

5.2.2.1 Processamento laboratorial de material isotópico

Análises geoquímicas foram realizadas no Laboratório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), tanto para Carbono como para Nitrogênio. Exemplares foram lavados com água Milli-Q para remoção de agentes contaminantes. Amostras foram tratadas com NaOCl a 2.5% para isolamento de resíduos orgânicos, e com ácido acético a 1M tamponado com acetato de cálcio (pH = 4.5, 2h) para remoção de carbonatos secundários.

Frações isotópicas de carbono foram discutidas com base em referências δ do VPDB (Belemnite fóssil da Formação Pee Dee). O nitrogênio foi extraído de tecidos colágenos, e suas frações isotópicas foram confrontadas aos padrões ¹⁵N estabelecidos pelo AIR (*Atmospheric Nitrogen*). Processamentos foram calculados de acordo com a equação a seguir:

$$\delta X = [(R_{amostra}/R_{padrão}) - 1] \times 10^3$$

Onde X é ¹³C ou ¹⁵N, e R é a razão correspondente entre o C^{13/12} ou N^{15/14}.

O valor médio de cada família quelônia característica da Amazônia Legal, foi processado para ¹⁵N, %N, ¹³C, %C, C/N, para melhores esclarecimentos sobre níveis tróficos

e área fonte de alimentação.

5.2.2.2 Análise estatística

Os procedimentos estatísticos foram desenvolvidos das seguinte forma:

- Análise de Variância (ANOVA): Para identificar diferenças significativas nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ entre famílias e espécies taxonômicas.
- Testes de Correlação (Pearson): Para explorar associações entre os valores isotópicos.
- Gráficos Boxplot: Para ilustrar a variação dos valores isotópicos dentro e entre famílias.
- Índice de Pianka: para verificação da sobreposição de nicho entre as espécies analisadas.

$$O_{ij} = \frac{\sum^{n(i)} p_{ij} \times p_{ik}}{\sqrt{(\sum^{n(i)} p_{ij}^2 \times \sum^{n(i)} p_{ik}^2)}}$$

Onde:

O_{jk} = medida de sobreposição de nicho de Pianka, entre as espécies j e k ; P_{ij} = proporção do recurso alimentar i na dieta da espécie j ; P_{ik} = proporção do recurso alimentar i na dieta da espécie k ; n = número total de recursos alimentares.

- Teste de Tukey: para verificação da sobreposição de sinais isotópicos isolados, $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, entre as espécies.

- Índice padronizado de Levin: para verificação de amplitude de nicho das espécies

$$B_i = 1 / (n - 1) [(1 / \sum_j p_{ij}^2) - 1]$$

Onde:

B_i = índice padronizado de amplitude de nicho, p_{ij} = proporção da dieta do predador i sobre a presa j , e n = número total de itens (recursos) alimentares. Os valores de B_i variam de 0 (espécies consomem um único item) a 1 (espécies exploram itens disponíveis em igual proporção). Os valores de B_i são considerados altos quando maiores que 0,6, moderados, quando entre 0,4 e 0,6 e baixos quando abaixo de 0,4.

- Generalistas com amplitude isotópica maior (Levin>0.3) têm mais capacidade de

explorar novos habitats e recursos.

- Especialistas (Levin < 0.15) são altamente dependentes de condições específicas e enfrentam maior risco de extinção.

- Índice de Morisita-Horn (ou índice de sobreposição de Morisita): mede o quão dois conjuntos de dados são semelhantes ou diferentes entre si, variando de 0 (sem similaridade) a 1 (semelhança completa)

$$C^H = \frac{2 \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 / X^2 + \sum_{i=1}^n y_i^2 / Y^2 \right) \times XY}$$

Onde:

x_i = número de indivíduos na *iésima* espécie da amostra 1. y_i = número de indivíduos na *iésima* espécie da amostra 2. X e Y = número de espécies para as amostras 1 e 2. S = número de espécies para cada amostra.

6 RESULTADOS

6.1 Nichos e Modelos Climáticos

6.1.1 Projeções Futuras

Ao todo, 1157 pontos de ocorrência foram utilizados para as projeções. Dez espécies dispuseram de um conjunto suficiente de observações para modelagem de cenários RCPs e SSPs: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Rhinoclemmys punctularia*; *Kinosternon scorpioides*, *Chelonoidis carbonaria* e *Chelonoidis denticulata*.

Os valores TSS sugerem níveis satisfatórios de acurácia das projeções e cálculos gerados (Apêndice C.1-C.2, pg.153-154). Ademais, os procedimentos estatísticos acima referidos permitiram a seleção de quatro variáveis bioclimáticas de maior relevância à simulações de cenários distributivos futuros. Verifica-se, não obstante, maior influência da variável BIO16 - precipitação no trimestre mais úmido - à ocorrência das espécies em análise, seguida da BIO8, - temperatura média no trimestre mais úmido.

Para a espécie *Chelonoidis carbonaria* (jabuti-de-pata-vermelha), as projeções indicam mudanças reduzidas nos níveis de adequabilidade climática das áreas de estudo, independentemente dos cenários e períodos (Apêndice A.1-A.2, pg. 102-103). Ainda, no que concerne ao potencial de distribuição da espécie em Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs), as trajetórias SSPs são mais otimistas se comparadas as RCPs (Apêndice B.1, pg.135). A despeito dos resultados da pesquisa, a espécie *Ch. carbonaria* está entre as espécies cujos níveis de vulnerabilidade demandam medidas de preservação, asseguradas por premissas da IUCN.

Em relação a espécie *Chelonoidis denticulata* (jabuti-de-pata-amarela), observa-se uma redução drástica de áreas com níveis de adequabilidade climática apropriados, sobretudo em cenários extremos de emissões do efeito estufa e ausência de medidas de conservação (Apêndices A.3-A.4, pg. 104-105), com mais de 90% de perda de distribuição prevista para SSP5-8.5, e aproximadamente 80% de perda para o SSP3-7.0, ambas entre 2060 e 2080 (Apêndice C.3, pg. 155). De modo que os cenários intermediários RCP6.0 para 2050 e 2070 são os que melhor evidenciam condições a um crescimento populacional (Apêndice B.2, pg.136).

Os mapas dos IPABs sugerem um potencial maior de impacto à espécie *C. carbonaria* em relação a *C. denticulata*, sobretudo no Nordeste do bioma Amazônico. Fator este justificado pela distribuição geográfica relativamente diferenciada das espécies, que

repercutem em potenciais diferenciados de impactos entre os táxons (Apêndices A5-A6, pg.106-107).

Maiores perdas de adequabilidade foram identificadas no RCP 6.0 (Apêndice A.7-, pg.108) para *Chelus fimbriata* (matá-matá), com queda prevista de aproximadamente 7.37% e 21%, até 2050 e 2070, respectivamente. Ao passo que demais trajetórias RCP evidenciam condições climáticas favoráveis, ainda que relativamente variadas – em uma expansão de aproximadamente 3 a 20% da área atual- .

No tocante aos SSPs de *C. fimbriata*, as porcentagens demonstram variações positivas de adequabilidade climática, cujas previsões insuflam aumento de 13 a 19% de áreas com capacidade de ocupação (Apêndice A.8, pg.109). Todos os SSPs para espécie sinalizam distribuição geográfica ampla e pouco diferenciada entre suas trajetórias, se comparadas às predições RCP (Apêndice B.3, pg.137). Todavia, as projeções relacionadas aos IPABs sugerem que a espécie pode ser parcialmente afetada por impactos antrópicos (Apêndice A.9, pg.110), uma vez verificada sua ampla distribuição na Amazônia Legal, inclusive em áreas mais propensas a alteração.

Ainda, as análises sugerem possibilidade de aumento territorial climaticamente adequado a *Kinosternon scorpioides* (muçua) para todos os RCPs (Apêndice A.10, pg.111), sobretudo no cenário RCP4.5 de 2070, que atesta um aumento de 70% de representatividade em relação ao cenário corrente (Apêndice C.3, pg. 155). Além disso, apesar de seus valores positivos, percentual de expansão para os SSPs encontra-se abaixo de 25.5%, inferior em relação as trajetórias CMIP5 (Apêndice A.11, pg.112; Apêndice C.3, pg. 155).

Todavia, verifica-se SSP 1-2.6 e 2-4.5 foram, dentre todas as trajetórias, as mais bem sucedidas para distribuição da espécie em UCs e TIs (Apêndice B.4, pg.138). A despeito dos cálculos e valores inferiores de alteração na distribuição em sua distribuição nos SSPs em relação aos RCPs, deve-se considerar que tais medidas compreendem valores de expansão ou retração das populações nas áreas de estudo. Tal parâmetro difere da ocupação em si prevista para espécie, cujos valores expressam sua distribuição real, ao invés da dispersão. Ademais, os mapas referentes aos IPABs indicam impactos antrópicos em áreas que, ainda que parcialmente, justapõem-se a ocorrência da espécie (Apêndice A.12, pg.113).

Todas as projeções de *Mesoclemmys gibba* (cágado-de-poças-da-floresta) demonstram uma série de valores negativos de distribuição espacial, apesar do aumento aproximado de

24% no cenário SSP3-7.0, entre 2040 e 2060 (ver Apêndice C.3, pg. 155; Apêndice B.5, pg.139). É possível que tal percentual não altere significativamente mesmo com a influência antrópica, dada a localização e maior concentração de possíveis impactos em área de menor ocorrência da espécie (Apêndices A.13-A15, pg.114-116).

Em contraposição a *M. gibba*, os valores de adequabilidade climática para os RCPs em *Phrynops geoffrannus* (cágado-de-barbicha) demonstram melhor representatividade em relação aos SSPs, com maior porcentagem/aumento de distribuição (ver Apêndice C.3, pg. 155). Enquanto os valores de alteração dos SSPs mostram-se inferiores a 1%, os RCPs compreendem aumento de extensão espacial entre 40 a aproximadamente 85%, sendo a trajetória 6.0 a de desempenho mais reduzido.

Todavia, tal qual *K. scorpioides*, há uma ampla distribuição espacial da espécie nas SSPs quando comparadas às RCPs (Apêndices A.16-A.17, pg.117-118; Apêndice B.6, pg.140). Outro aspecto a ser realçado são os impactos antrópicos figurados através dos IPABs que, devido o caráter dispersivo de *Phrynops geoffroannus*, sobrepõem-se apenas em parte da área de área total projetada para a espécie (Apêndice A.18, pg.119), o que talvez implique em efeitos negativos de baixa ou média magnitude à permanência/sobrevivência dos seus representantes.

Platemys plathycephala (jabuti-machado) e *Podocnemis expansa* (tartaruga da Amazônia) demonstram tendências à perdas/valores negativos que ratificam uma distribuição futura menos significativa, salvo na trajetória SSP3-7.0 (2040-2060) de *P. expansa* que, assim como em *M. gibba*, sugere um incremento de aproximadamente 24% de expansão de habitats climaticamente mais adequados.

Ademais, observa-se que em *Pl. plathycephala* (Apêndices A.19-A.20, pg.120-121; Apêndice B.7, pg.141) e *P. expansa* (Apêndices A.21-A.22, pg.122-123; Apêndice B.8, pg.142) a trajetória com maiores perdas territoriais seria a SSP5-8.5, com valores negativos de aproximadamente 36 e 37%, respectivamente. Ao que tudo indica, embora as projeções de interferência antrópica repercutam em consequências negativas à fauna quelônia, suas localizações mostram-se pouco concordantes com as áreas de ocorrência de *Pl. plathycephala* e *P. expansa* (Apêndices A.23-A.24; pg.124-125), em uma configuração que, mesmo com os níveis de vulnerabilidade inerentes de cada táxon, pode ser um fator colaborador à sua permanência na Amazônia Legal.

No que tange à espécie *Podocnemis unifilis* (tracajá), cenários SSP são os mais promissores. Em UCs e TIs, destacam-se como os mais propícios à distribuição da espécie desde o cenário socioeconômico de sustentabilidade 1-2.6, aos intermediários 2-4.5 e 3-7.0. Tendência semelhante é observada entre os RCPs, sendo que tanto para o RCP8.5 quanto SSP5-8.5, os níveis da adequabilidade para espécie são consideravelmente inferiores (Apêndices A.25-26, pg.126-127; Apêndice B.9, pg.143).

Valores negativos de distribuição espacial foram reconhecidos em *Podocnemis unifilis* que, assim como nas demais espécies acima descritas, tem o seu potencial de dispersão e metabolismos comprometidos mediante cenários climáticos gradativamente menos favoráveis e sem medidas de contenção de calor. Um fator intrigante nas projeções é uma maior porcentagem de perda territorial em trajetórias RCP – cerca de 18% a 38% -, enquanto que nas SSPs tais perdas tendem a ser relativamente inferiores, a depender do intervalo temporal e da trajetória, sendo que a SSP3-7.0 e SSP5-8.5, ambas do intervalo de 2060 a 2080, apresentam os valores mais reduzidos de adequabilidade.

Considerando-se as comparações devidas entre as projeções e valores de distribuição com cenários de impactos antrópicos (Apêndice A.27, pg.128), infere-se no presente trabalho um risco de diminuição populacional de *P. unifilis*, sobretudo no Nordeste da Amazônia Legal, uma vez que a localização mencionada integra uma série de atributos climáticos que favorecem a distribuição da espécie, mas que pode, todavia, ser comprometida por distúrbios de natureza antrópica.

Por outro lado, os cenários previstos para *Rhinoclemmys punctularia* (“perema”) são, em sua maioria, positivos. O de maior destaque em termos de aumento de distribuição conta com uma porcentagem de 11,94% para SSP3-7.0 (2060-2080), enquanto que para perda foi atribuído um valor aproximado de -17,30%, para o RCP6.0 (2070). Dessa forma, o SSP3-7.0 mostra-se como o mais promissor, enquanto que o cenário RCP 6.0 é o menos favorável à expansão da espécie (Apêndices A.28-A.29, pg.129-130; Apêndice B.10, pg.144).

Assim como em *P. unifilis*, as projeções de distribuição de *R. punctularia* são parcialmente coincidentes, em termos de áreas, com as projeções de impactos antrópicos simulados através dos IPABs, sobretudo na porção Central e Nordeste da região (Apêndice A.30, pg.131). Tal fator, aliado ao elevado nível de vulnerabilidade de *P. unifilis*, atestado pela IUCN, indigita possíveis perdas que podem ultrapassar a porcentagem de redução prevista para o futuro.

Quanto aos cenários *ensemble*, uma tendência negativa de distribuição espacial é constatada em várias trajetórias, salvo em SSP1-2.6 (de 2040 a 2080), SSP3-7.0 (2040-2060) e RCP 4.5 (2050), cuja expansão das espécies, ainda que positiva, mostra-se inferior a 3%, valor este pouco significativo e que pode configurar em um panorama futuro pouco otimista.

Outrossim, os *ensembles* dos cenários RCPs e SSPs ratificam presença futura de territórios com maiores níveis de adequabilidade climática gradativamente comprometidos (Apêndices A.31-32, pg.132-133), sobretudo na ausência de políticas públicas de preservação da fauna herpetológica na Amazônia Legal. De maneira que o cenário RCP8.5 e SSP5-8.5 para espécies como um todo apresentam tendências a menor adequabilidade climática (Apêndice B.11, pg.146; Apêndice C.4, pg. 161-162), com retração dos táxons variando entre 10 a 11% a menos da ocupação atual, até 2080.

Consequentemente, ao reunirem-se os valores matemáticos das projeções para cada espécie, deduz-se que as espécies *Ch.denticulata*, *M. gibba*, *Pl. plathycephala*, *P. expansa* e *P. unifilis* encontram-se em um limiar negativo de distribuição espacial, com elevadas tendências de retração (Apêndice B.12, pg.147). Verifica-se ainda que a amplitude dos impactos ambientais provocados por ação humana, de acordo com os IPABs, é de magnitude mais significativa nas áreas Nordeste, Sudeste e Sul da Amazônia Legal _ cuja expressão da biodiversidade quelônia é relativamente menor _ , e mediana na Amazônia Central (Apêndice A.33; pg.134) Porém, para melhor caracterização dos IPABs, torna-se necessária a sua representação matemática, cujas comparações com os resultados matemáticos de expansão e retração espacial dos táxons permitam uma estimativa mais próxima da realidade quanto a evolução de nichos em potencial.

Não obstante, a tarefa acima descrita torna-se temporariamente inviável, devido a natureza recente e em fase de execução das pesquisas desenvolvidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/São José dos Campos), cuja produção bibliográfica encontra-se desprovida até então de publicações sobre atributos quantitativos e qualitativos dos IPABs e sua aplicabilidade nas mais variadas alçadas.

Outro fator a ser considerado diz respeito a distribuição de quelônios como um todo, em diferentes cenários climáticos, para diferentes Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs, Apêndice B.3, pg. 130). Estudos desenvolvidos no presente trabalho sugerem alteração no potencial de adequabilidade climática de UCs e TIs à manutenção das espécies ao longo do tempo e em diferentes cenários.

6.1.2 Modelos Climáticos Globais (GCMs)

Conforme mencionado anteriormente, quatro pares de GCMs foram utilizados nas projeções. Cada modelo representante de CMIP5 encontra-se acompanhado pelo seu correspondente do CMIP6: a) BCC-CSM1-1 e BCC-CSM2-MR; b) IPSL-CM5A-LR e IPSL-CM6A-LR; c) MIROC5 e MIROC6; d) MRI-CGCM3 e MRI-ESM2-0. Com exceção do MRI-ESM2-0, todos os outros modelos acusam menores níveis de adequabilidade de área no RCP8.5 e SSP5-8.5

Outrossim, os resultados indicam que, em se tratando da ocupação de Terras Indígenas e Unidades de Conservação, a maioria dos cenários futuros previstos não acusa diferenças significativas de distribuição geográfica dos quelônios entre as trajetórias SSPs. Exceções foram registradas para projeções SSP3-7.0 e 5-8.5, no intervalo 2061-2080, cujos valores espaciais são consideravelmente mais reduzidos para BCC-CSM2-MR e IPSL-CM6A-LR (Apêndice B.14, pg.148).

Embora Unidades de Conservação apresentem cenários relativamente otimistas e semelhantes em termos de amplitude espacial por trajetória, observa-se que, assim como em TIs, a distribuição faunística segundo BCC-CSM2-MR e IPSL-CM6A-LR para UCs sofre uma redução de ocorrência quelônia nas trajetórias SSP3-7.0 e 5-8.5, ao longo do intervalo de 2061-2080. Exceção é atribuída à projeção SSP3-7.0 do GCM MRI-ESM2-0, referente a 2061-2080, no qual a distribuição geográfica de quelônios melhor se destaca (Apêndice B.15, pg.149).

Com relação as projeções RCP, os valores de amplitude geográfica por trajetória são menos concentrados, com disposição em regressão linear, tal qual todas as demais trajetórias. Verifica-se ainda que os modelos BCC-CSM1-1 e IPSL-CM5A-LR acusam menor propensão à manutenção da fauna, entre 2040 e 2080, nas trajetórias RCP8.5 e SSP5-8.5, ao contrário da RCP2.6 e SSP1-2.6, que permitem expansão quelônia mais ampla. Os modelos climáticos MIROC5 e MRI-CGCM3 destacam-se pela preservação faunística, sobretudo em cenários intermediários RCP4.5 e RCP6.0, de 2040 a 2060. Os piores cenários correspondem ao RCP8.5, tanto de 2050 quanto 2070 (Apêndices B.16-B.17, pg.150-151).

Em resumo, o IPSL-CM6A-LR e MRI-ESM2-0 são os GCMs do CMIP6 mais promissores à expansão geográfica de testudíneos e manutenção de valores de adequabilidade

climática satisfatórios, com destaque aos SSPs intermediários 2-4.5 e 3-7.0, respectivamente. Para o CMIP5, os GCMs BCC-CSM1-1 e IPSL-CM5A-LR exibem maior representatividade à expansão de quelônios, tanto em UCs como TIs, tal qual os modelos do CMIP6, sobretudo mediante trajetórias climáticas com níveis de alteração climática mais brandos, isto é, RCP 2.6 (Apêndice C.5, pg.163-164).

Como estratégia de validação das referidas projeções, os Fatores de Inflação da Variância (VIF) suportam níveis consideravelmente reduzidos de multicolinearidade entre as variáveis ambientais. No geral, a literatura científica sugere valores inferiores a 10. Todavia, como todos os VIFs do presente trabalho foram aproximados a menores que 2, uma maior confiabilidade às projeções geradas pode ser assegurada (Apêndices C.6-C.7, pg.165-166).

6.2 Análises Isotópicas

Os sinais isotópicos e suas respectivas porcentagens foram tabelados da seguinte forma, para 14 espécies das 4 famílias características, embora não necessariamente exclusivas, da Amazônia Legal (Apêndice C.8, pg. 167-168; Tabela 2):

Tabela 4- Valores médios de isótopos estáveis de Nitrogênio e Carbono por espécie

Espécie	^{15}N	%N	^{13}C	%C	C/N
Família Podocnemididae					
<i>Podocnemis unifilis</i>	6,94	4,59	-26,43	15,7	3,42
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	7,11	4,41	-32,37	17,68	4,01
<i>Podocnemis expansa</i>	7,16	4,87	-24,21	16,97	3,48
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	9,36	4,36	-20,55	18,07	4,16
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	9,1	4,27	-25,88	15,56	3,64
Família Chelidae					
<i>Rhinemys rufipes</i>	10,76	4,68	-24,7	17,08	3,65
<i>Chelus fimbriata</i>	11,47	4,34	-27,63	13,62	3,14
<i>Mesoclemmys gibba</i>	9,83	4,76	-26,13	15,97	3,37
<i>Platemys plathycephala</i>	11,63	4,55	-23,17	13,9	3,06
<i>Phrynosps geoffroanus</i>	11,45	6,15	-28,24	21,08	3,43
Família Testudinidae					
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	11,06	4,63	-24,7	13,88	3
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	9,23	6,09	-26,56	19,54	3,38
<i>Chelonoidis denticulata</i>	9,37	5	-26,08	19,53	3,93
Família Kinosternidae					
<i>Kinosternon scorpioides</i>	9,92	4,49	-23,63	17,94	3,99

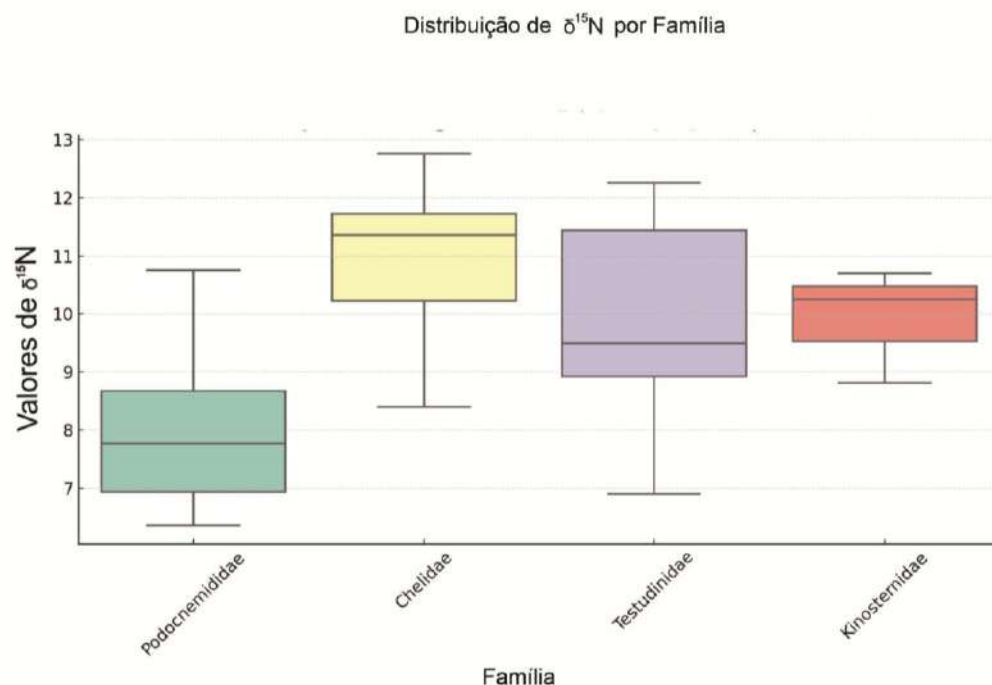
Fonte: da autora

Os resultados dos testes estatísticos realizados ($r=0.34$, $p= 0.030$) sugere uma fraca, porém positiva, correlação entre os valores isotópicos de nitrogênio e carbono. Espécies características de níveis tróficos mais elevados demonstram valores $\delta^{13}\text{C}$ menos negativos, sugerindo divergências tanto no uso do habitat como fontes de alimento.

A família Podocnemididae (e.g. *Podocnemis* spp.), por exemplo, conta com valores reduzidos de $\delta^{15}\text{N}$, assim como $\delta^{13}\text{C}$ comparativamente mais negativos (Figuras 6 e 7), condizentes com alimentação baseada em plantas C_3 , características de vegetação florestal. Representantes da família Chelidae (e.g. *Chelus fimbriata*) demonstram valores elevados de $\delta^{15}\text{N}$, refletindo alimentação baseada em invertebrados e presas aquáticas.

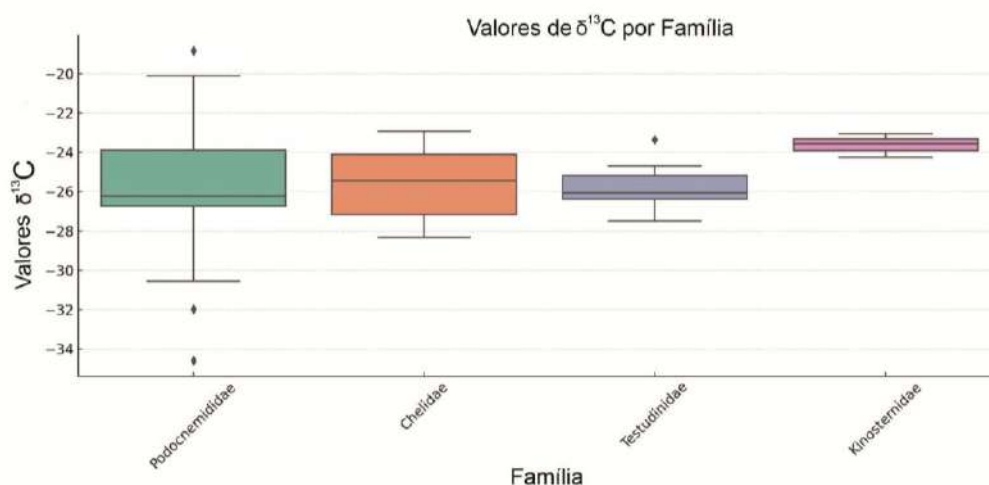
Testudinídeos, por sua vez, apresentam sinais isotópicos intermediários e extensos, cuja dieta mista envolve tanto herbivoria quanto material de origem animal, característicos de ambientes mais secos, ricos em plantas C_3 e C_4 . Por fim, a família Kinosternidae apresenta, com a única espécie representativa da Amazônia Legal *Kinosternon scorpioides*, apresenta $\delta^{15}\text{N}$ intermediário a elevado, corroborando com maior dependência de presas animais..

Figura 6- Distribuição isotópica de Nitrogênio em cada família quelônia da Amazônia Legal



Fonte: da autora

Figura 7 – Distribuição isotópica de Carbono em cada família quelônia da Amazônia Legal



Fonte: da autora

Diferenças nos níveis tróficos (expressos em $\delta^{15}\text{N}$) foram detectadas em determinadas espécies que, por sua vez, utilizam fontes alimentares diferentes, sugerindo diversidade em estratégias de forrageamento. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicam que algumas espécies estão mais associadas a áreas abertas com vegetação C_4 , enquanto outras estão mais restritas a florestas, com vegetação C_3 .

A variação na relação Carbono/Nitrogênio (%) sugere que as espécies consomem alimentos com diferentes teores de proteína e fibra, refletindo estratégias alimentares adaptadas aos seus habitats e necessidades ecológicas. Tais observações indicam a complexidade da comunidade de tartarugas e suas adaptações ao ambiente, auxiliando em estratégias de conservação que garantam a proteção de habitats específicos que suportam a diversidade alimentar e de nichos. Do ponto de vista estatístico, os testes de ANOVA mostram diferenças significativas entre as espécies para todas as variáveis analisadas ($p < 0.05$, Tabela 3):

Tabela 5- Teste de significância das análises isotópicas

	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Carbono/Nitrogênio (%)
Estatística F	4,695	10,539	4,639
Valor de p	0,00039	$2,77 \times 10^{-7}$	0,00043

Fonte: da autora

Valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre as espécies indicam variações no nível trófico ou dieta, ao passo que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ refletem o uso variável de habitats e fontes de carbono. Tais

parâmetros sugerem variações nas estratégias metabólicas ou no ambiente utilizado. Ademais, o teste estatístico de Tukey aponta reduzida sobreposição de níveis tróficos, a partir dos resultados de $\delta^{15}\text{N}$, sobretudo para as espécies abaixo ($p < 0.05$, Tabela 4):

Tabela 6- Sobreposição de nichos, a partir de $\delta^{15}\text{N}$

Espécies	Valor de p ajustado
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0337
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0379
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0226
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0133
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0151
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0088
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0092
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0104
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0006
<i>Podocnemis unifilis</i> X <i>Rhinemys rufipes</i>	0.0449

Fonte: da autora

Em se tratando dos valores de $\delta^{13}\text{C}$, o teste de Tukey identifica diferenças nas fontes, de carbono, assim como tipo de habitat entre espécies. Especificamente, valores de $\delta^{13}\text{C}$ estão relacionados ao tipo de vegetação consumida (plantas C_3 vs. C_4) e ao uso de habitats abertos ou fechados. De maneira que, conforme os sinais isotópicos fornecidos, para o referido teste estatístico, verifica-se compartilhamento reduzido de habitats e/ou alimentação, sobretudo para as seguintes espécies ($p < 0.05$, Tabela 5):

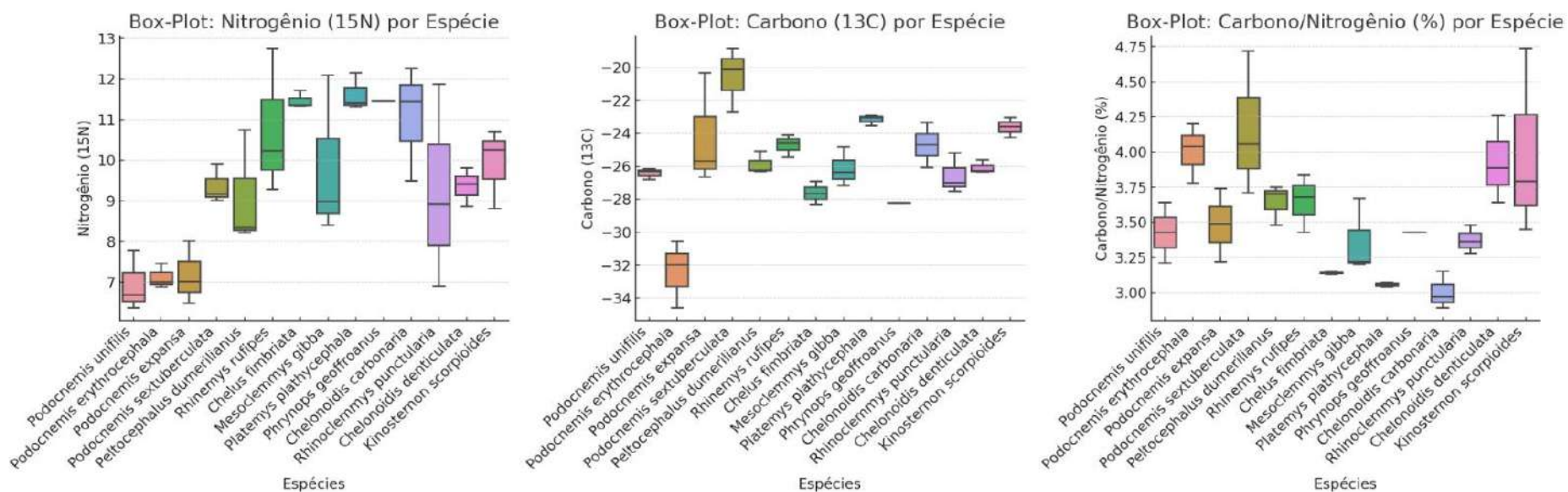
Tabela 7 - Sobreposição de nichos, a partir de $\delta^{13}\text{C}$

Espécies	Valor de p ajustado
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0000
<i>Chelonoidis denticulata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0008
<i>Chelonoidis denticulata</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0041
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Platemys plathycephala</i>	0.0370
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0211
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0001
<i>Mesoclemmys gibba</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0009
<i>Mesoclemmys gibba</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0037
<i>Peltocephalus dumerilianus</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0005
<i>Peltocephalus dumerilianus</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0063
<i>Phrynops geoffroannus</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0050
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0017
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Rhinemys rufipes</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Rhinoclemmys punctuaria</i>	0.0023
<i>Podocnemis sextuberculata</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0020
<i>Podocnemis sextuberculata</i> X <i>Rhinoclemmys punctuaria</i>	0.0015

Fonte: da autora

Dentre as espécies até então exploradas, *Podocnemis erythrocephala* gerou controvérsias. Observa-se tanto pelo teste de Tukey quanto pelo gráfico boxplot específico (Figura 8) que a espécie apresenta valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ em relação a demais espécies do mesmo gênero. Não obstante, é possível a existência de sobreposição entre o táxon em questão e *Podocnemis unifilis*, fato este que pode estar associado a sinais isotópicos similares de $\delta^{15}\text{N}$. Vale ressaltar que, para maioria das relações interespecíficas, há sobreposição de nichos segundo o Teste de Tukey para ambos os isótopos (Apêndices C.9-C.10, pg. 169-172)

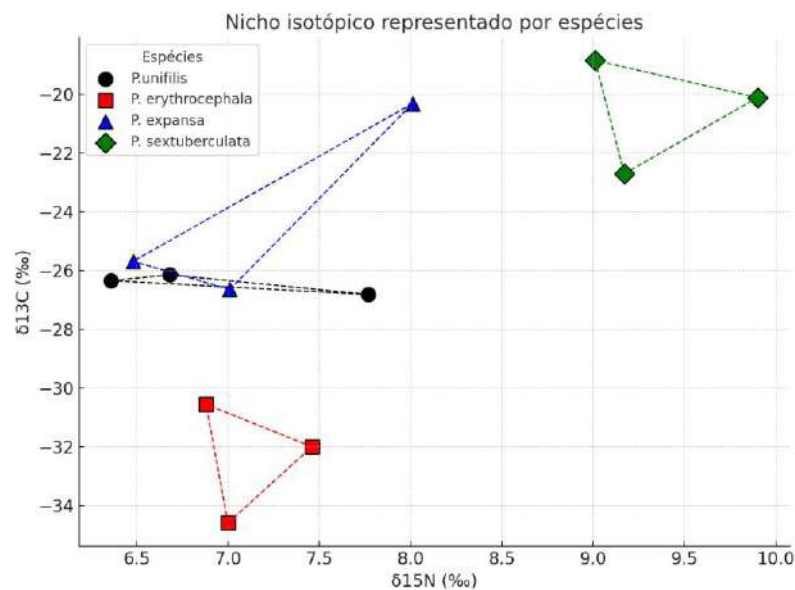
Figura 8: Distribuição de sinais isotópicos por espécie



(Fonte: da Autora)

Em se tratando especificamente do gênero *Podocnemis*, a sobreposição de nicho entre *P. unifilis* e *P. expansa* não é observada para as demais espécies *P. sextuberculata* e *P. erythrocephala* (Figura 9). Esta última, embora compartilhe valores similares nas assinaturas isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$, apresenta todavia valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$. *P. sextuberculata*, por sua vez, apresenta uma tendência reversa, com valores superiores de $\delta^{15}\text{N}$ e sobrepostos a *P. expansa* para $\delta^{13}\text{C}$.

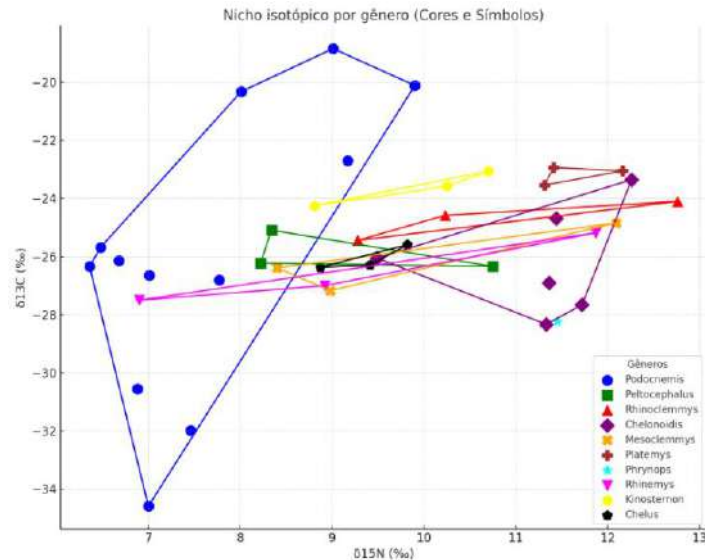
Figura 9 - Nichos isotópicos do gênero do *Podocnemis* da Amazônia Legal.



Fonte: da autora

Ao considerar os dados para os demais gêneros, enquanto certos nichos isotópicos se inter cruzam (Figura 10), outros permanecem relativamente isolados, como é o caso de *Kinosternon* e *Platemys* que, conforme mencionado anteriormente, apresentam nível de correlação reduzido e moderado, respectivamente, com demais táxons.

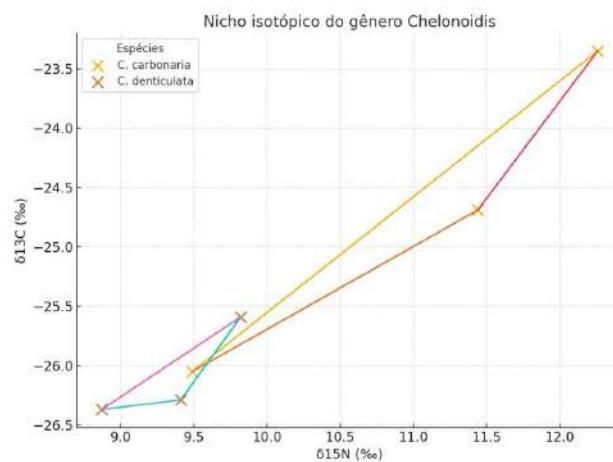
Figura 10- Amplitude de nichos isotópicos por gênero.



(Fonte: da autora)

As espécies *Chelonoidis denticulata* e *Chelonoidis carbonaria* apresentam uma leve sobreposição de nichos isotópicos. Constata-se que *C. denticulata* apresenta assinaturas isotópicas mais restritas (Figura 11), sendo as de carbono mais negativas, inferiores a *C. carbonaria*, o que pode justificar o maior nível de resiliência desta última em relação a primeira.

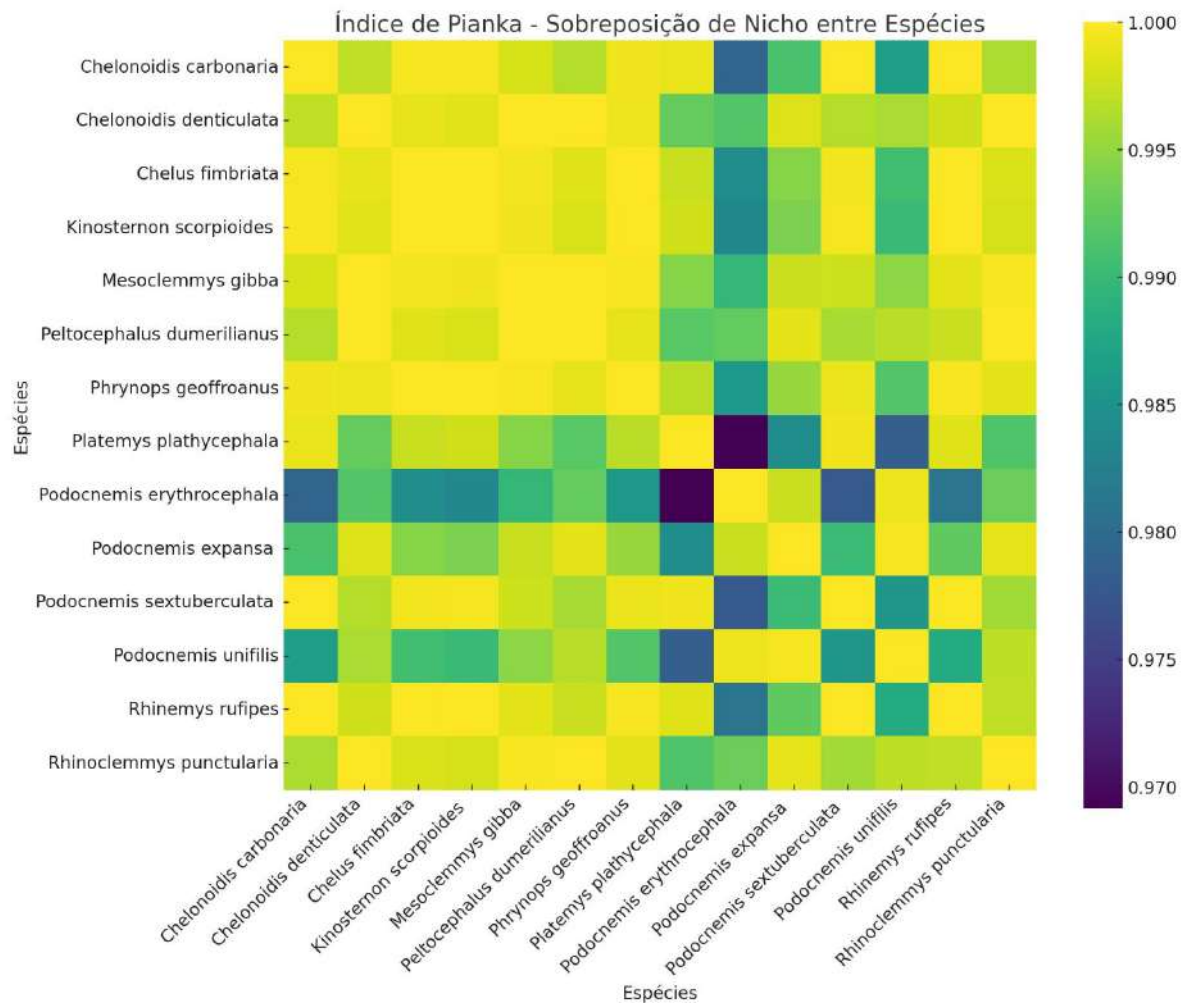
Figura 11 - Amplitude de nichos isotópicos por espécie de *Chelonoidis*



Fonte: da autora

Um recurso para estudos de sobreposição de nichos foi o uso do índice de Pianka (Figura 12) e Morisita-Horn. Os valores atribuídos sugerem uma moderada à elevada sobreposição de nichos entre as espécies estudadas.

Figura 12 - Nível de sobreposição de nicho segundo o Índice de Pianka.



Fonte: da autora

A espécie *Chelonoidis denticulata* (Jabuti-amarelo), como as demais 14 espécies estudadas no presente trabalho, demonstrou elevada sobreposição de nicho isotópico com demais espécies segundo o índice de Pianka e Morisita-Horn (Apêndices C.11-C.12, pg.173-174) com moderada especialização conforme o índice Levin (ver Apêndice C.12, 174; Apêndice B.18, pg. 152) e baixa variabilidade isotópica. Conforme explicado anteriormente, a espécie em questão é a mais propensa à redução de distribuição em cenários futuros, com 91% de perda até 2080 para a trajetória SSP mais pessimista. Dentre as áreas prioritárias para preservação da espécie, estão Terras Indígenas, para mitigação da perda de habitat (Apêndice

C.13, pg.175).

A espécie *Chelonoidis carbonaria* (Jabuti-piranga) demonstra moderada amplitude de nicho segundo o teste de Levin, assim como moderada sobreposição de recursos conforme o teste de Morisita-Horn, com riscos de redução de distribuição geográfica na Amazônia Legal de aproximadamente 12% em cenários extremos. Proteção torna-se necessária em áreas de florestas contínuas, densas, sobretudo do sul da Amazônia, assim como Terras Indígenas na bacia do Xingu, para preservação da espécie.

O último representante testudinídeo da Amazônia Legal, *Rhinoclemmys punctularia* (Perema) consta com elevada sobreposição e moderada amplitude de nicho. As trajetórias SSPs mostram-se relativamente positivas, a despeito dos cenários de retrocesso distributivo para RCPs 6.0. Dentre as áreas prioritárias de preservação, estão ambientes costeiros e florestais do Nordeste Amazônico.

Mesoclemmys gibba (Cágado-de-poças-da-floresta), da família Chelidae, agrega índices isotópicos que classificam-na como espécie moderada em relação a amplitude de nichos explorados. Sobreposições também se mostram moderadas (Morisita-Horn) a amplas (Pianka). Dados os riscos de 30% de redução em SSPs extremos, zonas semi-aquáticas protegidas características de Terras Indígenas representam áreas prioritárias à preservação da espécie.

Outro representante da mesma família, *Platemys plathycephala* (Cabeçudo), foi classificada como especialista segundo o índice de Levin, com moderada a elevada sobreposição de nicho. No pior cenário distributivo (SSP 5-8.5), com até 36% de redução. Prioridade de preservação atribuída a grandes sistemas fluviais, florestas do Escudo das Guianas e áreas protegidas no Norte Amazônico.

Os índices isotópicos de *Phrynops geoffroanus* (Cágado-de-barbicha) preconizam moderada amplitude de nicho, com elevada sobreposição. Alta variabilidade nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ sugerem elevada flexibilidade alimentar. Projeções são favoráveis tanto nos cenários RCPs quanto SSPs, sendo cenário intermediário RCP 4.5 o mais favorável, com expansão em até ~85%. Para preservação da espécie, recomendam-se investimentos em áreas protegidas no centro-sul amazônico, região mais adequada para sua sobrevivência futura, assim como corredores ecológicos em adjacências da bacia do Madeira.

Índices isotópicos de *Chelus fimbriata* (Matá-matá) demonstram tendências moderadas de amplitude de nicho, assim como elevada sobreposição com demais espécies.

Todavia, dados de $\delta^{15}\text{N}$ sugerem uma posição trófica superior, indicando dieta predominantemente carnívora. Dentre os desafios de conservação, estão potenciais perdas futuras de território de distribuição entre 7 e 21%, em tendências RCP 6.0, com potencial recuperação de 19% em circunstâncias moderadas de conservação. Áreas prioritárias para conservação encontram-se em ambientes aquáticos de baixa vulnerabilidade nas zonas de endemismo do oeste e norte da Amazônia, Terras Indígenas do sistema do Rio Negro, e áreas protegidas na bacia do Juruá e Purus.

A espécie *Kinosternon scorpioides* (Muçunã) mostra-se como uma espécie especialista, isto é, exploradora de recursos específicos. Ainda, observam-se características como moderada (Morisita-Horn) a elevada sobreposição de nicho (Pianka) segundo os sinais isotópicos. Potencial de vulnerabilidade da espécie seria, teoricamente, elevado conforme índice de Levin, consequentemente, demanda de recursos específicos. Não obstante, potencial de vulnerabilidade mostra-se reduzido de acordo com as trajetórias de modelagem, com perdas mínimas de ~2-3% de distribuição territorial. Dentre as áreas prioritárias de preservação, encontra-se o Nordeste Amazônico, aonde sua distribuição é mais significativa.

Dentre os podocnemídeos, observou-se em *Podocnemis expansa* (Tartaruga da Amazônia) elevada sobreposição de nicho com demais espécies, segundo os índices de Pianka e Morisita, assim como moderada amplitude de nicho conforme o teste de Levin. Sendo uma espécie vulnerável, estima-se uma perda distributiva de aproximadamente 37% sem medidas de preservação em pauta, sobretudo em áreas ribeirinhas protegidas e zonas de nidificação. Daí a prioridade de conservação em grandes sistemas fluviais protegidos (e.g., rios Madeira e Negro).

Podocnemis unifilis (Tracajá) mostra-se como uma espécie generalista segundo o índice de Levin, assim como moderada (Morisita-Horn) a elevada sobreposição de nicho (Pianka) com demais espécies. Diante da perda de até 38% em trajetórias RCPs, medidas de preservação da espécie e recursos associados tornam-se necessárias, em especial áreas de integração de várzeas e corpos d'água sazonais, assim como Unidades de Conservação e Indígenas ao longo do rio Amazonas.

Os podocnemídeos *Podocnemis sextuberculata*, *P. erythrocephala*, *Peltocephalus dumerilianus*, assim como o quelídeo *Rhynemis rufipes*, não apresentaram trajetórias de modelos climáticos globais, devido ausência de pontos de ocorrência suficientes catalogados para confecção de possíveis cenários. Ainda assim, amostras isotópicas foram coletadas para as referidas espécies que, por sua vez, foram analisadas quanto a sobreposição (Pianka e

Morisita-Horn) e amplitude de nicho (Levin):

- *Podocnemis erythrocephala* (Irapuca): generalista, com cenários favoráveis de preservação em áreas protegidas. Dentre as regiões prioritárias de preservação, estão corredores fluviais na Amazônia Ocidental, assim como Terras Indígenas e Unidades de Conservação.

- *Podocnemis sextuberculata* (Iaça): especialista, com perdas de até ~30% de distribuição mediante condições ambientais desfavoráveis. Dentre as regiões prioritárias de preservação, estão regiões protegidas próximas ao Médio Solimões

- *Peltocephalus dumerilianus* (Cabeçudo): generalista, com elevada sobreposição de nichos, e cenários favoráveis de preservação em áreas protegidas. Característico de zonas úmidas e florestas alagadas.

- *Rhinemys rufipes* (Cágado-vermelho): especialista, com moderada a elevada sobreposição de nichos. Mostra-se estável no que condiz a distribuição em cenários futuros. Dentre as áreas prioritárias para preservação da espécie, encontram-se o escudo das Guianas e Amazônia Oriental.

7 DISCUSSÃO

7.1 Modelagem

As condições climáticas estão entre os principais fatores que regem os processos metabólicos dos quelônios. Estudos até então realizados com as mais diversas espécies descrevem a forte associação existente entre precipitação pluviométrica, temperatura do ar e/ou da água e sazonalidade nos padrões de comportamento estabelecidos (Souza, 2004). Além disso, quando há restrições de adaptabilidade e/ou na capacidade de deslocamento, o grau de vulnerabilidade da espécie aumenta consideravelmente. De modo que, salvo espécies aquáticas migratórias, quelônios continentais raramente se deslocam por longas distâncias, em virtude de seu metabolismo predominantemente ectotérmico, que reduz o nível de autonomia do organismo no controle da temperatura corpórea, o que o torna ainda mais dependente das condições climáticas que o circundam (Fagundes *et al.*, 2018; Lovich *et al.*, 2018; Pritchard; Trebbau, 1984).

A importância dos valores inerentes as variáveis BIO16 e BIO8 – precipitação e temperatura durante os trimestres mais úmidos, respectivamente - na distribuição e comportamento da fauna quelônia, pode estar relacionada ao aumento da disponibilidade de alimentos durante as estações chuvosas, com predomínio de condições climáticas propícias à maior atividade e forrageio . Ainda, o início das referidas estações coincide com a eclosão dos ovos de espécies aquáticas e semiaquáticas, facilitando sua locomoção rumo corpos d'água permanentes ou temporários (Ferrara *et al.*, 2017; Vogt, 2008).

No que tange a ocupação de áreas protegidas por área total, a espécie *Phrynops geoffroannus* é a mais bem sucedida para o CMIP6, apresentando-se com a menor representatividade entre as espécies para o CMIP5. Este resultado reforça a importância e diferenciação de cada parâmetro em Projetos de Modelos Acoplados, na determinação de projeções de ocupação entre espécies.

As variações trimestrais de temperatura e precipitação exercem forte influência sobre o comportamento reprodutivo/migratório de várias espécies. Em se tratando da variável bioclimática BIO17 – temperatura ao longo do trimestre mais seco –, seus atributos estão fortemente associados a comportamentos de nidificação, desenvolvimento embrionário e determinação do sexo do embrião (e.g. Vogt, 2008; Vogt; Bull, 1984).

A maioria das espécies quelônias desova ao longo das estações secas, quando a

redução do nível dos rios possibilita afloramento das praias, assim como demais substratos adequados à formação dos ninhos (Alho; Pádua, 1982; Ferrara *et al.*, 2017). É também durante o referido intervalo que decorre o comportamento de estivação, aonde vários quelônios reduzem o ritmo de suas atividades até o retorno das chuvas e das cheias (Vogt, 2008).

As espécies *Podocnemis expansa*, *Podocnemis unifilis*, *Chelonoides carbonaria* e *Chelonoides denticulata* constam como “vulneráveis” e de maior necessidade a medidas de conservação, conforme relatórios da União Internacional para Conservação da Natureza (ou IUCN (*International Union for Conservation of Nature*)) (Rhodin *et al.*, 2019). Paralelamente, e com exceção a *Ch. carbonaria*, áreas com níveis aceitáveis de adequabilidade climática mostram-se cada vez mais reduzidas mediante cenários extremos, ratificando a importância de medidas de preservação de seus nichos climáticos.

Em contrapartida, às espécies *Chelus fimbriata*, *Phrynops geoffroannus* e *Kinosternon scorpioides* são atribuídos status de baixa vulnerabilidade e menor preocupação em relação a medidas de preservação (Ferrara *et al.*, 2017; Rhodin *et al.*, 2019). Embora resultados gerados nesta pesquisa ratifiquem uma mudança reduzida na sua distribuição entre os SSPs, os cenários RCPs demonstram instabilidade na manutenção das condições necessárias a sua permanência, sobretudo na Amazônia Ocidental e Central, mediante variações climáticas moderadas a amplas.

Todavia, uma vez ratificada sua elevada adaptabilidade na literatura, somada a uma distribuição geográfica que se contrapõe ou sobrepõe às projeções de impactos antrópicos fornecidas através dos IPABs, é possível que sua expansão ao longo do tempo não seja prejudicada, independentemente das trajetórias e modelos climáticos.

Uma justificativa à distribuição indiferenciada das três últimas espécies para as trajetórias SSP pode estar associada a ampla ocorrência geográfica recente do grupo. *Chelus fimbriata* e *Phrynops geoffroannus* são amplamente distribuídas no norte da América do Sul (Ferreira Júnior *et al.*, 2011; Friol, 2014; Lasso *et al.*, 2018; Pritchard; Trebbau, 1984), enquanto registros de *Kinosternon scorpioides* são reportados desde México, estendo-se para a América Central e o continente ao sul-americano (Martínez *et al.*, 2017; Pritchard; Trebbau, 1984; Rhodin *et al.*, 2019), de modo que os níveis de adequabilidade climática nas projeções tornam-se menos restritos, com maior disponibilidade de áreas com potencial de distribuição.

Outro aspecto a ser ressaltado é a necessidade de mais estudos acerca da distribuição e classificação de alguns quelônios, sobretudo representantes da família Chelidae (Friol, 2019). Apesar da ampla distribuição em meios aquáticos, incluso em áreas urbanas (Martins; Souza; Costa, 2010; Souza; Abe, 2000), *Phrynops geoffroannus* levanta uma série de dúvidas taxonômicas quanto a possíveis subespécies ou espécies crípticas inseridas dentro do grupo de modo que observa-se em alguns trabalhos uma classificação alternativa às ocorrências desta tartaruga, como “complexo *geoffroanus*” (Ferreira Júnior *et al.*, 2011; Rhodin; Mittermeier, 1983; Vogt, 2008).

Vale ressaltar que as inferências de distribuição de espécies do presente trabalho contradizem, parcialmente, Fagundes *et al.* (2018), cujas projeções foram direcionadas ao presente para diferentes categorias de áreas protegidas. Em suas asserções, os autores atribuem sobretudo as espécies *K. scorioides*, *Ph. geoffroannus* e *Rhinoclemmys punctularia* e *P.unifilis* potenciais elevados de vulnerabilidade e perda de área, devido aos desflorestamentos intensos. Seguem-se, a partir de então, *P.expansa*, *Chelus fimbriata*, *Chelonoidis denticulata*, *Mesoclemmys gibba*, *Cheloinoidis carbonária* e *Platemys platycephala*. Demais espécies citadas pelos autores não são aqui mencionadas por não constarem nesta pesquisa.

As simulações distributivas futuras desenvolvidas neste trabalho mostram-se, todavia, distintas, atribuindo tanto à *K. scorioides* quanto *Ph. geoffroannus* a melhores possibilidades de expansão geográfica, mesmo para as projeções atuais. Ademais, baseando-se afirmações anteriores, supõe-se nesta pesquisa interferência pouco significativa de influência antrópica, projetada através dos IPABs, sobre a distribuição de ambas as espécies, dada a sua ampla ocorrência em grande parte da Amazônia Legal, cuja amplitude supera sobreposições com territórios mais suscetíveis a impactos ambientais.

A parte das duas espécies acima, *R. punctularia*, *C. carbonaria* e *Chelus fimbriata* são as únicas que, no presente estudo, atestam representatividade próxima, positiva e discretamente acima de zero. *C. carbonária* consta como espécie vulnerável pela IUCN, enquanto que para *R. punctularia* e *C. fimbriata* atribui-se *status* de baixo potencial de risco de extinção (Fagundes *et.al.*, 2018).

Mesoclemmys gibba e *Platemys platycephala* também encontram-se fora da lista de espécies ameaçadas (Rhodin *et al.*, 2019). Todavia, valores oscilantes de adequabilidade de área registrados em níveis intermediários de variações climáticas, aliados a carência de

estudos ecológicos e sistemáticos (Böhm, 2013; Ferrara *et al.*, 2017; Friol, 2014; Souza, 2004), apontam para a necessidade de pesquisas atualizadas que corroborem ao entendimento de sua distribuição, assim como serviços ecossistêmicos desempenhados em seus habitats, em prol de possíveis medidas de conservação, caso necessárias.

Níveis gradativamente reduzidos de adequabilidade mediante variações climáticas extremas tornam-se mais um agravante à insurgência de cenários futuros pouco otimistas. Friol (2019) frisa que, tal como em *Phrynops*, há uma carência de estudos sobre a riqueza específica do gênero *Mesoclemmys*, o que corrobora a uma maior imprevisibilidade quanto a possíveis níveis de resiliência climática.

Asserções semelhantes podem ser atribuídas à espécie semiaquática *Rhinoclemmys punctularia*, cuja ocorrência até então constatada na literatura concentra-se ao leste da bacia do rio Amazonas e escudo das Guianas (Fuente; Sterli; Maniel, 2014), embora as projeções do presente trabalho indiquem um potencial mais amplo de distribuição, desde áreas costeiras à Amazônia Ocidental.

Tal como a maioria dos táxons relacionados no presente trabalho, seu status na IUCN consta como não ameaçada (Rhodin *et al.*, 2019). Porém, valores de adequabilidade climática reduzidos para cenários extremos, juntamente com a necessidade de informações detalhadas de distribuição e ecologia da espécie, reiteram a imprescindibilidade de estudos que contribuam ao melhor entendimento do papel ecológico que exerce em seu meio.

7.2 Análises Isotópicas

Até então, ossos de quelônios continentais da Amazônia Legal nunca foram testados em estudos isotópicos de carbono e nitrogênio, para verificação de fontes de carbono e níveis tróficos. Ademais, e conforme trabalhos anteriores que descrevem o uso dos referidos proxies, a absorção de nutrientes por tecido varia consideravelmente e, conseqüentemente, não é a mesma entre, por exemplo, músculos, plasma sanguíneo, escudos córneos ou epiderme (e.g. Marques *et al.*, 2011).

Chelidae e Kinosternidae apresentam os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, ratificando dietas mais onívoras/carnívoras (Vogt, 2008). Podocnemididae tem os menores valores, refletindo uma dieta predominantemente herbívora. Testudinidae ocupa uma posição intermediária, com características tanto herbívoras quanto onívoras/carnívoras.

Espécies com alta sobreposição, como de Podocnemididae, podem estar mais vulneráveis à competição por recursos em ambientes degradados, enquanto que espécies de Chelidae, com nichos mais diversificados, são menos propensas a competição direta, mas exigem conservação de múltiplos habitats. Podocnemididae e Testudinidae representam as famílias com maior número de espécies ameaçadas de extinção no mundo, de acordo com a “TFTSG Red List”, necessitando desta forma de maiores medidas de preservação (Rhodin *et al.*, 2018).

Em se tratando de políticas de gestão ambiental, necessita-se de maior direcionamento de medidas de monitoramento e preservação com maiores índices de compartilhamento de nichos tróficos e recursos alimentares, para preservação do maior número possível de espécies. Todavia, a distribuição de espécies com nichos mais isolados, como *Kinosternon scorpioides*, pode ser afetada por tais medidas. Não obstante, vale ressaltar que a espécie em questão encontra-se fora de perigo de extinção, e que sua distribuição ao longo da costa atlântica latino-americana é ampla (e.g. Rhodin, 2021), o que requer análises direcionadas para a situação de vulnerabilidade de cada táxon estudado.

A despeito da sobreposição de nichos verificada a partir dos índices de Pianka e Morisita-Horn, as dietas entre as espécies quelônias continentais da Amazônia Legal pode, conforme a literatura (e.g. Fagundes, 2015; Ferrara *et al.*, 2017; Pritchard; Trebbau, 1984), variar entre si. No presente trabalho, foi verificado que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mudam significativamente entre determinadas espécies, com algumas mostrando valores altamente negativos (por exemplo, *Podocnemis erythrocephala* em torno de -34‰) e outras menos negativos (por exemplo, *Podocnemis sextuberculata* em torno de -20‰).

De maneira que valores altamente negativos indicam uma dependência de plantas C_3 (por exemplo, árvores, arbustos ou vegetação florestal), típicas de espécies que vivem em ambientes fortemente vegetados. Ao passo que os menos negativos sugerem contribuições potenciais de plantas C_4 ou vegetação aquática (Martinelli *et al.*, 2007), comuns em espécies como *Podocnemis sextuberculata* e *Kinosternon scorpioides*, que podem habitar ambientes aquáticos mistos ou abertos.

Variações nos sinais isotópicos de nitrogênio $\delta^{15}\text{N}$ implicam em diferentes níveis tróficos, com de cerca de 6‰ (*Podocnemis unifilis*) a mais de 12‰ (*Rhinemys rufipes* e *Chelus fimbriata*). Valores mais baixos, como em *Podocnemis unifilis*, indicam dietas herbívoras, enquanto o mais altos sugerem uma dieta mais carnívora, como nas espécies como *Chelus fimbriata* e *Rhinemys rufipes* que se alimentam sobretudo de invertebrados e/ou

pequenos animais aquáticos (e.g. Ferrara *et al.*, 2017). Assim como em Lara *et al.* (2012), uma leve sobreposição de nichos isotópicos é observada entre as espécies *Podocnemis expansa* e *Podocnemis unifilis*. Informação que reforça a simpatria entre as espécies.

Comparativamente, as projeções de *Chelonoidis denticulata* e *Chelonoidis carbonarius* corroboram com seus status de preservação na IUCN, de maneira que a primeira espécie consta como vulnerável, enquanto *C. carbonarius* apresenta-se em situação menos preocupante (Rhodin, 2021), fato justificado pela sua mais ampla distribuição, incluindo habitats mais abertos e fragmentos florestais em áreas de savana (Farias *et al.*, 2007; Jerozolinski, 2005).

A espécie *Phrynops geoffroannus* apresenta estudos prévios de análise isotópica em músculos, carapaça e garras (Marques *et al.*, 2011). Os estudos isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ para o casco foram consideravelmente diferentes. O exemplar analisado no presente trabalho apresenta sinal isotópico de carbono mais negativo e de nitrogênio mais elevado, sugerindo dieta diversificada, onívora, predominantemente a base de plantas C_3 , assim como pequenos invertebrados (Vogt, 2008), semelhante a demais quelídeos da pesquisa.

Em relação a espécie *Mesoclemmys gibba*, a literatura carece de estudos isotópicos prévios. Não obstante, pesquisas desenvolvidas por Marques *et al.* (2017), sobre a espécie *Mesoclemmys vanderhaegei*, demonstram valores de sinais isotópicos semelhantes e, por consequência, dietas predominantemente carnívoras, a base de insetos aquáticos, plantas aquáticas, frutas e folhas (Brito; Souza; Strüßmann, 2016).

Os resultados corroboram com a necessidade de manutenção de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, cujos níveis de resiliência tendem a ser mais estáveis. Ademais, estas áreas são consideradas menos vulneráveis a mudanças de uso da terra e mais propensas a manter populações quelônias viáveis.

Níveis de resiliência mais elevados também são atribuídos as espécies generalistas, tais como *Podocnemis erythrocephala* e *Podocnemis unifilis*, segundo o índice de Levin, haja vista que as mesmas são capazes de explorar diversos recursos e habitats. Em contraposição, táxons especialistas como *Platemys plathycephala*, *Rhynemis rufipes* e *Podocnemis sextuberculata* são mais vulneráveis devido a menor amplitude de nicho e, consequentemente, maior risco a mudanças ambientais.

7.3 Considerações sobre as discussões

A avaliar tanto a 7.1 quanto 7.2 pode-se dizer que há diferenças significativas nos hábitos alimentares e uso de habitats entre as espécies analisadas neste estudo, como:

1. Espécies herbívoras: *Podocnemis unifilis* e *Podocnemis erythrocephala* são primariamente herbívoras, dependendo de plantas C₃.
2. Espécies onívoras: *Podocnemis sextuberculata* e *Chelonoidis carbonaria* exibem uma dieta mais flexível, incorporando matéria vegetal e animal.
3. Espécies predadoras: *Chelus fimbriata* e *Rhinemys rufipes* ocupam níveis tróficos mais altos, alimentando-se de invertebrados ou pequenos vertebrados.

- Priorização de preservação de áreas com alta sobreposição de nichos, mas com capacidade de suportar múltiplas populações.

- Maior resiliência em Unidades de Conservação e Terras Indígenas a mudanças devido a menor pressão de desmatamento e exploração humana

- Espécies generalistas mostram maior potencial de adaptação em áreas com mudanças climáticas moderadas. Táxons especialistas requerem conservação intensiva em áreas estáveis.

- Terras Indígenas e Corredores Ecológicos como essenciais à conectividade entre habitats e resiliência climática.

- Mudanças no uso da terra, aumento de temperatura, alterações no regime hídrico e desmatamento representam os principais fatores que corroboram com a redução da fauna quelônia da Amazônia continental.

7.4 Recomendações para Políticas e Conservação

Com base nos resultados, foram desenvolvidas estratégias de conservação orientadas por dados de modelagem e análises isotópicas. Recomenda-se priorizar a proteção de habitats críticos, como áreas de florestas contínuas e corpos d'água perenes, que suportam a diversidade alimentar e ecológica das espécies analisadas. Ainda, a utilização de corredores ecológicos é essencial para garantir a conectividade entre habitats fragmentados, especialmente em cenários de mudança climática extrema.

Além disso, o envolvimento de *stakeholders*, incluindo comunidades locais e órgãos de governança, é fundamental para o sucesso das ações de manejo adaptativo. Um framework integrado pode guiar esforços de monitoramento e proteção, garantindo a aplicação prática dos dados obtidos neste estudo.

As principais ameaças a fauna quelônia amazônica são: perda de habitats, construção de barragens, mineração, comércio ilegal e, mais recentemente, mudanças climáticas (Fagundes *et al.*, 2018; Ferrara *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2014). Tais fatores contribuem com “declínios populacionais, interrupções nos fluxos genéticos (especialmente de espécies aquáticas migratórias), diminuições nas taxas de recrutamento e alterações nas razões sexuais das populações, além da diminuição na disponibilidade de itens alimentares e de habitats para reprodução”. (Ferrara *et al.* 2017, p. 20)

Os referidos autores ratificam que dentre as estratégias de conservação selecionadas, está a proteção dos sítios reprodutivos, assim como monitoramento populacional envolvendo *stakeholders* como moradores locais nessas atividades, que se beneficiam direta e indiretamente dessas atividades, seja no que concerne a serviços ecossistêmicos/ambientais, seja no âmbito socioeconômico e educacional.

Reitera-se que representantes das famílias Podocnemididae e Testudinidae são as mais ameaçadas de extinção, devido ao alto nível de consumo da carne e/ou ovos (Ferrara *et al.*, 2017), assim como alterações em seus habitats. Estando seus representantes entre os mais vulneráveis na listagem da IUCN, estudos etnobiológicos reforçam que a exploração tanto da carne quanto dos ovos de espécies como *Podocnemis unifilis* quanto *Podocnemis expansa*, desde tempos coloniais (e.g. Bates, 1892; Rebêlo; Pezzuti, 2000) até os dias de hoje, contribuem para redução considerável das populações características das referidas espécies. De maneira que medidas de preservação contra influência antrópica tornam-se fundamentais a manutenção da biodiversidade.

8 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de estudos climáticos e sistemas de gestão pautados na comunicação das mais variadas disciplinas suportam medidas de redução das alterações atmosféricas em escala local, regional e global (Weart, 2013). O próprio IPCC, por exemplo, vem incentivando cada vez mais a elaboração de cenários climáticos que integrem em suas premissas a interdisciplinaridade no meio científico (Moss *et al.*, 2010).

Variações climáticas interferem na evolução da biota e, conseqüentemente, na qualidade de vida dos que dependem dela. Dessa forma, entender como tais mudanças são expressas na fauna amazônica, e de que forma diferentes áreas do conhecimento podem se complementar, torna-se indispensável à redução de impactos ambientais.

Pesquisas desenvolvidas na Amazônia sustentam a aplicabilidade de assinaturas isotópicas e modelos preditores em estudos climáticos e estimativas de resiliência ecológica a longo prazo (Anjos, 2016; Luz, 2016). Tais estudos, apesar de sua exiguidade e especificidades, devem ser considerados e ponderados como estratégia de conservação de biodiversidade.

Os cenários de distribuição foram correlacionados aos valores isotópicos de amostras quelônias para melhor compreensão dos nichos climáticos e demais parâmetros ecológicos, como suporte a medidas de conservação da fauna quelônia continental.

REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R.; PÁDUA, L. F. M. Sincronia entre o regime de vazante do rio e o comportamento de nidificação da tartaruga da Amazônia *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae). *Acta Amazonica*, v. 12, n. 2, p. 323–326, Jun. 1982.
- AMIOT, R. et al. Latitudinal temperature gradient during the Cretaceous Upper Campanian-Middle Maastrichtian: $\delta^{18}\text{O}$ record of continental vertebrates. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 226, n. 1–2, p. 255–272, 2004.
- AMIOT, R. et al. Oxygen isotope fractionation between crocodilian phosphate and water. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 243, n. 3–4, p. 412–420, 2007.
- AMIOT, R. et al. Oxygen isotope fractionation between bird bone phosphate and drinking water. *Die Naturwissenschaften*, v. 104, n. 5–6, p. 47, 2017.
- AMORIM, M. A. et al. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 1, p. 165–171, Mar. 2009.
- ANJOS, L. J. S. *Mudanças climáticas e a resiliência da Floresta Amazônica ao longo do tempo e espaço*. 2016. 144f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, 2016.
- ARAÚJO, M. B.; PETERSON, A. T. Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, v. 93, n. 7, p. 1527–1539, Jul. 2012.

ARAÚJO, M. B.; THUILLER, W.; PEARSON, R. G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, v. 33, n. 10, p. 1712–1728, Out. 2006.

ARAÚJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 22, n. 1, p. 42–47, Jan. 2007.

ARESCO, M. J. Ecological Relationships of Turtles in Northern Florida Lakes: A Study of Omnivory and the Structure of a Lake Food Web. *Florida State University*, n. September, p. 66, 2005.

ARESCO, M. J. Competitive Interactions of Two Species of Freshwater Turtles, a Generalist Omnivore and an Herbivore, Under Low Resource Conditions. *Herpetologica*, v. 66, n. 3, p. 259–268, 2010.

ARESCO, M. J.; GUNZBURGER, M. S. Ecology and Morphology of *Chelydra serpentina* in Northwestern Florida. *Southeastern Naturalist*, v. 6, n. 3, p. 435–448, 2007.

ARESCO, M. J.; TRAVIS, J.; MACRAE, P. S. D. Trophic Interactions of Turtles in a North Florida Lake Food Web: Prevalence of Omnivory. *Copeia*, v. 103, n. 2, p. 343–356, 2015.

BARRICK, R. E.; FISCHER, A. G.; SHOWERS, W. J. *Isotopes Terrestrial Paleoclimates.pdf*, 1999. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3515374>>. Acesso em: Março de 2024

BARROW, L. M.; BJORNDAL, K. A.; REICH, K. J. Effects of Preservation Method on Stable Carbon and Nitrogen Isotope Values. *Physiological and Biochemical Zoology*, v. 81, n. 5, p. 688– 693, 2008.

BERNHARD, R. et al. Monitoramento da nidificação e manejo de ovos de quelônios amazônicos. In: BALESTRA, R. A. M. (ed.). *Manejo Conservacionista e Monitoramento Populacional de Quelônios Amazônicos*. 1. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2016. p. 39–50.

BIASATTI, D. M. Stable carbon isotopic profiles of sea turtle humeri: Implications for ecology and physiology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 206, n. 3–4, p. 203–216, 2004.

BLASI, M. F. et al. Assessing resource use patterns of Mediterranean loggerhead sea turtles *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) through stable isotope analysis. *The European Zoological Journal*, v. 85, n. 1, p. 71–87, 2 Jan. 2018.

BÖHM, S. Notes on Short-Term Movements and Dietary Spectrum of the Twist-Necked Turtle, *Platemys platycephala* (Testudines: Chelidae) in the Nouragues Reserve, French Guyana. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 12, n. 1, p. 112–118, Jul. 2013.

BOOTH, D. T.; ASTILL, K. Temperature variation within and between nests of the green sea turtle, *Chelonia mydas* (Chelonia: Cheloniidae) on Heron Island, Great Barrier Reef. *Australian Journal of Zoology*, v. 49, n. 1, p. 71–84, 2001.

BOUCHER, O. et al. Presentation and Evaluation of the IPSL-CM6A-LR Climate Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 12, n. 7, 20 Jul. 2020.

BOYLE, M. et al. Under what conditions do climate-driven sex ratios enhance versus diminish population persistence? *Ecology and Evolution*, v. 4, n. 23, p. 4522–4533, 2014.

CÁCERES-MARTÍNEZ, C. H. et al. *Kinosternon scorpioides scorpioides* (Testudines: Kinosternidae): nuevo reporte en el nororiente de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, v. 22, n. 2, 1 Maio 2017.

CARO, T. *Conservation by Proxy indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species*. Washington, D.C.: Island Press, 2010. 394p.

CARRASCO, T. S. et al. Effects of acidification on the isotopic ratios of Neotropical otter tooth dentin. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, v. 32, n. 10, p. 784–788, 2018.

CARVALHO, M. C. Uso dos isótopos estáveis de carbono, nitrogênio e enxofre em estudos de ecologia costeira. *Oecologia brasiliensis*, v. 12, n. 04, p. 694–705, Dez. 2008.

CAXITO, F. A.; SILVA, A. V. Isótopos estáveis: fundamentos e técnicas aplicadas à caracterização e proveniência geográfica de produtos alimentícios. *Geonomos*, 31 Jul. 2015.

CERLING, T. E.; QUADE, J. Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Soil Carbonates. In: SWART, P. K. et al. (eds.). *Climate Change in Continental Isotopic Records*. American Geophysical Union, 1993. p. 217–231.

CHASE, J. M.; LEIBOLD, M. A. Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches. *Biodiversity and Conservation*, v. 13, n. 9, p. 1791–1793, Ago. 2004.

COLWELL, R. K.; RANGEL, T. F. Hutchinson's duality: The once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. Supplement_2, p. 19651–19658, 17 Nov. 2009.

CUNHA, F. L. R.; BERNHARD, R.; VOGT, R. C. Diet of an Assemblage of Four Species of Turtles (*Podocnemis*) in the Rio Uatumã, Amazonas, Brazil. *Copeia*, v. 108, n. 1, p. 103, 3 Mar. 2020.

DAVENPORT, J. Temperature and the life-history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*, v. 22, n. 6, p. 479–488, Dez. 1997.

DEUTSCH, C. A. et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 105, n. 18, p. 6668–72, 2008.

DUFRESNE, J.-L. et al. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, v. 40, n. 9–10, p. 2123–2165, 24 Maio 2013.

EAGLE, R. A. et al. Body temperatures of modern and extinct vertebrates from ^{13}C - ^{18}O bond abundances in bioapatite. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, n. 23, p. 10377–10382, 2010.

EISEMBERG, C. C. et al. Vulnerability of Giant South American Turtle (*Podocnemis expansa*) nesting habitat to climate-change-induced alterations to fluvial cycles. *Tropical Conservation Science*, v. 9, n. 4, p. 194008291666713, 25 Dez. 2016.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, v. 77, n. 4, p. 802–813, Jul. 2008.

ELTON, C. S. *Animal ecology*, by Charles Elton; with an introduction by Julian S. Huxley.

New York,: Macmillan Co., 1927.

ENNEN, J. R. et al. Using climate, energy, and spatial-based hypotheses to interpret macroecological patterns of North America chelonians. *Canadian Journal of Zoology*, v. 94, n. 7, p. 453–461, Jul. 2016.

ESTEBAN, N. et al. Optimism for mitigation of climate warming impacts for sea turtles through nest shading and relocation. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2018.

EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 26 maio 2016.

FACHÍN-TERÁN, A.; VOGT, R. C.; THORBJARNARSON, J. B. Seasonal Movements of *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae) in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 5, n. 1, p. 18, 2008.

FAGUNDES, C. K. *Estratégias e áreas prioritárias à conservação de quelônios aquáticos e semi-aquáticos na Amazônia*. 2015. 196f. Tese (Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2015

FAGUNDES, C. K. et al. Vulnerability of turtles to deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating priority areas for conservation. *Biological Conservation*, v. 226, 2018.

FAGUNDES, C. K.; VOGT, R. C.; DE MARCO JÚNIOR, P. Testing the efficiency of protected areas in the Amazon for conserving freshwater turtles. *Diversity and Distributions*, v. 22, n. 2, p. 123–135, 2016.

FERRARA, C. R. et al. História natural e biologia dos quelônios amazônicos. In: BALESTRA, R.A. M. (ed.). *Manejo Conservacionista e Monitoramento Populacional de Quelônios Amazônicos*. Ministério do Meio Ambiente/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2016. p. 15–28.

FERRARA, C. R. et al. *Quelônios Amazônicos: Guia de identificação e distribuição*. Manaus: Wildlife Conservation Society - Brasil PROJETO, 2017. 180p.

FERREIRA JÚNIOR, P. D. et al. Nesting of *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae) on sandy beaches along the Upper Xingu River, Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, v. 28, n. 5, p. 571–576, Out. 2011.

FINNÉ, M. et al. Late Bronze Age climate change and the destruction of the Mycenaean Palace of Nestor at Pylos. *PLoS ONE*, v. 12, n. 12, p. e0189447, 27 Dez. 2017.

FRIOL, N. *Filogenia e Evolução das espécies do gênero Phrynops (Testudines: Chelidae)*. 2014. 70f. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

FUENTE, M. S.; STERLI, J.; MANIEL, I. J. *Origin, evolution and biogeographic history of South American turtles*. Springer International Publishing Switzerland. 2014. 168p.

FUENTES, M. M. P. B. et al. Adaptive management of marine mega-fauna in a changing climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 21, n. 2, p. 209–224, 2016.

FUENTES, M. M. P. B.; LIMPUS, C. J.; HAMANN, M. Vulnerability of sea turtle nesting grounds to climate change. *Global Change Biology*, v. 17, n. 1, p. 140–153, 2011.

FUJIMORI, S. et al. SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 268–283, Jan. 2017.

FULLER, W. J. et al. Importance of spatio-temporal data for predicting the effects of climate change on marine turtle sex ratios. *Marine Ecology Progress Series*, v. 488, p. 267–274, 2013.

GANNES, L. Z.; MARTÍNEZ DEL RIO, C.; KOCH, P. Natural Abundance Variations in Stable Isotopes and their Potential Uses in Animal Physiological Ecology. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v. 119A, n. 3, p. 725–737, 1998.

GAO F., XIN X., W. T. A study of the prediction of regional and global temperature on decadal time scale with BCC_CSM1.1 model [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, v. 36, n. 6, p. 1165-1179, 2012.

GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia*, v. 63, n. 3, p. 733–749, Set. 2012.

GILLIS, A. J. et al. Foraging ecology and diet selection of juvenile green turtles in the Bahamas: insights from stable isotope analysis and prey mapping. *Marine Ecology Progress Series*, v. 599, p. 225–238, 2018.

GODLEY, B. J. et al. The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, v. 166, n. May, p. 277–284, 1998.

GODLEY, B. J. et al. Reproductive seasonality and sexual dimorphism in green turtles. *Marine Ecology Progress Series*, v. 226, p. 125–133, 2002.

GRAYSON, K. L. et al. Sex ratio bias and extinction risk in an isolated population of tuatara (*Sphenodon punctatus*). *PLoS ONE*, v. 9, n. 4, 2014.

GRIFFIN, L. P. et al. Warming seas increase cold-stunning events for Kemp's ridley sea turtles in the northwest Atlantic. *PLoS ONE*, v. 14, n. 1, p. 1–15, 2019.

GUISAN, A.; EDWARDS, T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, v. 157, n. 2–3, p. 89–100, Nov. 2002.

HALLGREN, W. et al. Species distribution models can be highly sensitive to algorithm configuration. *Ecological Modelling*, v. 408, p. 108719, Set. 2019.

HART, K. M. et al. Migration, foraging, and residency patterns for Northern Gulf loggerheads: implications of local threats and international movements. *PloS ONE*, v. 9, n. 7, p. e103453, 2014.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. *Generalized Additive Models*. London: CRC Press. 1990. 352p.

HATASE, H. et al. Size-related differences in feeding habitat use of adult female loggerhead turtles *Caretta caretta* around Japan determined by stable isotope analyses and satellite telemetry. *Marine Ecology Progress Series*, n. 233: 273–281.

HAWKES, L. A. et al. Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Change Biology*, v. 13, n. 5, p. 923–932, 2007.

HAYS, G. C. et al. Climate change and sea turtles: a 150-year reconstruction of incubation temperatures at a major marine turtle rookery. *Global Change Biology*, v. 9, n. 4, p. 642–646, Abr. 2003.

HAYS, G. C. et al. Population viability at extreme sex-ratio skews produced by temperature dependent sex determination. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 284, n. 1848, p. 1–7, 2017.

HAYS, G. C.; SCOTT, R. Global patterns for upper ceilings on migration distance in sea turtles and comparisons with fish, birds and mammals. *Functional Ecology*, v. 27, n. 3, p. 748–756, 2013.

HAYWOOD, J. C. et al. Global review and inventory: how stable isotopes are helping us understand ecology and inform conservation of marine turtles. *Marine Ecology Progress Series*, v. 613, p. 217–245, 2019.

HOBSON, K. A. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: A review. *Oecologia*, v. 120, n. 3, p. 314–326, 1999.

HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 79, n. 8, p. 2554–2558, 1 abr. 1982.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp Quant Biol*, n. 22, p. 415–427, 1957.

JACKSON, S. T.; OVERPECK, J. T. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, v. 26, n. S4, p. 194–220, 26 Feb. 2000.

JENTSCH, A. et al. Community-based population recovery of overexploited Amazonian wildlife. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, n. 3, p. 266–270, 2018.

KOCH, P. L. Isotopic reconstruction of past continental environments. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 26, n. 1, p. 573–613, Maio 1998.

KOHN, M. J.; CERLING, T. E. Stable Isotope Compositions of Biological Apatite. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 48, n. 1, p. 455–488, 2008.

KOHN, M. J.; LAW, J. M. Stable isotope chemistry of fossil bone as a new paleoclimate indicator. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 70, n. 4, p. 931–946, 2006.

LARA, N. R. F. et al. A trophic study of the sympatric Amazonian freshwater turtles *Podocnemis unifilis* and *Podocnemis expansa* (Testudines, Podocnemidae) using carbon and nitrogen stable isotope analyses. *Canadian Journal of Zoology*, v. 90, n. 12, p. 1394–1401, 2012.

LASALA, J. A.; HUGHES, C. R.; WYNEKEN, J. Breeding sex ratio and population size of loggerhead turtles from Southwestern Florida. *PLoS ONE*, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2018.

LASSO, C. A. et al. Conservación y tráfico de la tortuga matamata, *Chelus fimbriata* (Schneider, 1783) en Colombia: un ejemplo del trabajo conjunto entre el Sistema Nacional Ambiental, ONG y academia. *Biota Colombiana*, v. 19, n. 1, p. 147–159, 15 Jun. 2018.

LÉCUYER, C. et al. Thermal evolution of Tethyan surface waters during the Middle-Late Jurassic: Evidence from $\delta^{18}\text{O}$ values of marine fish teeth. *Paleoceanography*, v. 18, n. 3, p. 1–16, 2003.

LEK, S.; GUÉGAN, J. F. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, v. 120, n. 2–3, p. 65–73, Ago. 1999.

LI, X.; WANG, Y. Applying various algorithms for species distribution modelling. *Integrative Zoology*, v. 8, n. 2, p. 124–135, Jun. 2013.

LILES, M. J. et al. Potential limitations of behavioral plasticity and the role of egg relocation in climate change mitigation for a thermally sensitive endangered species. *Ecology and Evolution*, v. 9, n. 4, p. 1603–1622, Fev. 2019.

LILLYWHITE, H. Behavior and physiology: An ecological and evolutionary viewpoint on the energy and water relations of ectothermic amphibians and reptiles. In: *Amphibian and Reptile Adaptations to the Environment*. CRC Press, 2016. p. 1–39.

LIRA, K. C. DE et al. Tracing sheep binary C₃–C₄ diet using stable isotope ratio ($\delta^{13}\text{C}$). *Italian Journal of Animal Science*, v. 20, n. 1, p. 288–294, 1 Jan. 2021.

LIU, H.; PLATT, S. G.; BORG, C. K. Seed dispersal by the Florida box turtle (*Terrapene carolina bauri*) in pine rockland forests of the lower Florida Keys, United States. *Oecologia*, v. 138, n. 4, p. 539–546, 1 Mar. 2004.

LÓPEZ-CASTRO, M. C. et al. Identifying oceanic foraging grounds of sea turtles in the Atlantic using lead isotopes. *Marine Biology*, v. 161, n. 10, p. 2269–2278, 2014.

LOVICH, J. E. et al. Where Have All the Turtles Gone, and Why Does It Matter? *BioScience*, v. 68, n. 10, p. 771–781, 1 Out. 2018.

LUZ, Z. A. S. *Padrões ecológicos de tubarões (Superordem: Selachimorpha) fósseis e recentes obtidos a partir de isótopos estáveis e suas considerações para manejo e conservação*. 2016. 152f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

MARCOVALDI, M. A. et al. Satellite-tracking of female loggerhead turtles highlights fidelity behavior in northeastern Brazil. *Endangered Species Research*, v. 12, n. November 2, p. 263–272, 2010.

MARCOVALDI, M. A. G. et al. Spatio-temporal variation in the incubation duration and sex ratio of hawksbill hatchlings: Implication for future management. *Journal of Thermal Biology*, v. 44, n. 1, p. 70–77, 2014.

MARCOVALDI, M. A. G.. et al. Identification of loggerhead male producing beaches in the south Atlantic: Implications for conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 477, n. January, p. 14–22, Abr. 2016.

MARQUES, T. S. et al. Isotopic signatures ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of muscle, carapace and claw in *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae). *Zoologia (Curitiba, Impresso)*, v. 28, n. 3, p. 407–410, 2011.

MARQUES, T. S. et al. The Use of Stable Isotopes Analysis in Wildlife Studies. In: VERDADE, L.M.; LYRA-JORGE, M.C.; PIÑA, C.I (eds.). *Applied Ecology and Human Dimensions in Biological Conservation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 159–174.

MARTINS, F. I.; DE SOUZA, F. L.; DA COSTA, H. T. M. Feeding Habits of *Phrynops geoffroanus* (Chelidae) in an Urban River in Central Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 9, n. 2, p. 294–297, Dez. 2010.

MATSON, S. D.; FOX, D. L. Can oxygen isotopes from turtle bone be used to reconstruct paleoclimates? *Palaios*, v. 23, n. 1, p. 24–34, 1 Jan. 2008.

MAYERL, C. J.; BRAINERD, E. L.; BLOB, R. W. Pelvic girdle mobility of cryptodire and pleurodire turtles during walking and swimming. *The Journal of Experimental Biology*, v. 219, n. 17, p. 2650–2658, 1 Set. 2016.

MEDEIROS, L. et al. Origin and foraging ecology of male loggerhead sea turtles from southern Brazil revealed by genetic and stable isotope analysis. *Marine Biology*, v. 166, n. 6, p. 1–14, 2019.

MEEHL, G. A. et al. Meeting Summaries. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 86, n. 1, p. 89–96, Jan. 2005.

MEEHL, G. A. et al. Climate Model Intercomparisons: Preparing for the Next Phase. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 95, n. 9, p. 77–78, 4 Mar. 2014.

MEEHL, G. A. et al. Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models. *Science Advances*, v. 6, n. 26, p. eaba1981, 24 Jun. 2020.

MILLER JR., G. T. *Ciencia Ambiental*. 11 ed. Cengage. 2007. 123 p.

MINAGAWA, M. Perspective Review of Dietary Analysis Based on Carbon and Nitrogen Stable Isotopes. *Radioisotopes*, v. 66, n. 9, p. 355–366, 2017.

MIORANDO, P. S. et al. Effects of Community-Based Management on Amazon River Turtles: A Case Study of *Podocnemis sextuberculata* in the Lower Amazon Floodplain, Pará, Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 12, n. 1, p. 143–150, 2013.

MOLL, D.; JANSEN, K. P. Evidence for a Role in Seed Dispersal by Two Tropical Herbivorous Turtles. *Biotropica*, v. 27, n. 1, p. 121, Mar. 1995.

MONTERO, N. et al. Warmer and wetter conditions will reduce offspring production of hawksbill turtles in Brazil under climate change. *PloS ONE*, v. 13, n. 11, p. e0204188, 2018.

MORAES, C. R. F. DE; HENRY-SILVA, G. G. Mixing models and stable isotopes as tools for research on feeding aquatic organisms. *Ciência Rural*, v. 48, n. 7, 2018.

MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, v. 463, n. 7282, p. 747–756, Fev. 2010.

O'LEARY, M. H. Carbon Dynamics in Plants. *Carbon*, v. 38, n. 5, p. 328–336, 2008.

O'NEILL, B. C. et al. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, v. 122, n. 3, p. 387–400, 15 Fev. 2014.

O'NEILL, B. C. et al. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 169–180, Jan. 2017.

PAJUELO, M. et al. Assignment of nesting loggerhead turtles to their foraging areas in the Northwest Atlantic using stable isotopes. *Ecosphere*, v. 3, n. 10, p. 1–18, 2012.

PEARSON, R. M. et al. Distinguishing between sea turtle foraging areas using stable isotopes from commensal barnacle shells. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019.

PEARSON, R. M.; VAN DE MERWE, J. P.; CONNOLLY, R. M. Global oxygen isoscapes for barnacle shells: Application for tracing movement in oceans. *Science of The Total Environment*, v. 705, p. 135782, Fev. 2020.

PEARSON, S. H. et al. Stable Isotopes of C and N Reveal Habitat Dependent Dietary Overlap between Native and Introduced Turtles *Pseudemys rubriventris* and *Trachemys scripta*. *PLoS ONE*, v. 8, n. 5, p. 1–7, 2013.

PETERSON, A. T.; COBOS, M. E.; JIMÉNEZ-GARCÍA, D. Major challenges for correlational ecological niche model projections to future climate conditions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1429, n. 1, p. 66–77, Out. 2018.

PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 18, n. 1, p. 293–320, Nov. 1987.

PETITET, R.; BUGONI, L. High habitat use plasticity by female olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*) revealed by stable isotope analysis in multiple tissues. *Marine Biology*, v. 164, n. 6, 2017.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, Jan. 2006.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, v. 31, n. 2, p. 161–175, Abr. 2008.

PIKE, D. A. Forecasting the viability of sea turtle eggs in a warming world. *Global Change Biology*, v. 20, n. 1, p. 7–15, 2014.

POLO-CAVIA, N.; LÓPEZ, P.; MARTÍN, J. Competitive interactions during basking between native and invasive freshwater turtle species. *Biological Invasions*, v. 12, n. 7, p. 2141–2152, 2010.

POLOCZANSKA, E. S.; LIMPUS, C. J.; HAYS, G. C. *Vulnerability of marine turtles to climate change*. 1. ed. [S.l.] Elsevier Ltd, 2010. v. 56

POST, D. M. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. *Ecology*, v. 83, n. 3, p. 703, Mar. 2002.

PRITCHARD, P. C. H.; TREBBAU, P. *The Turtles of Venezuela*. Contributions to Herpetology 2. Ann Arbor, Michigan: Society for the Study of Amphibians and Reptiles. Oxford: 1-403, 1984.

REES, A. F. et al. Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles ? *Endangered Species Research*, v. 31, p. 337–382, 2016.

REFSNIDER, J. M.; JANZEN, F. J. Temperature-dependent sex determination under rapid anthropogenic environmental change: Evolution at a turtle's pace? *Journal of Heredity*, v. 107, n. 1, p. 61–70, 2016.

RHODIN, A. G. J. et al. Global Conservation Status of Turtles and Tortoises (Order Testudines). *Chelonian Conservation and Biology*, v. 17, n. 2, p. 135, 2019.

RHODIN, A. G. J.; MITTERMEIER, R. A. Description of *Phrynops williamsi*, a new species of Chelid turtle of the South American *P. geoffroanus* complex. In: RHODIN, A. G. J.; MIYATA, K. (eds.). *Advances in herpetology and evolutionary biology. Essays in honor of E.E. Williams*. Cambridge: Museum of Comparative Zoology, 1983. p. 58–73.

RIAHI, K. et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 153–168, Jan. 2017.

ROBINSON, N. J. et al. Coastal leatherback turtles reveal conservation hotspot. *Scientific Reports*, v. 6, p. 1–9, 2016.

RODRIGUES, J. F. M. et al. Climatic niche evolution in turtles is characterized by phylogenetic conservatism for both aquatic and terrestrial species. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 32, n. 1, p. 66–75, Jan. 2019.

RUBENSTEIN, D. R.; HOBSON, K. A. From birds to butterflies: Animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 19, n. 5, p. 256–263, 2004.

SABA, V. S. et al. An oceanographic context for the foraging ecology of eastern Pacific leatherback turtles: Consequences of ENSO. Deep-Sea Research Part I. *Oceanographic Research Papers*, v. 55, n. 5, p. 646–660, 2008.

SALERA JÚNIOR, G.; BALESTRA, R. A. M.; LUZ, V. L. F. Breve histórico da conservação dos quelônios amazônicos no Brasil. In: BALESTRA, R. A. M. (ed.). *Manejo Conservacionista e Monitoramento Populacional de Quelônios Amazônicos*. Brasília: Ibama, 2016. p. 11–14.

SÁNCHEZ-VILLAGRA, M. R.; SCHEYER, T. M. Fossil turtles from the northern neotropics: The Urumaco sequence fauna and finds from other localities in Venezuela and Colombia. *Urumaco Venez. Paleontol. Foss. Rec. North. Neotrop.*, n. January, p. 173–191, 2010.

SANDERSON, E. W. et al. Implications of the shared socioeconomic pathways for tiger (*Panthera tigris*) conservation. *Biological Conservation*, v. 231, p. 13–23, Mar. 2019.

SANTOS, V. M. et al. Protected areas: A focus on Brazilian freshwater biodiversity. *Diversity and Distributions*, v. 25, n. 3, p. 442–448, 2019.

SCHNEIDER, L. et al. Nesting Ecology and Nest Predation of *Phrynops geoffroanus* (Testudines, Chelidae) in the Guaporé River of the Brazilian and Bolivian Amazon. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 10, n. 2, p. 206–212, dez. 2011.

SEMINOFF, J. A. et al. Stable isotope tracking of endangered sea turtles: validation with satellite telemetry and $\delta^{15}\text{N}$ analysis of amino acids. *PloS ONE*, v. 7, n. 5, p. e37403, 2012.

SEMINOFF, J. A.; BJORNDALE, K. A.; BOLTE, A. B. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Discrimination and Turnover in Pond Sliders *Trachemys Scripta*: Insights for Trophic Study of Freshwater Turtles. *Copeia*, n. 3, p. 534–542, 2007.

SHAVER, D. J. et al. Migratory corridors of adult female Kemp's ridley turtles in the Gulf of Mexico. *Biological Conservation*, v. 194, p. 158–167, 2016.

SHERWOOD, S. C. et al. An Assessment of Earth's Climate Sensitivity Using Multiple Lines of Evidence. *Reviews of Geophysics*, v. 58, n. 4, 25 Dez. 2020;.

SILVA, J. V. et al. Community-based population recovery of overexploited Amazonian wildlife. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, n. 4, p. 266–270, 2017.

SILVA, J. V.; PERES, C. A. Community-based management induces rapid recovery of a high-value tropical freshwater fishery. *Scientific Reports*, v. 6, n. October, p. 1–13, 2016.

SIM, E. L.; BOOTH, D. T.; LIMPUS, C. J. Incubation temperature, morphology and performance in loggerhead (*Caretta caretta*) turtle hatchlings from Mon Repos, Queensland, Australia. *Biology Open*, v. 4, n. 6, p. 685–692, 2015.

SOBERÓN, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, v. 10, n. 12, p. 1115–1123, Dez. 2007.

SOBERÓN, J.; ARROYO-PEÑA, B. Are fundamental niches larger than the realized? Testing a 50- year-old prediction by Hutchinson. *PLoS ONE*, v. 12, n. 4, p. e0175138, 12 Abr. 2017.

SOBERON, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*, v. 2, 13 Jan. 2005.

SOUZA, F. L. Uma revisão sobre padrões de atividade, reprodução e alimentação de cágados brasileiros (Testudines, Chelidae). *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, v. 3, n. 1, p. 15, 1 Jun. 2004.

SOUZA, F. L.; ABE, A. S. Feeding ecology, density and biomass of the freshwater turtle, *Phrynops geoffroanus*, inhabiting a polluted urban river in south-eastern Brazil. *Journal of Zoology*, v. 252, n. 4, p. 437–446, dez. 2000.

STOUFFER, R. J. et al. CMIP5 Scientific Gaps and Recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 98, n. 1, p. 95–105, 1 Jan. 2017.

SU, B. et al. Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China. *Atmospheric Research*, v. 250, p. 105375, Mar. 2021.

TATEBE, H. et al. Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, v. 12, n. 7, p. 2727–2765, 8 Jul. 2019.

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 4, p. 485–498, 1 Abr. 2012.

The CMIP6 landscape. *Nat. Clim. Chang.* **9**, 727 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0599-1>

THUILLER, W. et al. Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions. *Ecography*, v. 27, n. 2, p. 165–172, Abr. 2004.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B. Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, v. 14, n. 4, p. 347–357, Jul. 2005.

TSOAR, A. et al. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and Distributions*, v. 13, n. 4, p. 397–405, 27 Jul. 2007.

VALENZUELA, N. et al. Extreme thermal fluctuations from climate change unexpectedly accelerate demographic collapse of vertebrates with temperature-dependent sex determination. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2019.

VAN HOUTAN, K. S.; HALLEY, J. M. Long-term climate forcing in loggerhead sea turtle nesting. *PLoS ONE*, v. 6, n. 4, 2011.

VAN HOUTAN, K. S.; HALLEY, J. M.; MARKS, W. Terrestrial basking sea turtles are responding to spatio-temporal sea surface temperature patterns. *Biology letters*, v. 11, n. 1, p. 20140744, 2015.

VAN VUUREN, D. P. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, v. 109, n. 1–2, p. 5–31, 5 nov. 2011.

VANDER ZANDEN, H. B. *Interpreting sea turtle trophic ecology through stable isotope analysis*. 2012. 155 f. Tese (Doutorado). University of Florida, 2012.

VANDER ZANDEN, H. B. et al. Trophic ecology of a green turtle breeding population. *Marine Ecology Progress Series*, v. 476, n. February, p. 237–249, 2013.

VANDER ZANDEN, H. B. et al. Determining origin in a migratory marine vertebrate: a novel method to integrate stable isotopes and satellite tracking. *Ecological Applications*, v. 25, n. 2, p. 320–335, Mar. 2015.

VANDER ZANDEN, M. J. et al. Primary consumer stable nitrogen isotopes as indicators of nutrient source. *Environmental Science and Technology*, v. 39, n. 19, p. 7509–7515, 2005.

VOGT, R. C. *Tartarugas da Amazônia*. 1. ed. Lima, Peru: Gráfica Biblos, 2008.

VOGT, R. C.; BULL, J. J. Ecology of Hatchling Sex Ratio in Map Turtles. *Ecology*, v. 65, n. 2, p. 582–587, Abr. 1984.

WATANABE, M. et al. Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, v. 23, n. 23, p. 6312–6335, 1 Dez. 2010.

WATERSON, A. M. et al. Modelling the climatic niche of turtles: A deep-time perspective. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 283, n. 1839, 2016.

WATSON-PARRIS, D. Machine learning for weather and climate are worlds apart. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v.379, n. 2194, p. 20200098, 5 Abr. 2021.

WEART, S. Rise of interdisciplinary research on climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 110, n. Supplement_1, p. 3657–3664, 26 Fev. 2013.

WEST, J. B. et al. Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 21, n. 7, p. 408–414, Jul. 2006.

WIENS, J. J.; GRAHAM, C. H. Niche Conservatism: Integrating Evolution, Ecology, and Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 36, n. 1, p. 519–539, Dez. 2005.

WILLIAMS, C.; STAYTON, C. T. Effects of Sutured Pelvic Elements on Turtle Shell Strength: A Comparison of Pleurodire and Cryptodire Shell Mechanics. *Herpetologica*, v. 75, n. 2, p. 123, 18 Jun. 2019.

WITT, M. J. et al. Predicting the impacts of climate change on a globally distributed species: the case of the loggerhead turtle. *Journal of Experimental Biology*, v. 213, n. 6, p. 901–911, 2010.

WU, T. A mass-flux cumulus parameterization scheme for large-scale models: description and test with observations. *Climate Dynamics*, v. 38, n. 3–4, p. 725–744, 28 Feb. 2012.

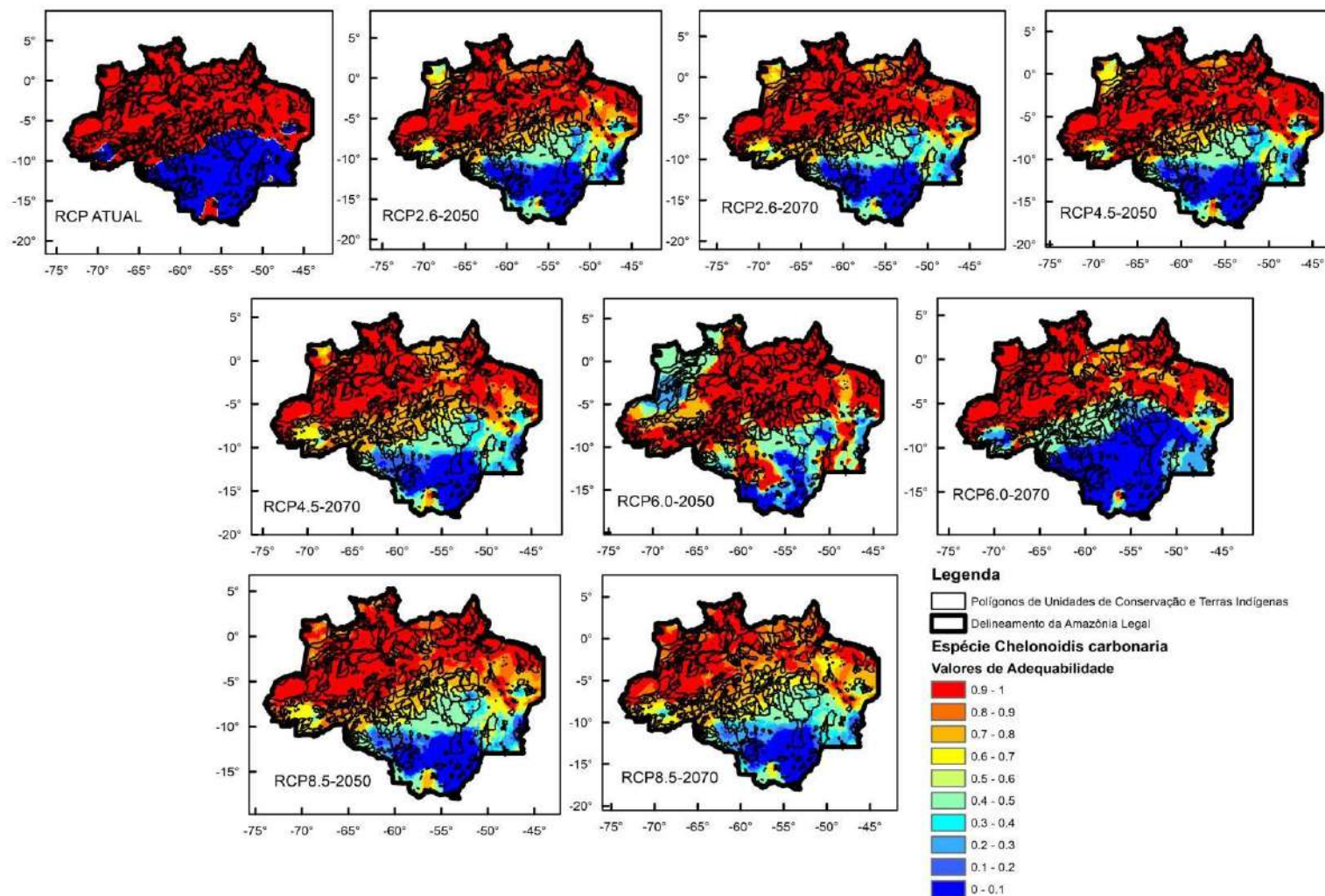
WU, T. et al. The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): the main progress from CMIP5 to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, v. 12, n. 4, p. 1573–1600, 24 Abr. 2019.

YEE, T. W.; MITCHELL, N. D. Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 2, n. 5, p. 587–602, Out. 1991.

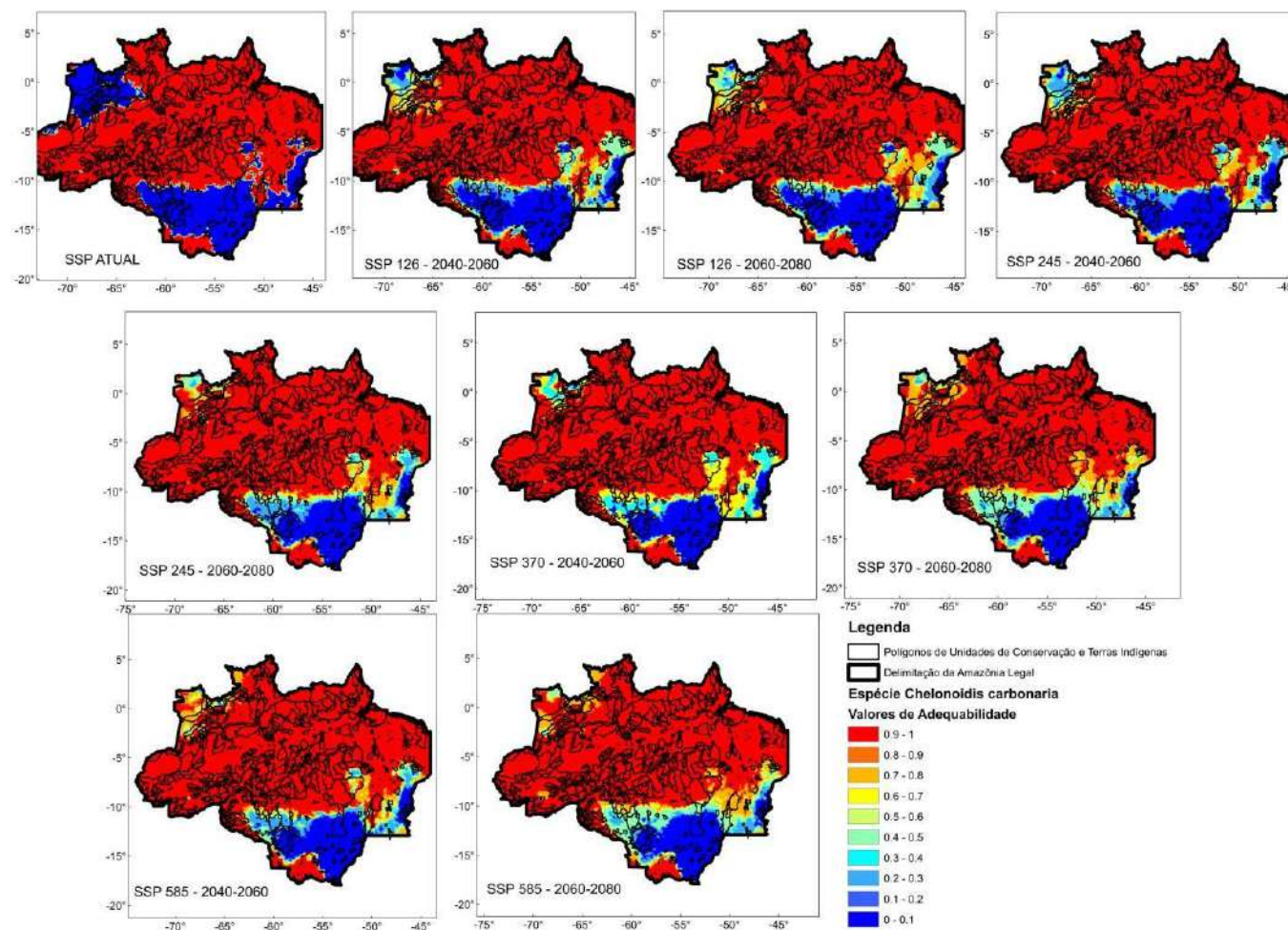
YUKIMOTO, S. et al. A new global climate model of the meteorological research Institute: MRI-CGCM3 —model description and basic performance. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Ser. II, v. 90A, p. 23–64, 2012.

YUKIMOTO, S. *et al.* The meteorological research Institute earth system Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: description and basic evaluation of the physical component. *Journal of the Meteorological Society of Japan.*, Ser. II, v. 97, n. 5, p. 931–965, 2019.

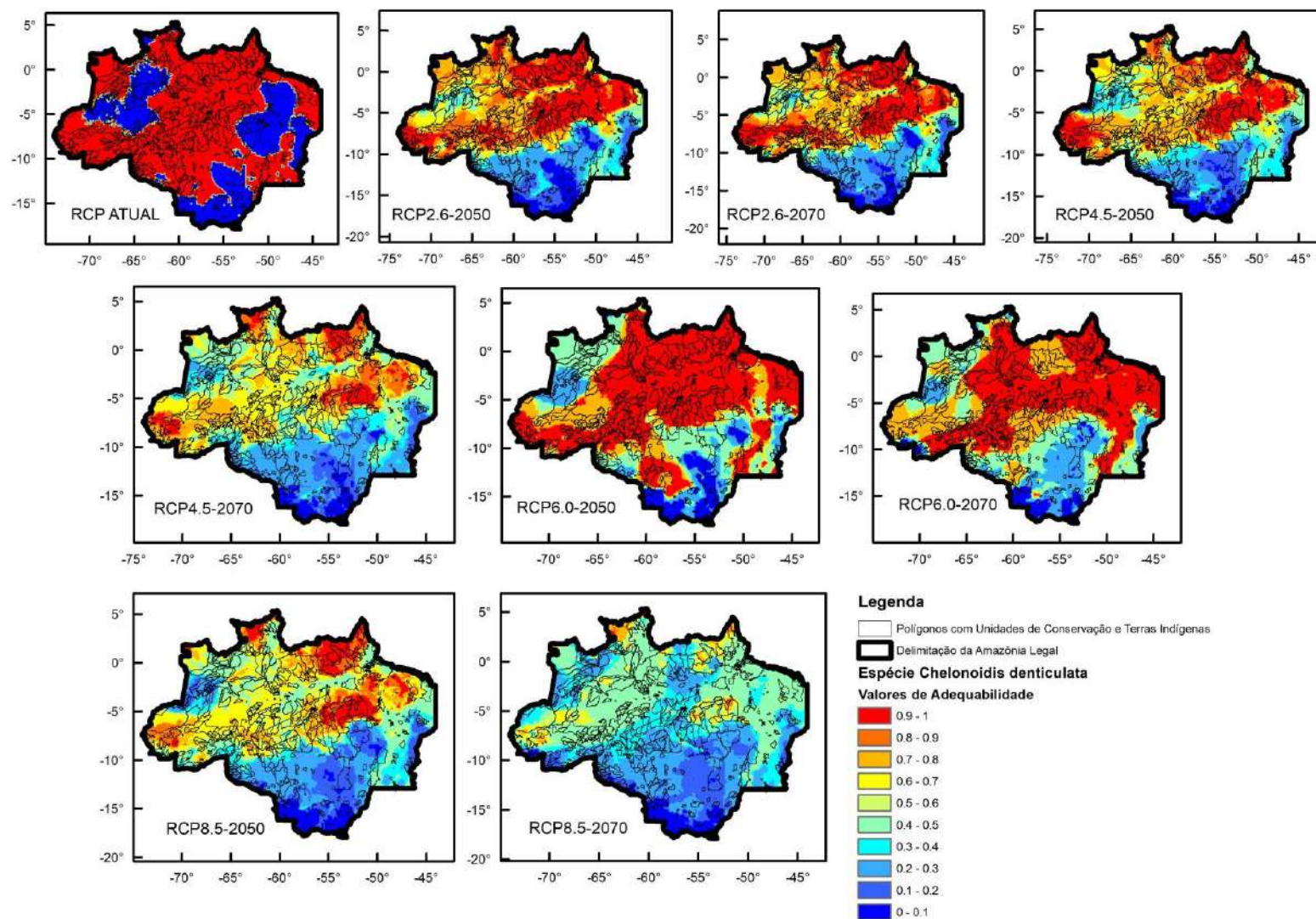
APÊNDICE A.1 - Projeções RCP para *Chelonoidis carbonaria*, da atualidade a 2070.



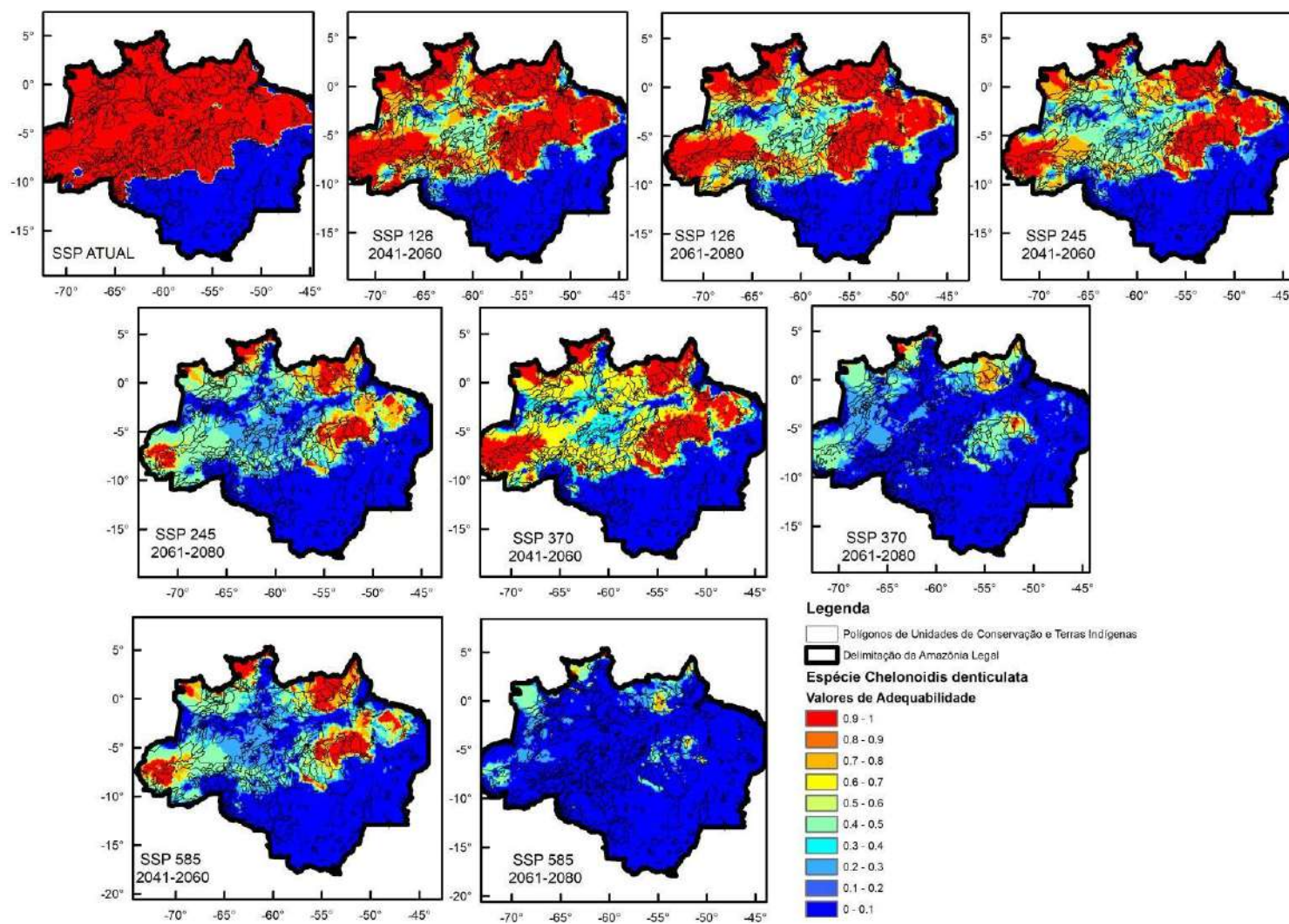
APÊNDICE A.2 - Projeções SSP para *Chelonoidis carbonaria*, da atualidade a 2080.



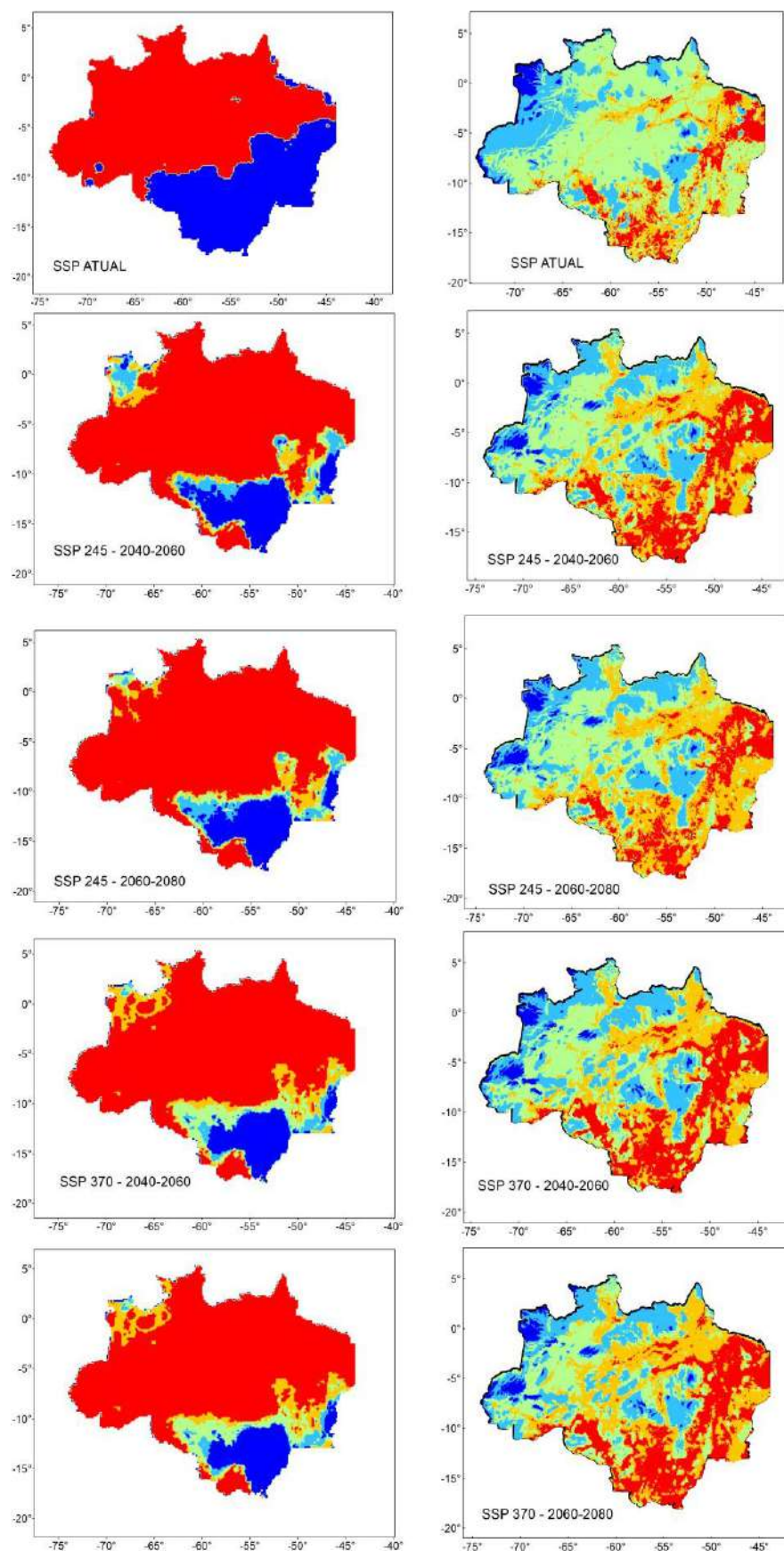
APÊNDICE A.3 - Projeções RCP para *Chelonoidis denticulata*, da atualidade a 2070.



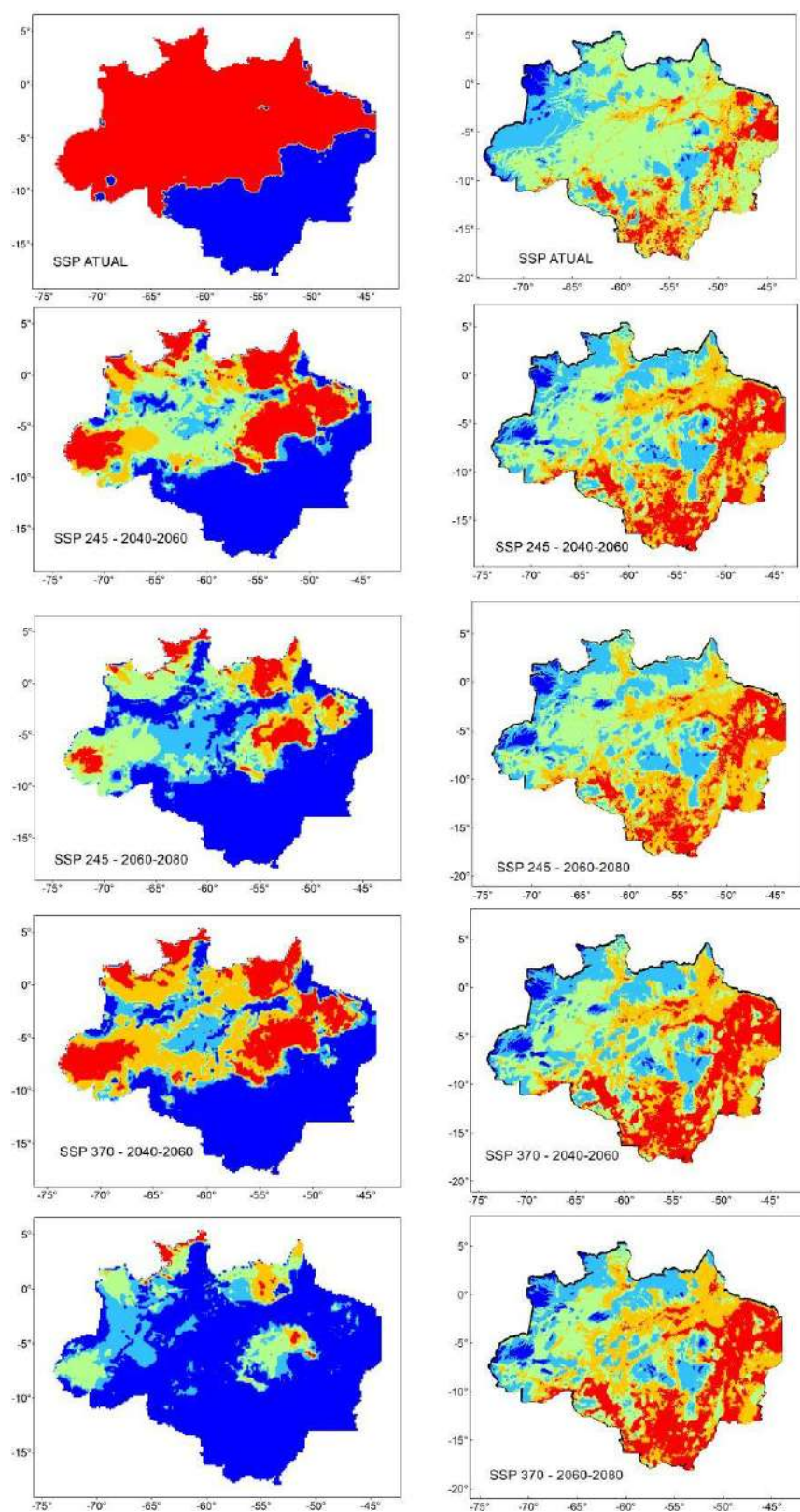
APÊNDICE A.4 - Projeções SSP para *Chelonoidis denticulata*, da atualidade à 2080.



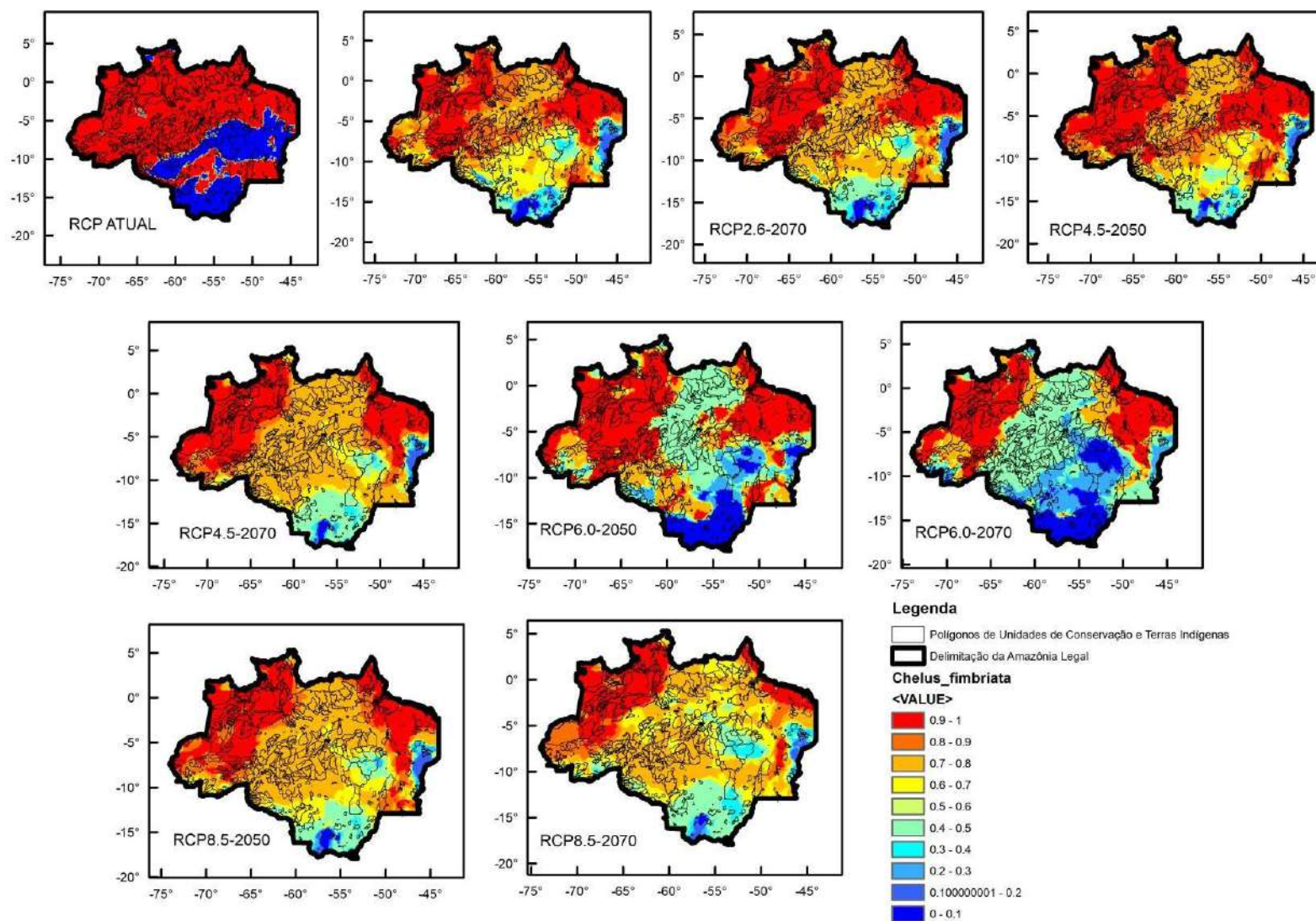
APÊNDICE A.5 - Projeções SSP de *Chelonoidis carbonaria* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



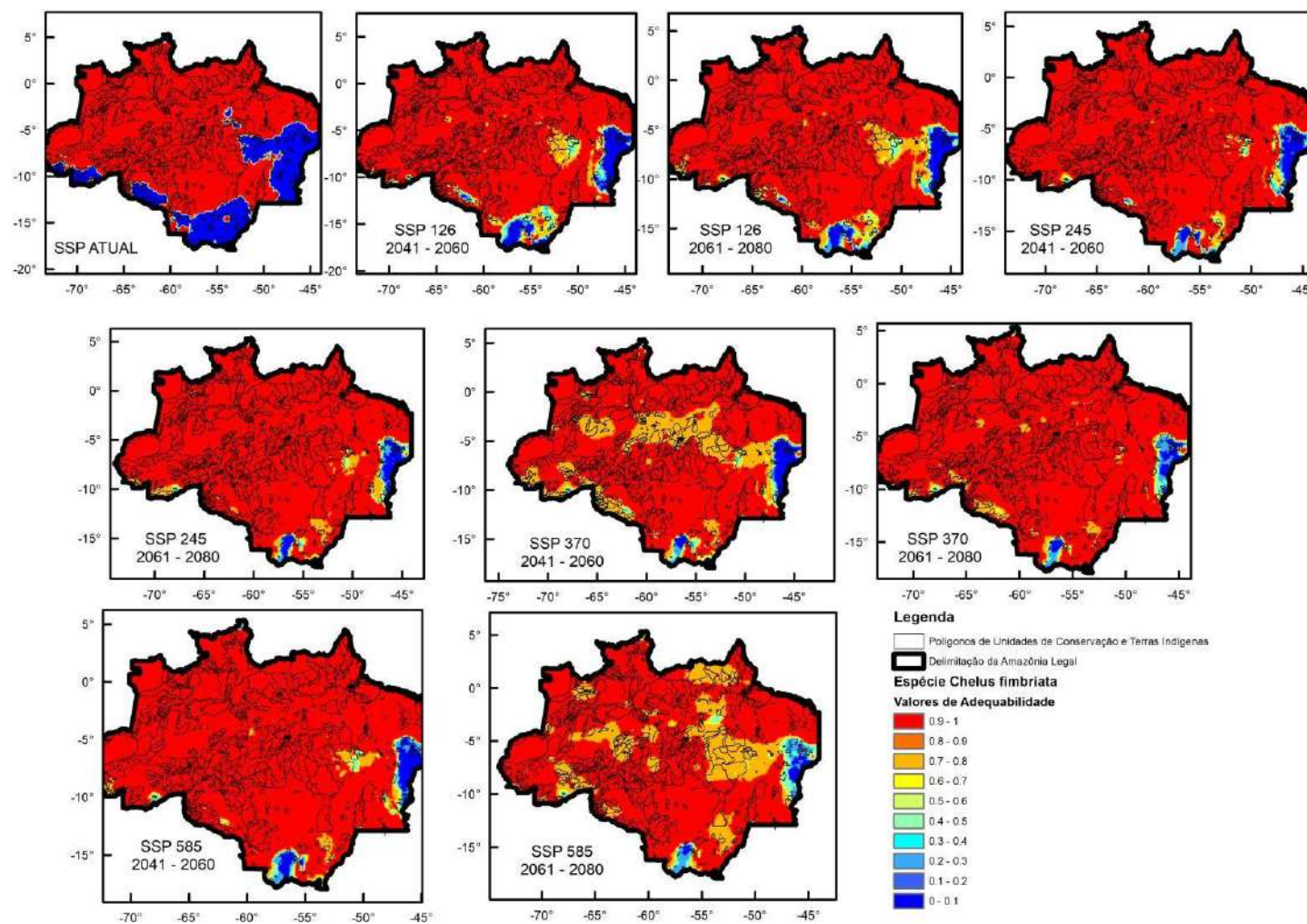
APÊNDICE A.6 - Projeções SSP de *Chelonoidis denticulata* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



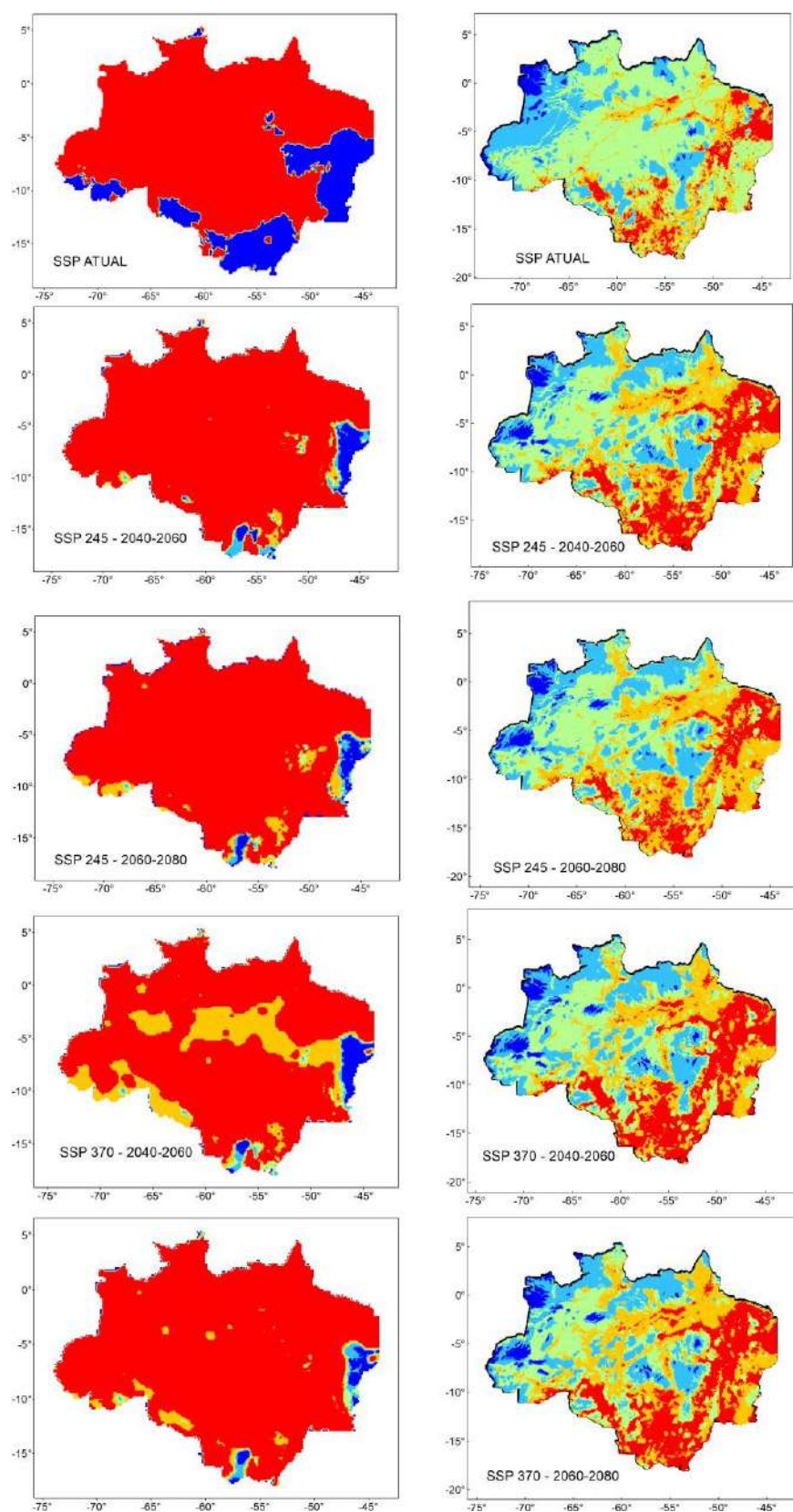
APÊNDICE A.7 - Projeções RCP para *Chelus fimbriata*, da atualidade a 2070.



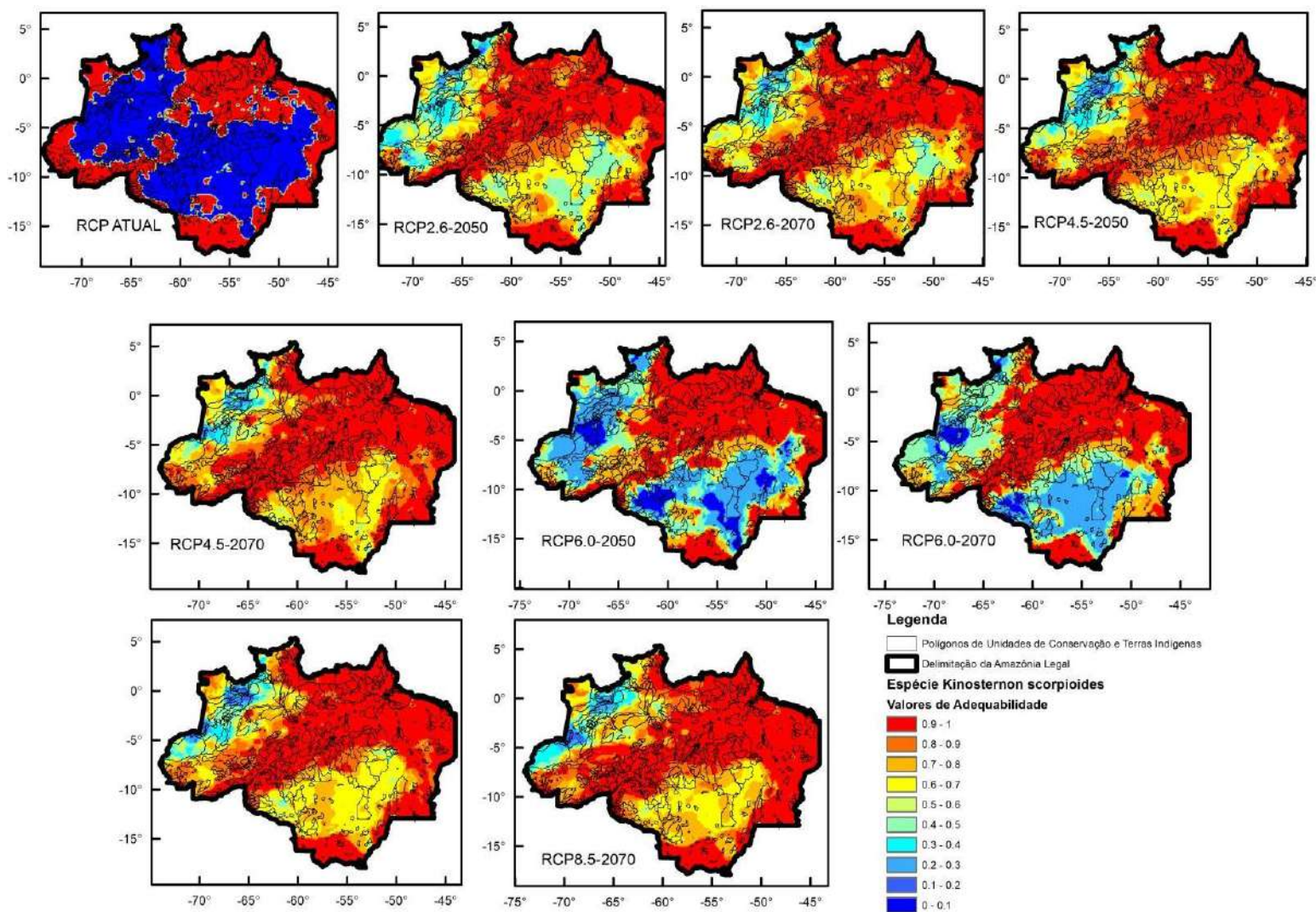
APÊNDICE A.8 - Projeções SSP para *Chelus fimbriata*, da atualidade à 2080.



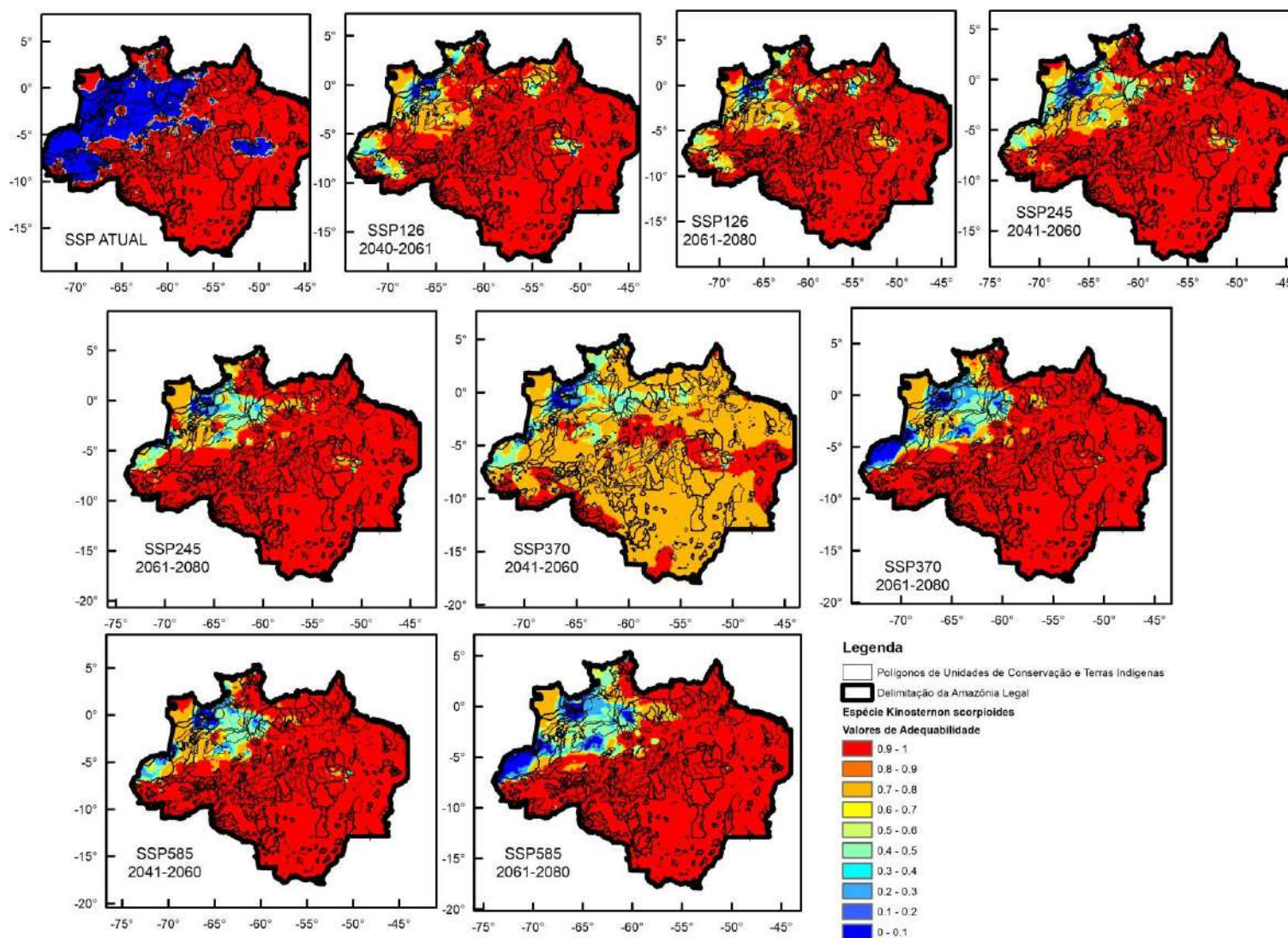
APÊNDICE A.9 - Projeções SSP de *Chelus fimbriata* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



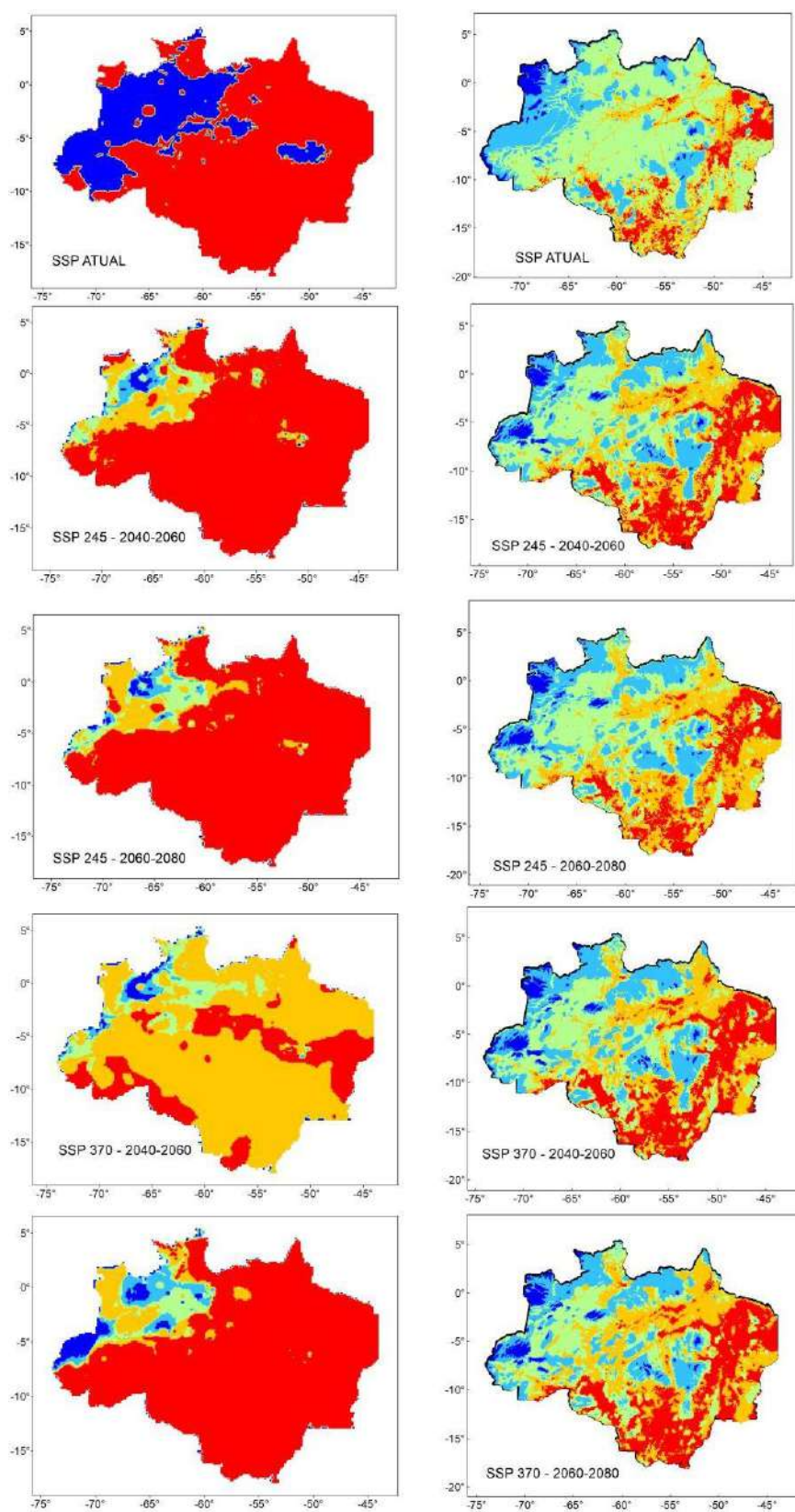
APÊNDICE A.10 - Projeções RCP para *Kinosternon scorpioides*, da atualidade a 2070.



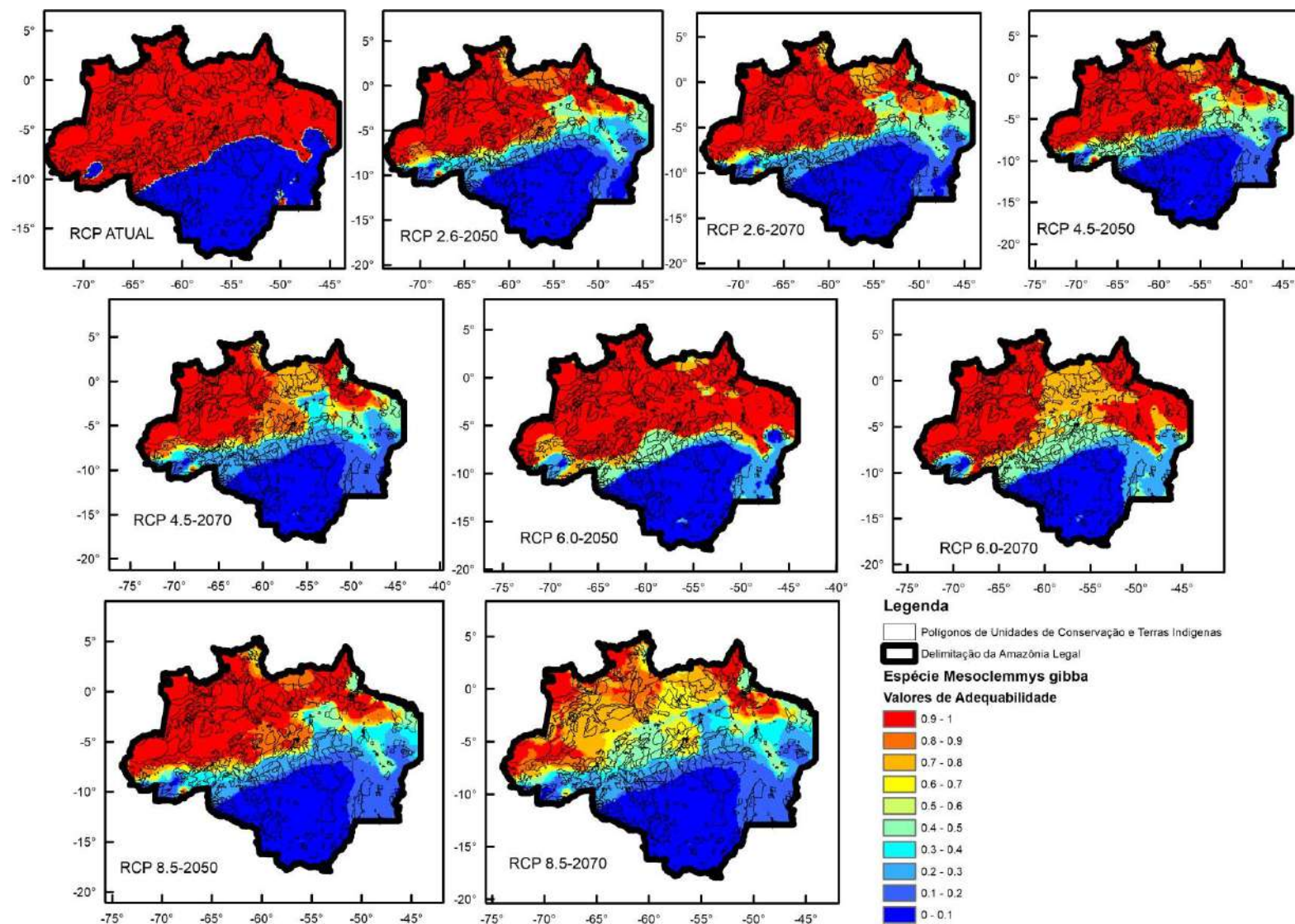
APÊNDICE A.11 - Projeções SSP para *Kinosternon scorpioides*, da atualidade à 2080.



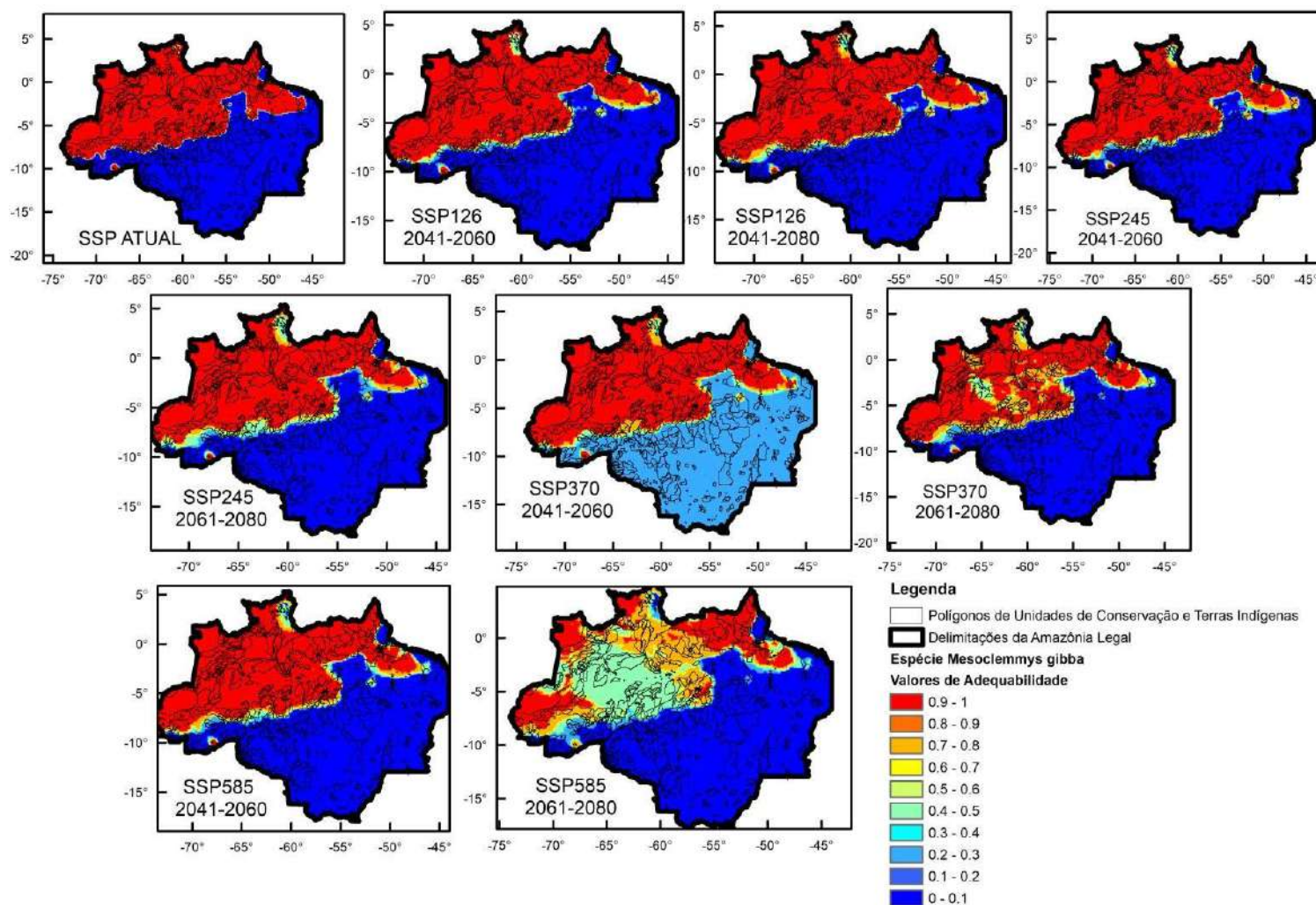
APÊNDICE A.12 - Projeções SSP de *Kinosternon scorpioides* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



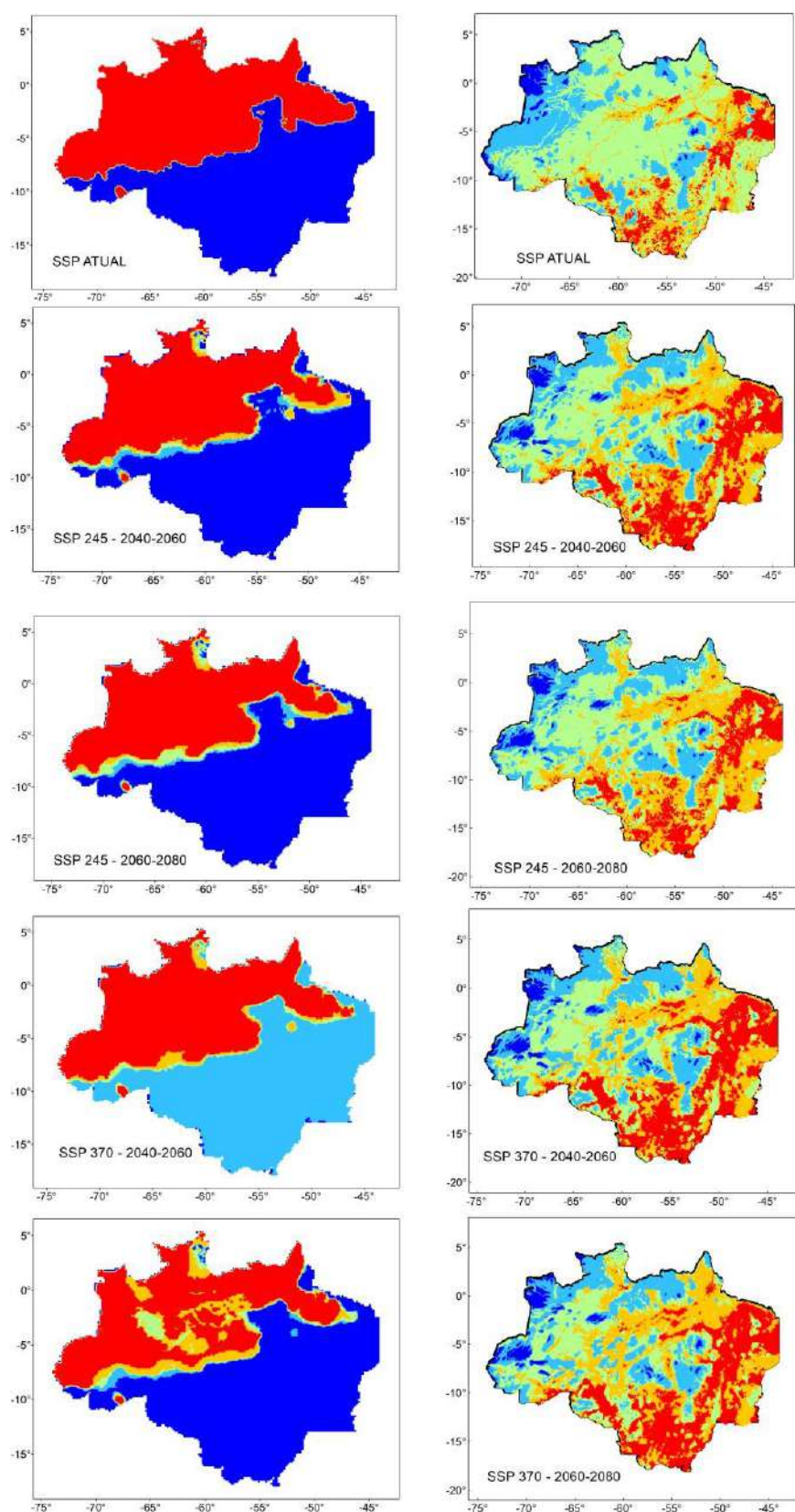
APÊNDICE A.13 - Projeções RCP para *Mesoclemmys gibba*, da atualidade a 2070.



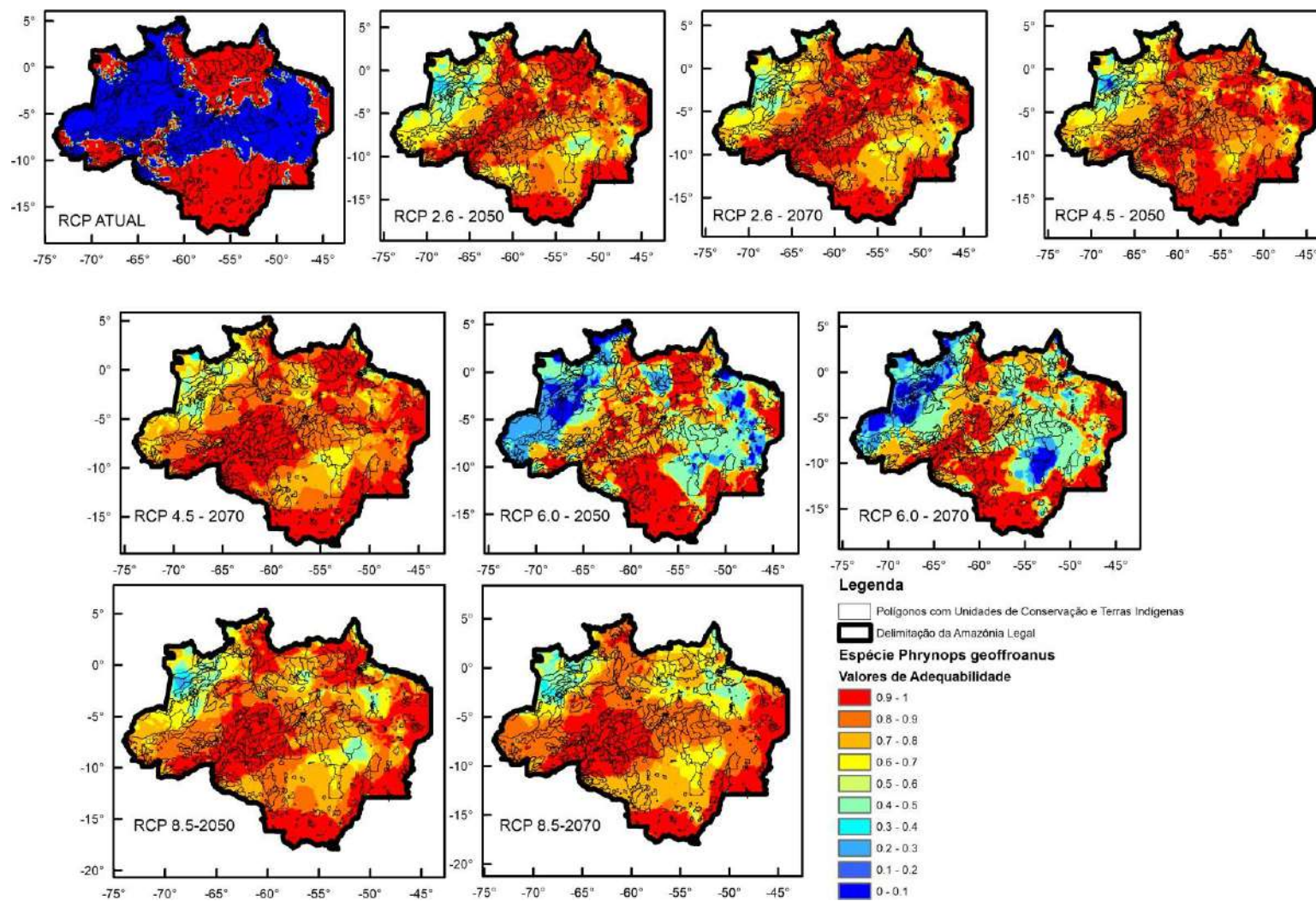
APÊNDICE A.14 - Projeções SSP para *Mesoclemmys gibba*, da atualidade à 2080.



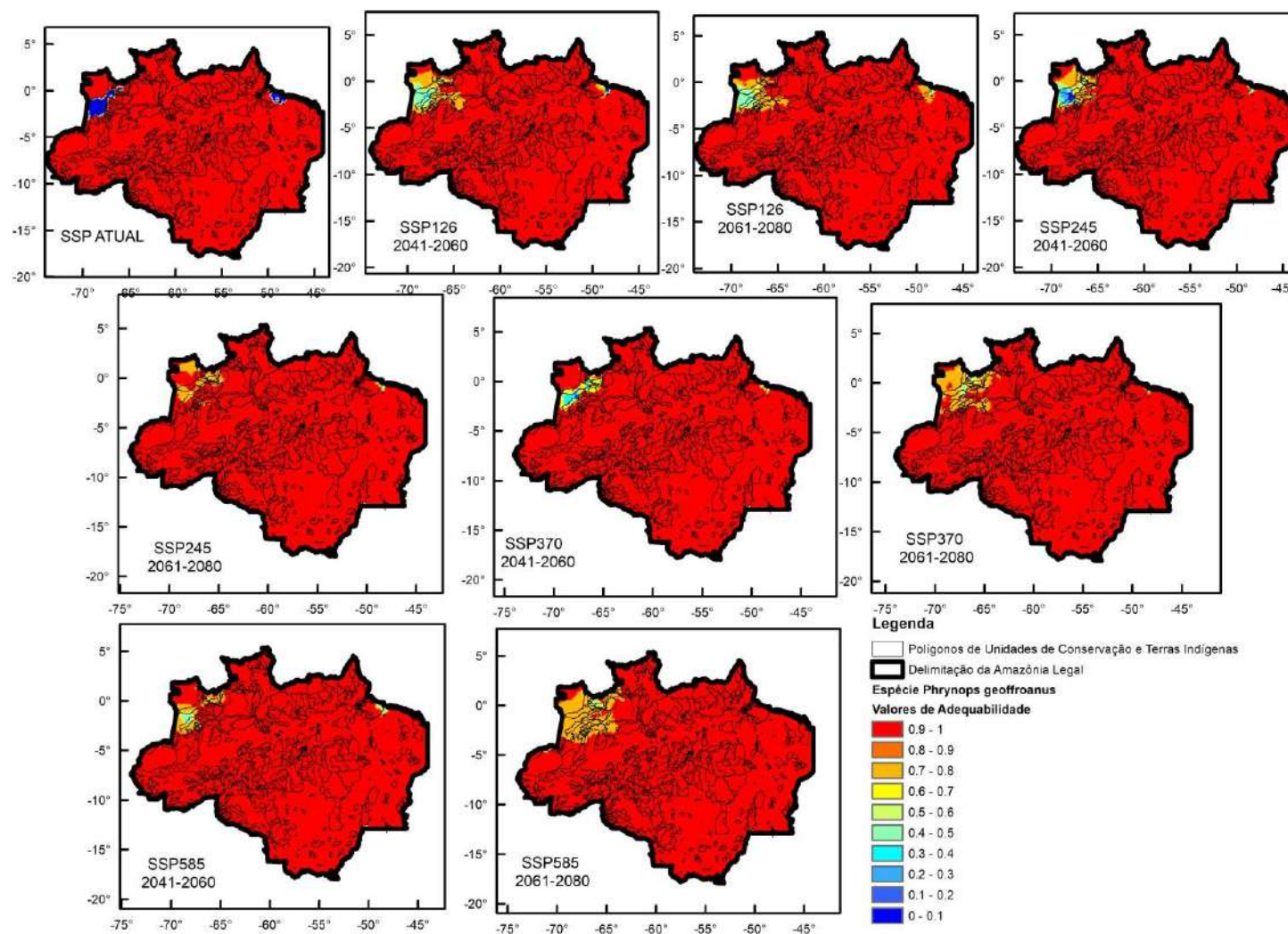
APÊNDICE A.15- Projeções SSP de *Mesoclemmys gibba* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



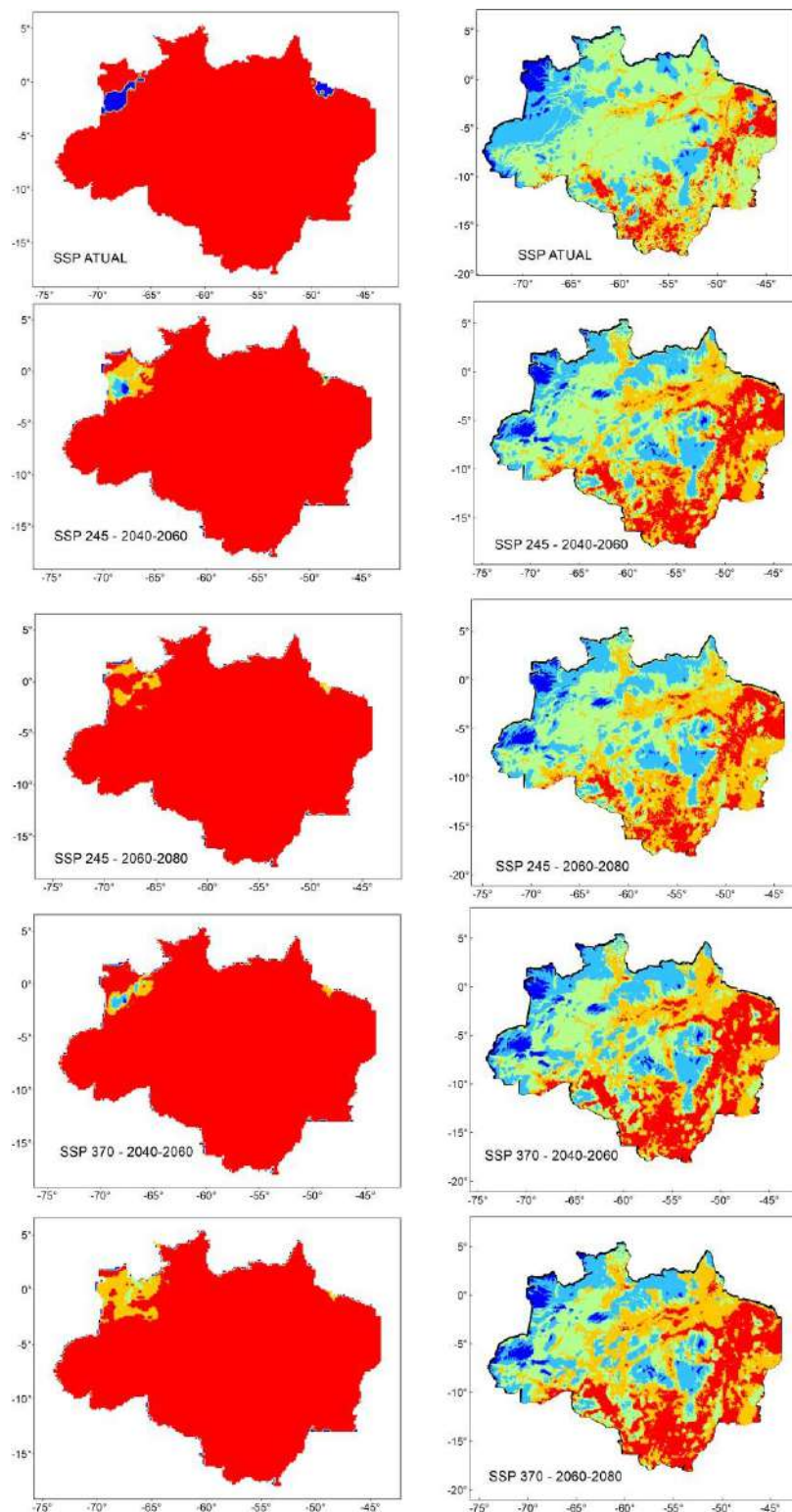
APÊNDICE A.16 - Projeções RCP para *Phrynops geoffroanus*, da atualidade a 2070.



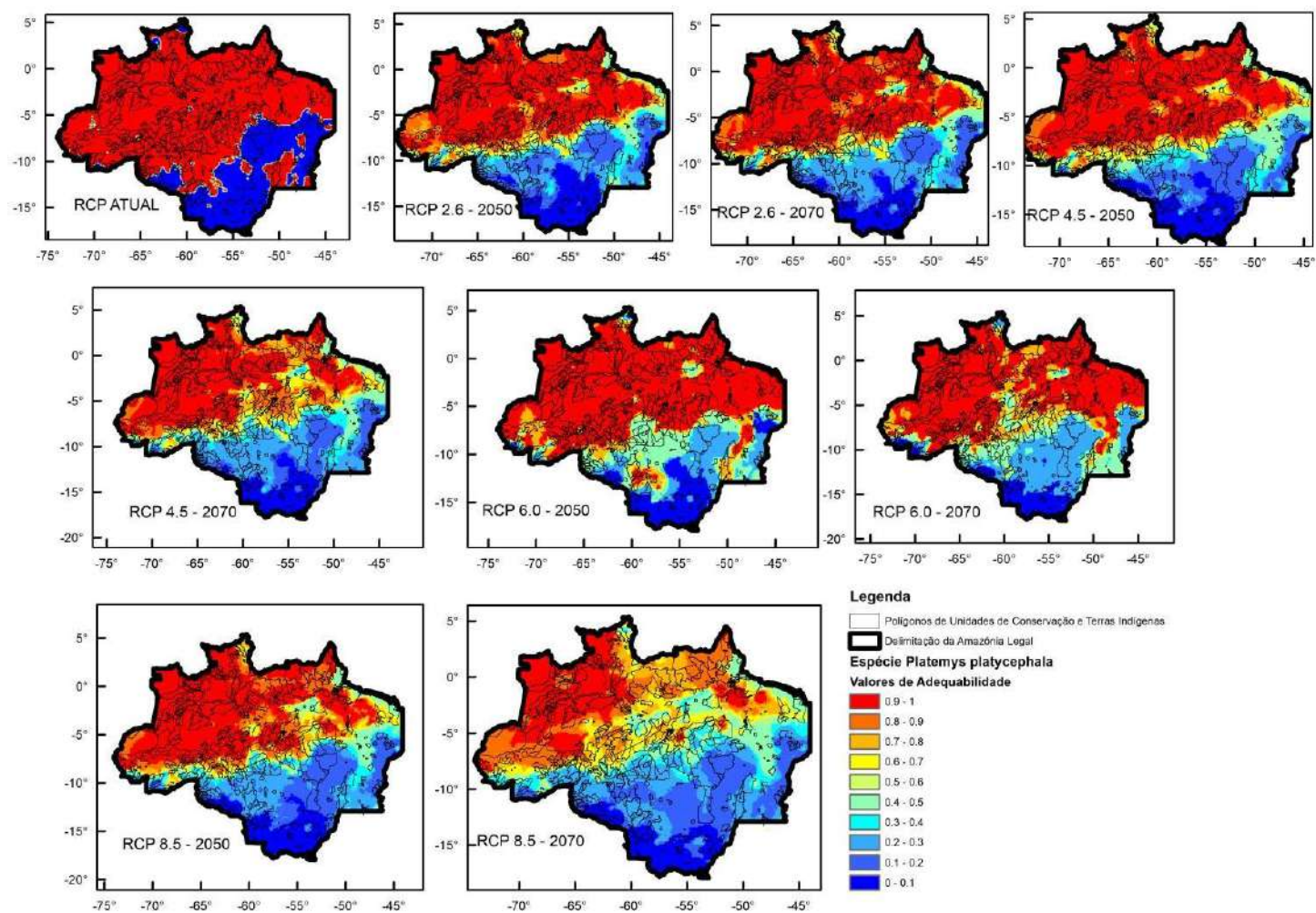
APÊNDICE A.17- Projeções SSP para *Phrynops geoffroanus*, da atualidade à 2080.



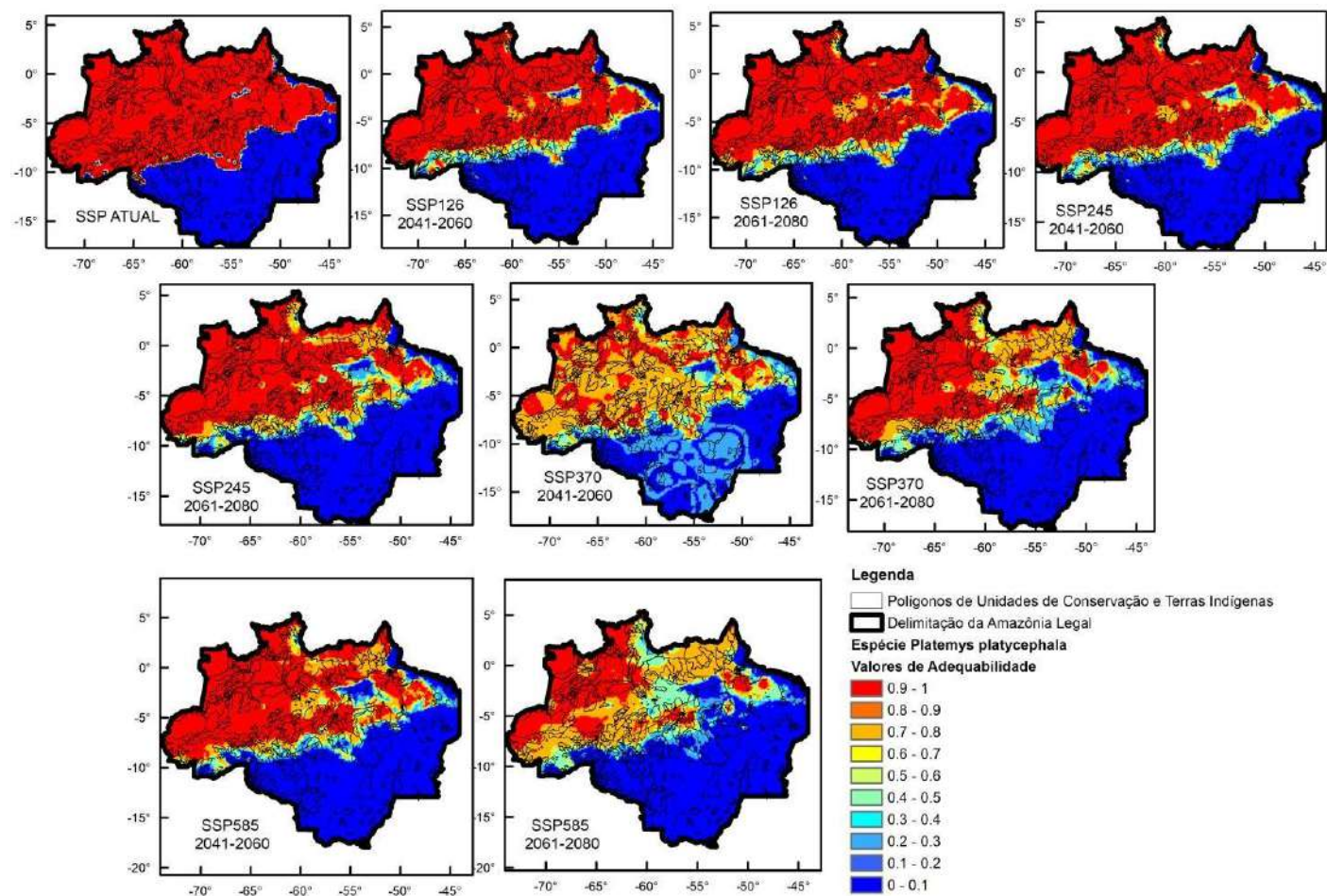
APÊNDICE A.18 - Projeções SSP de *Phrynos groffroanus* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



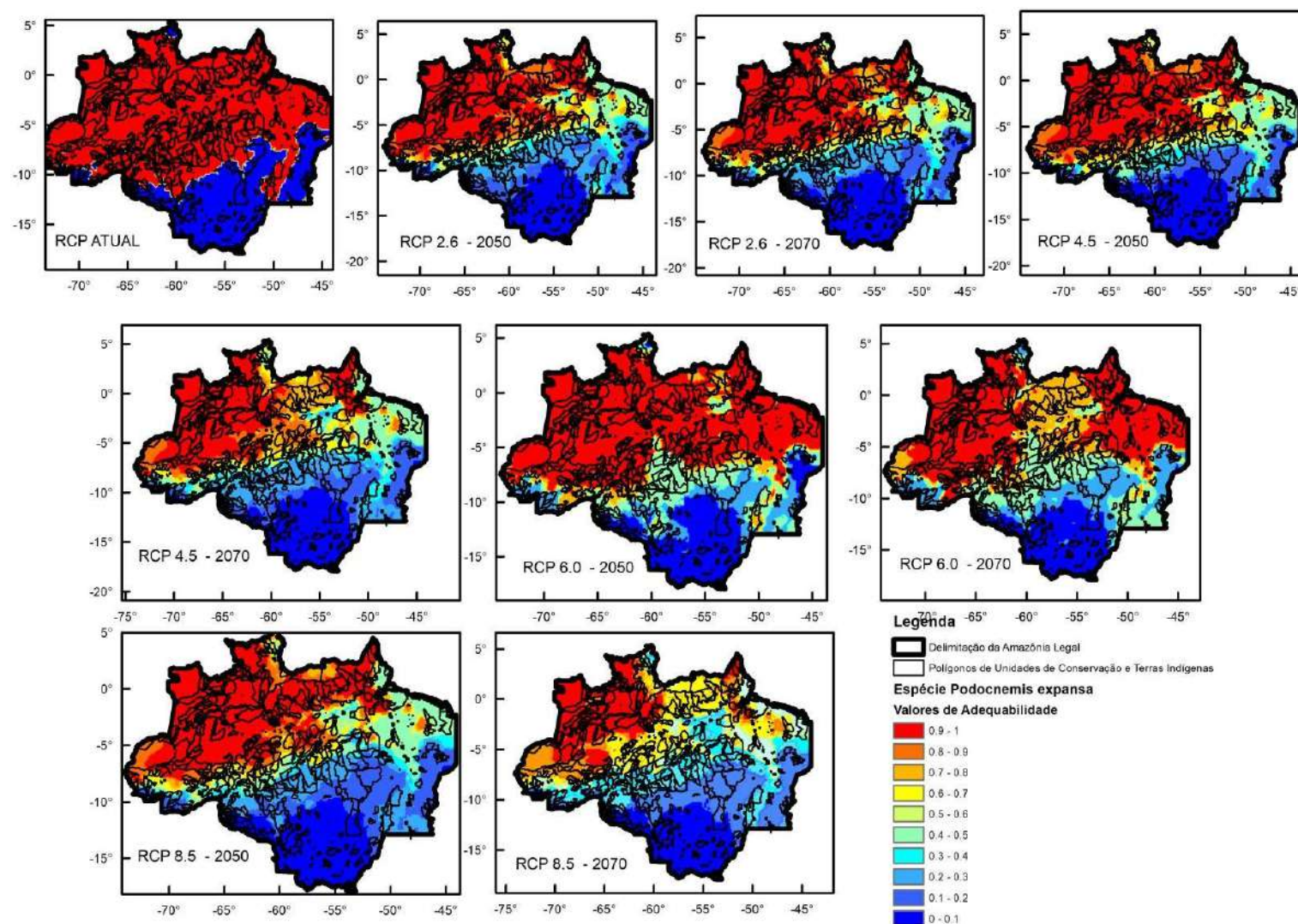
APÊNDICE A.19 - Projeções RCP para *Platemys platycephala*, da atualidade a 2070.



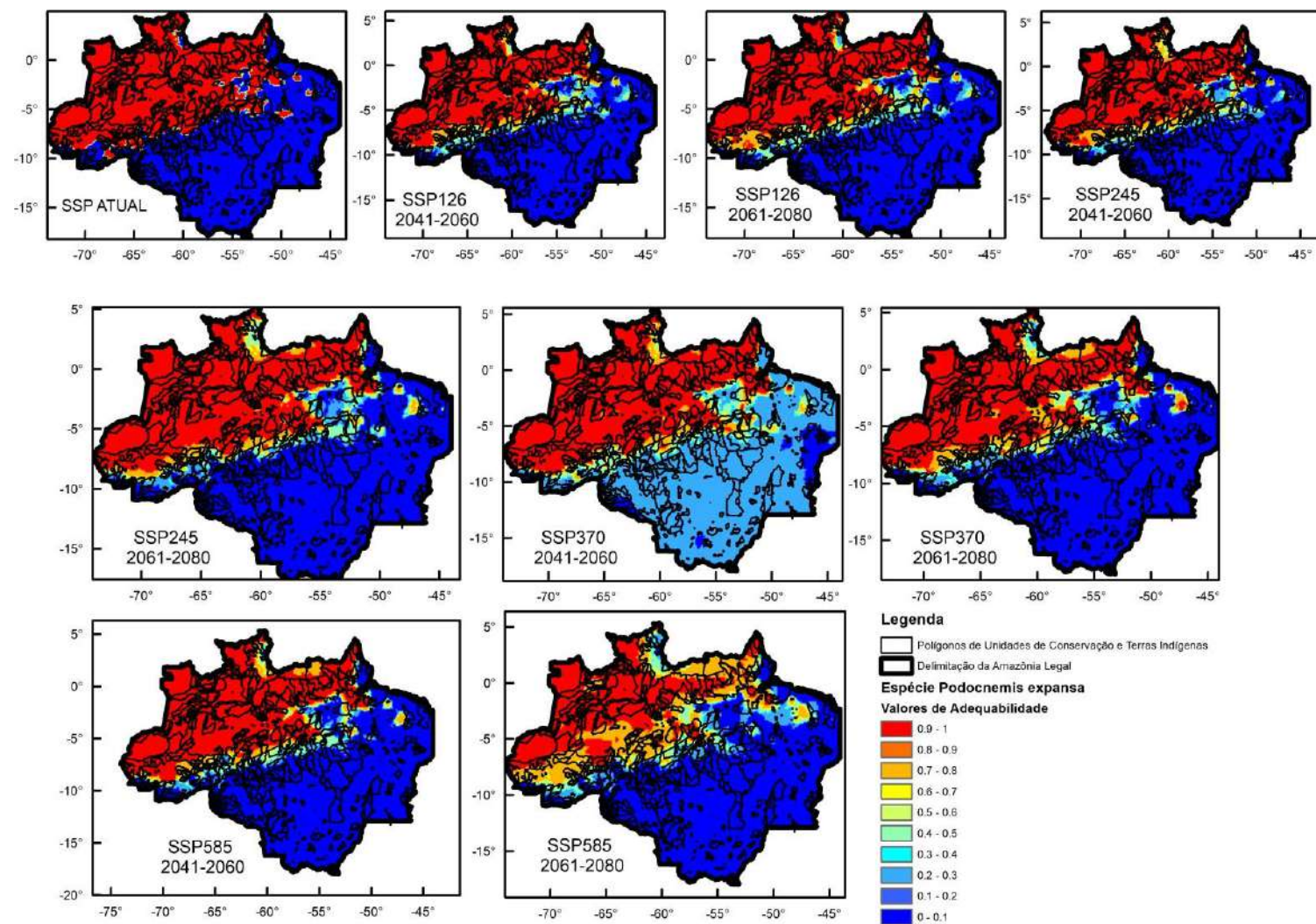
APÊNDICE A.20 - Projeções SSP para *Platemys platycephala*, da atualidade à 2080.



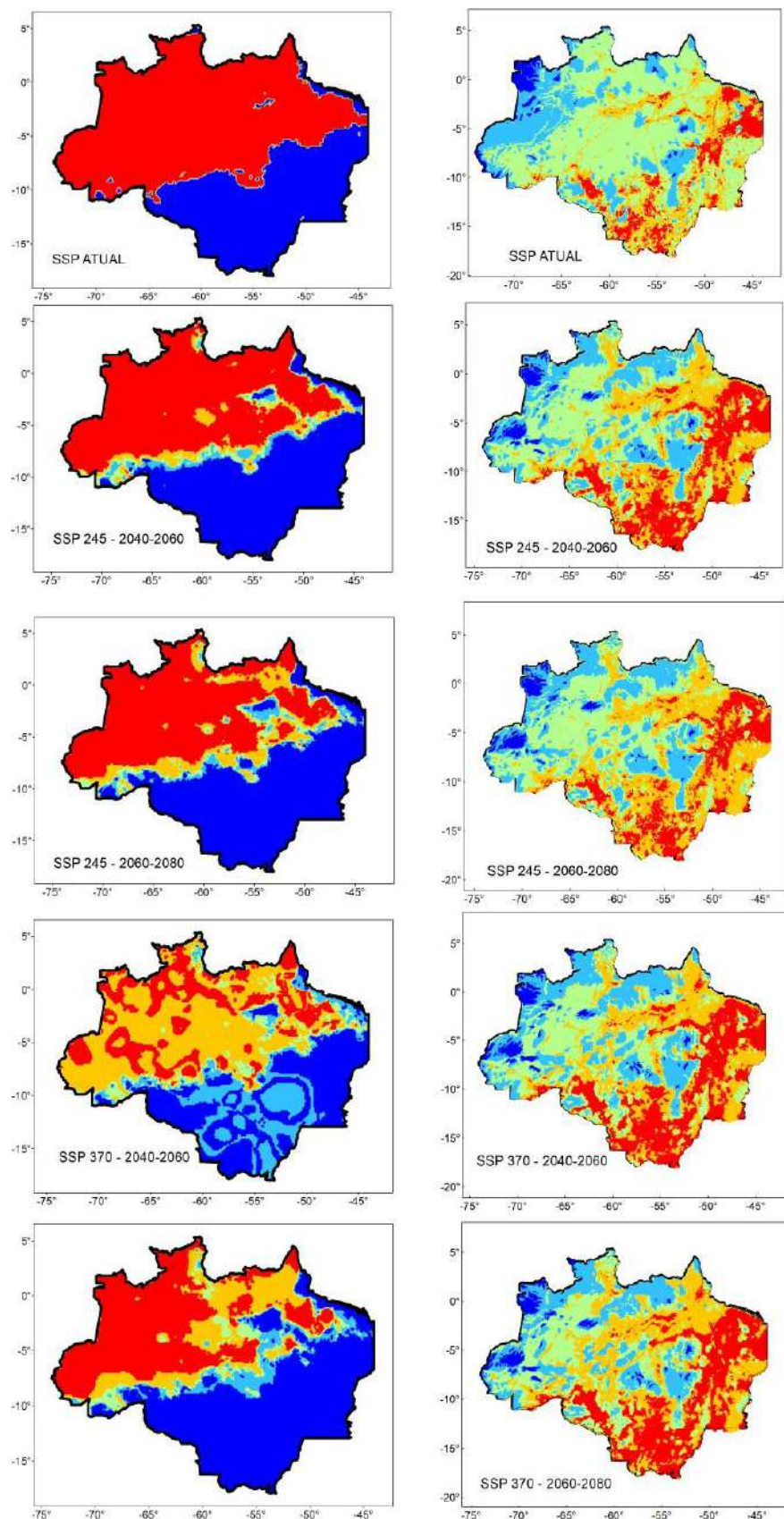
APÊNDICE A.21 - Projeções RCP para *Podocnemis expansa*, da atualidade a 2070.



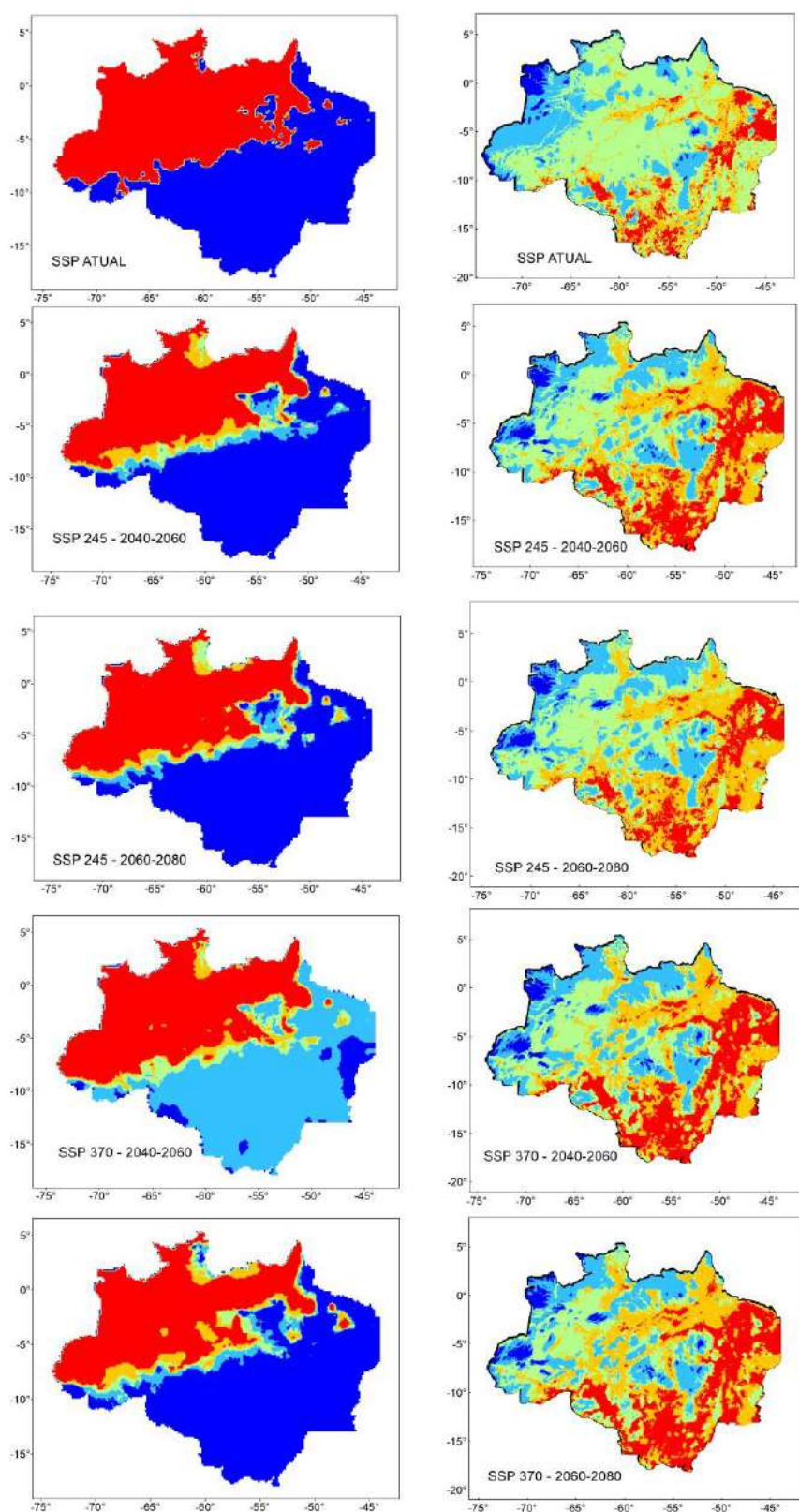
APÊNDICE A.22 - Projeções SSP para *Podocnemis expansa*, da atualidade à 2080.



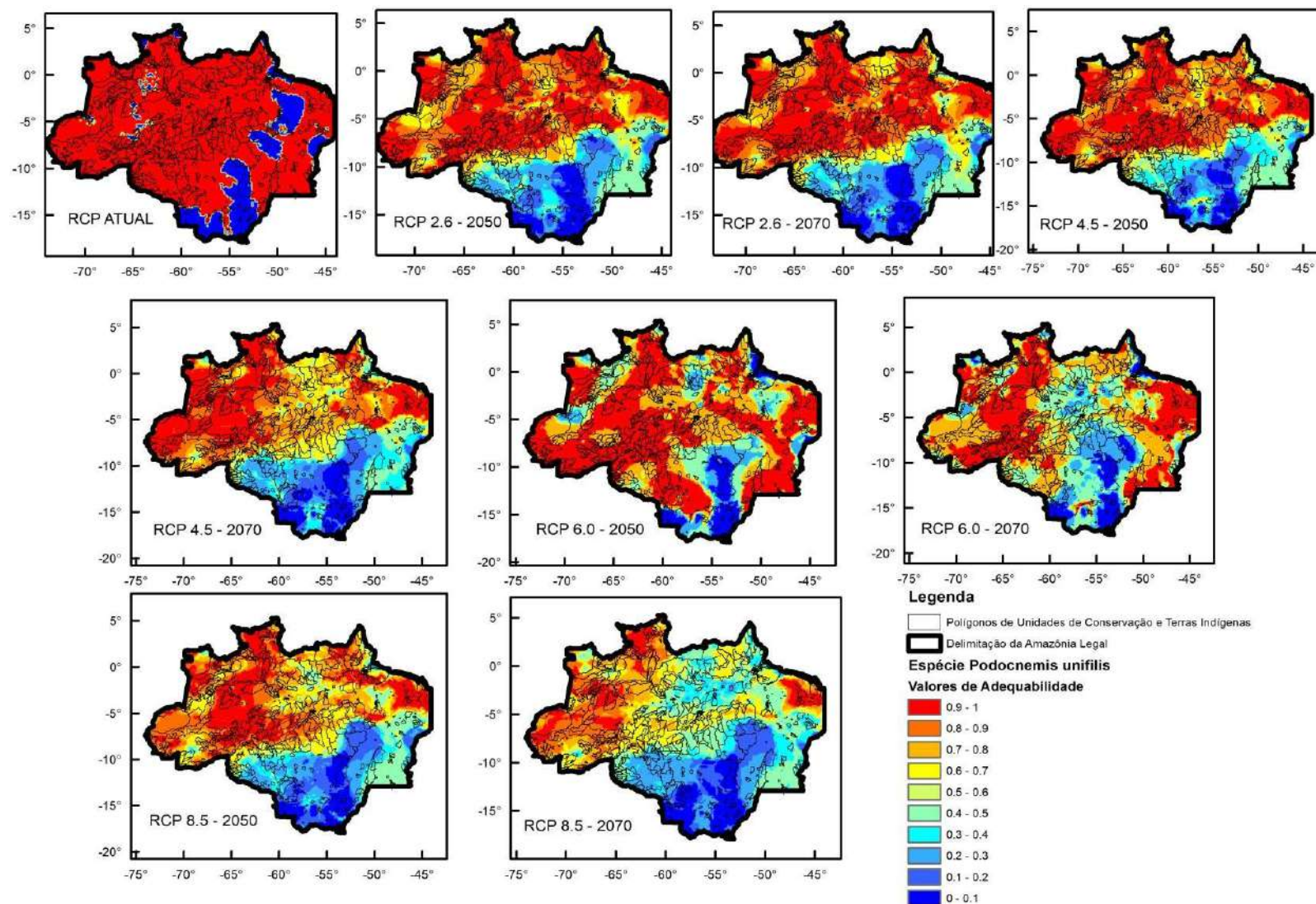
APÊNDICE A.23 - Projeções SSP de *Platemys platycephala* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



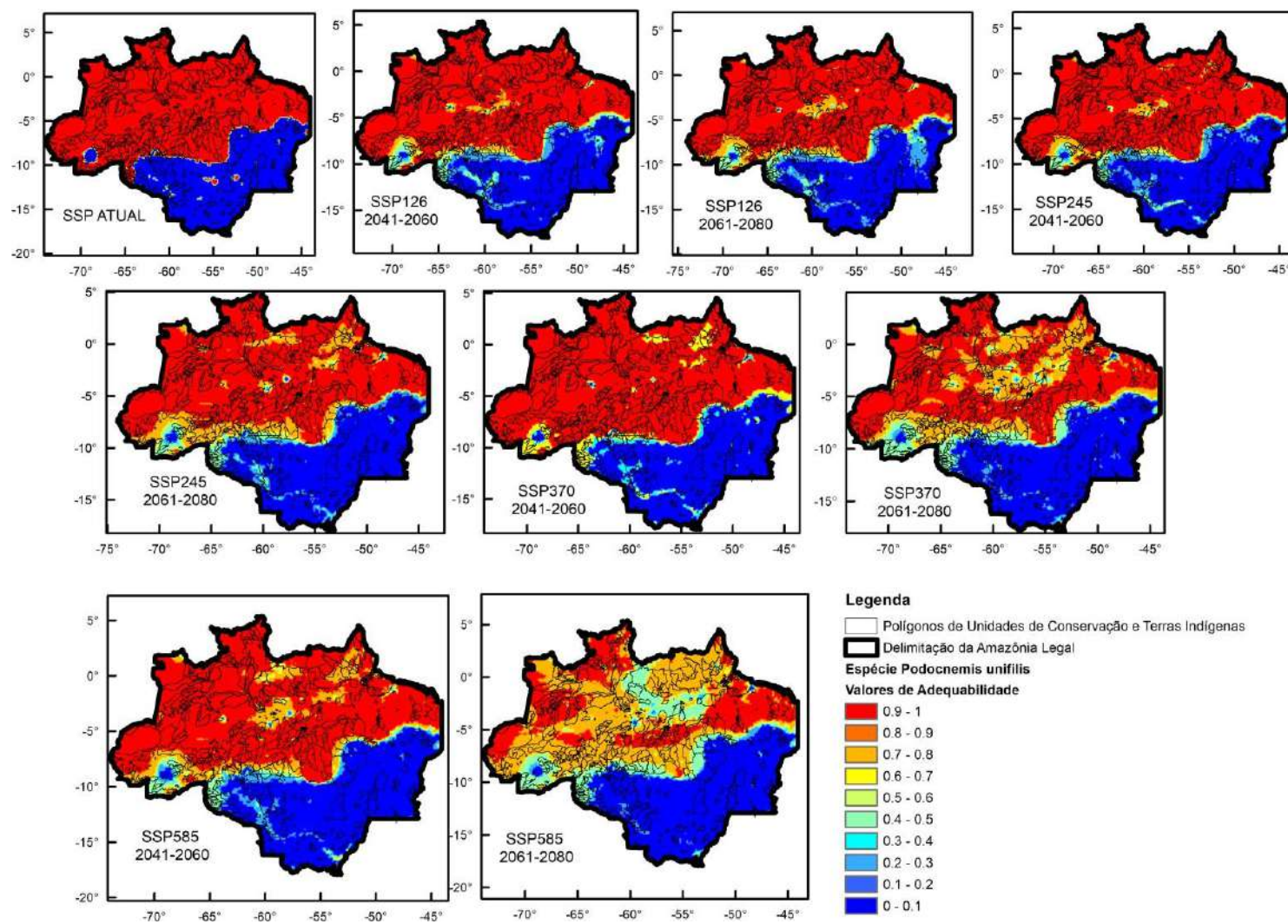
APÊNDICE A.24 - Projeções SSP de *Podocnemis expansa* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



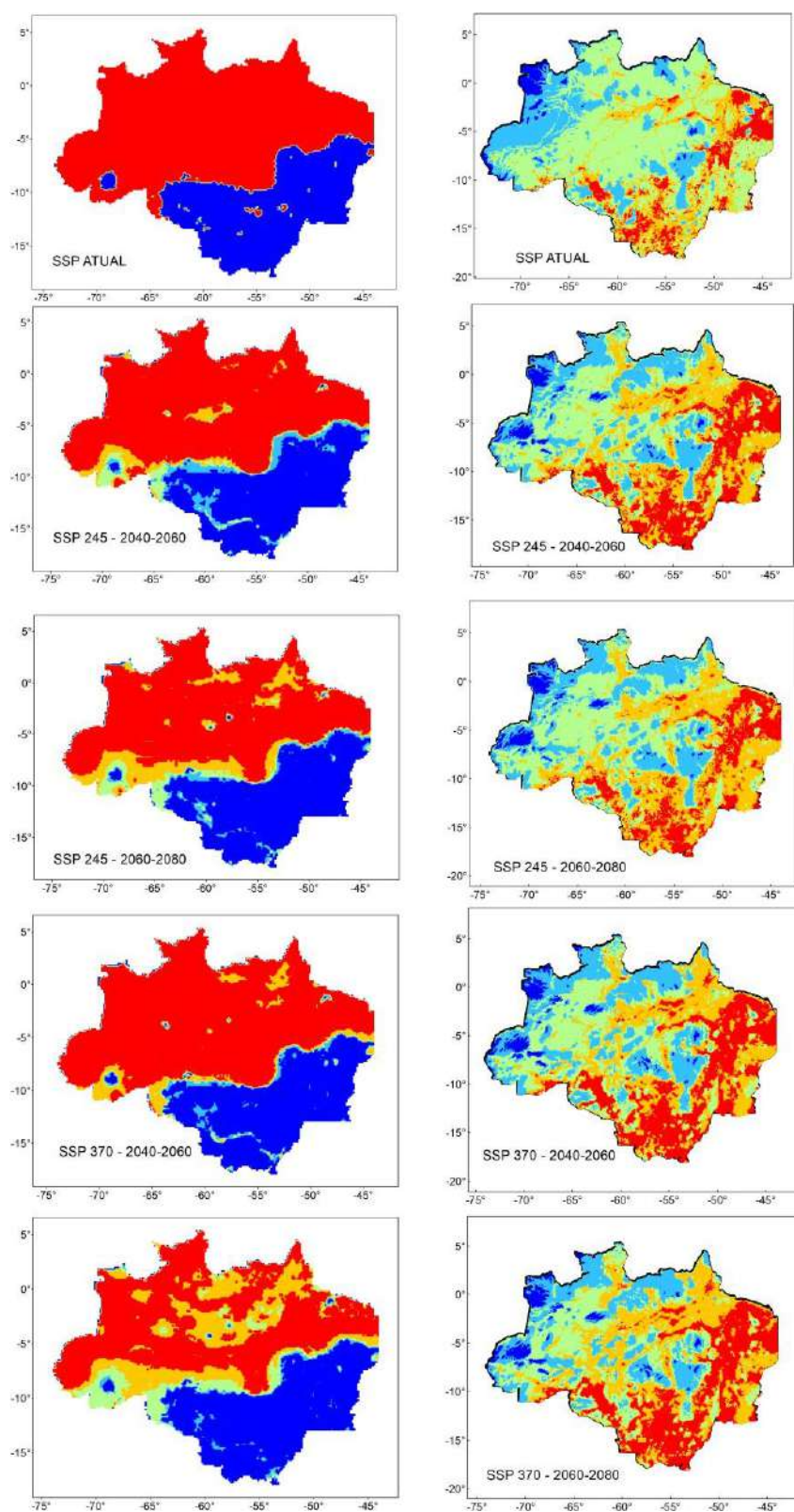
APÊNDICE A.25- Projeções RCP para *Podocnemis unifilis*, da atualidade a 2070.



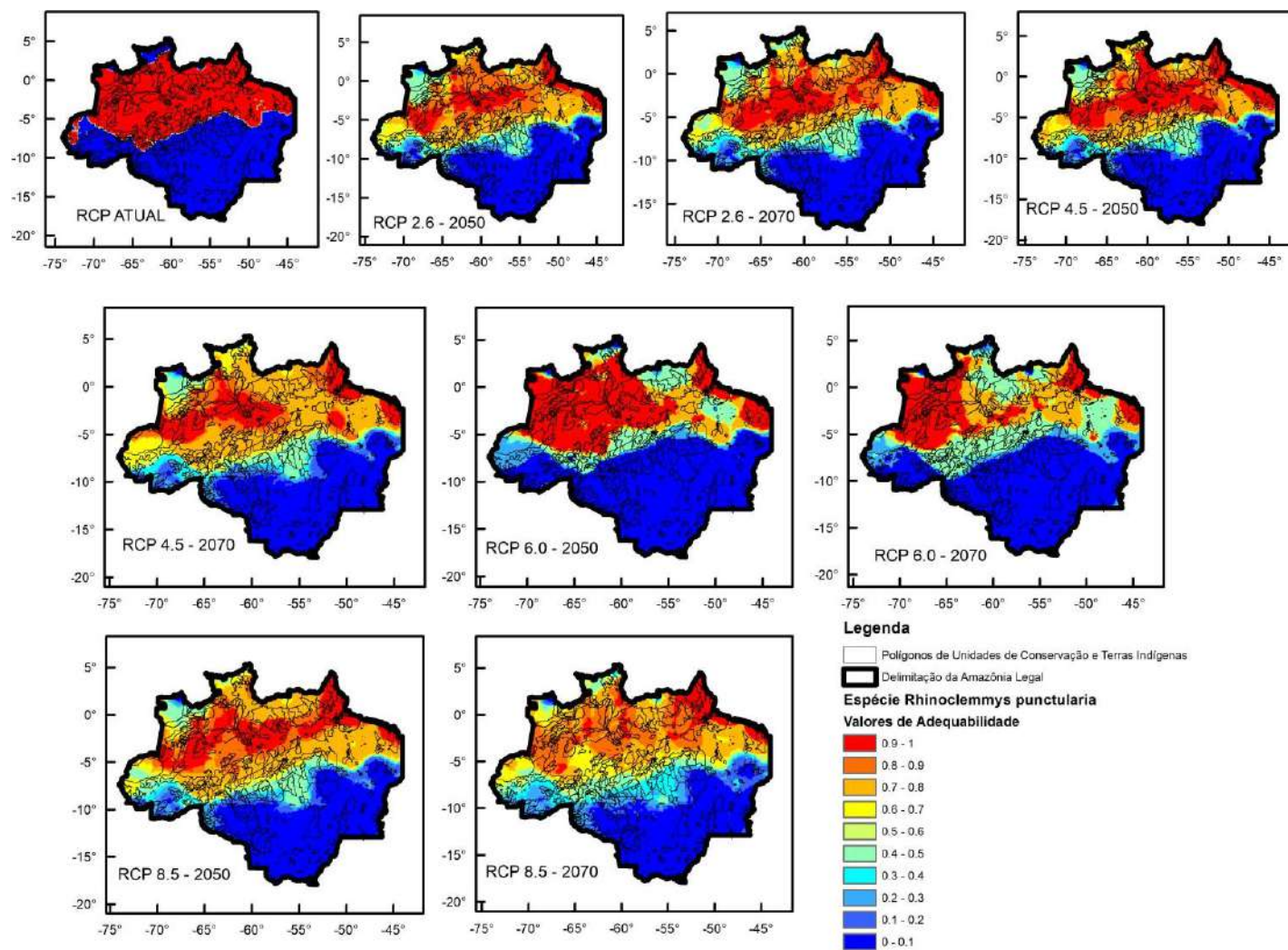
APÊNDICE A.26 - Projeções SSP para *Podocnemis unifilis*, da atualidade à 2080.



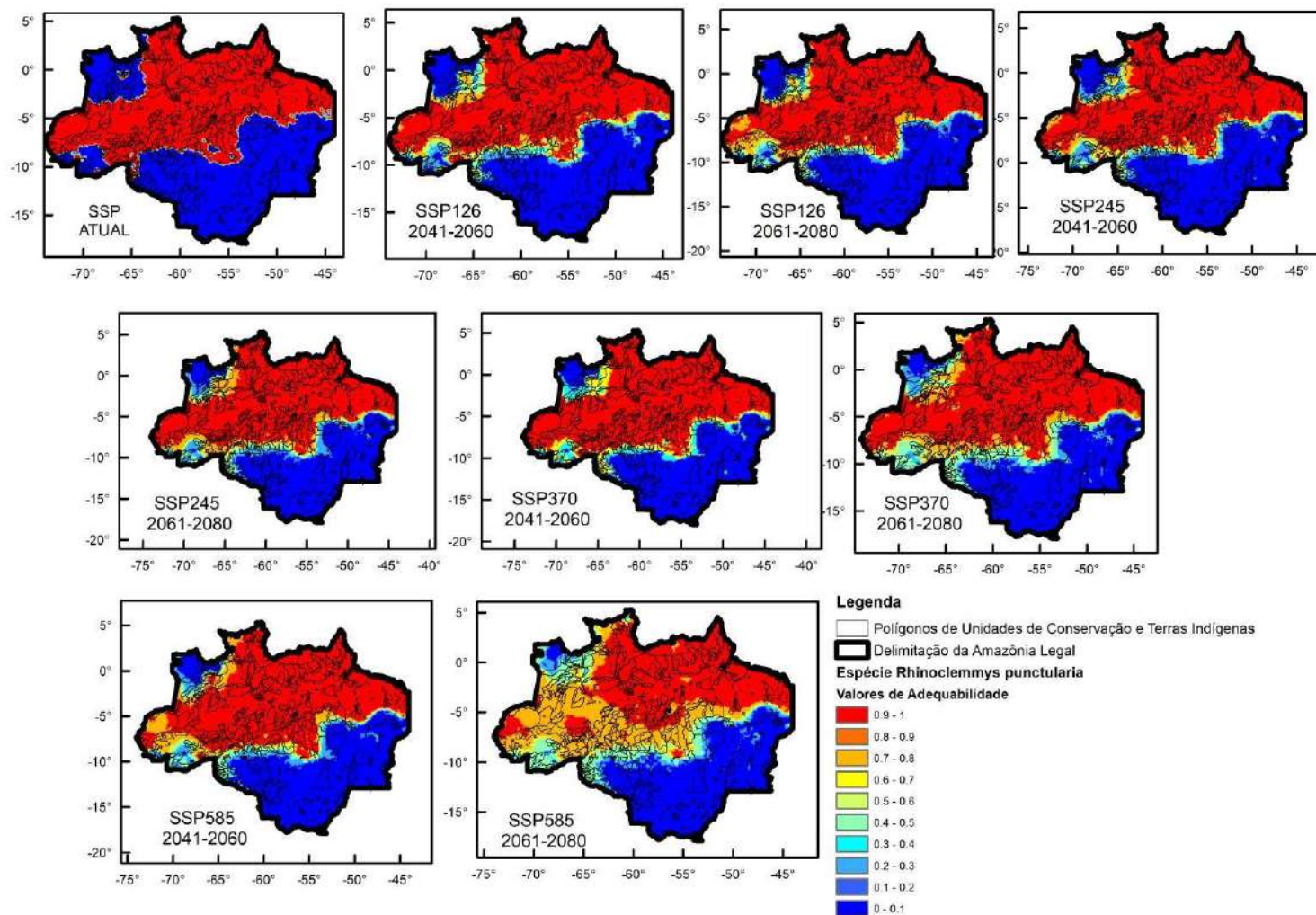
APÊNDICE A.27 - Projeções SSP de *Podocnemis unifilis* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



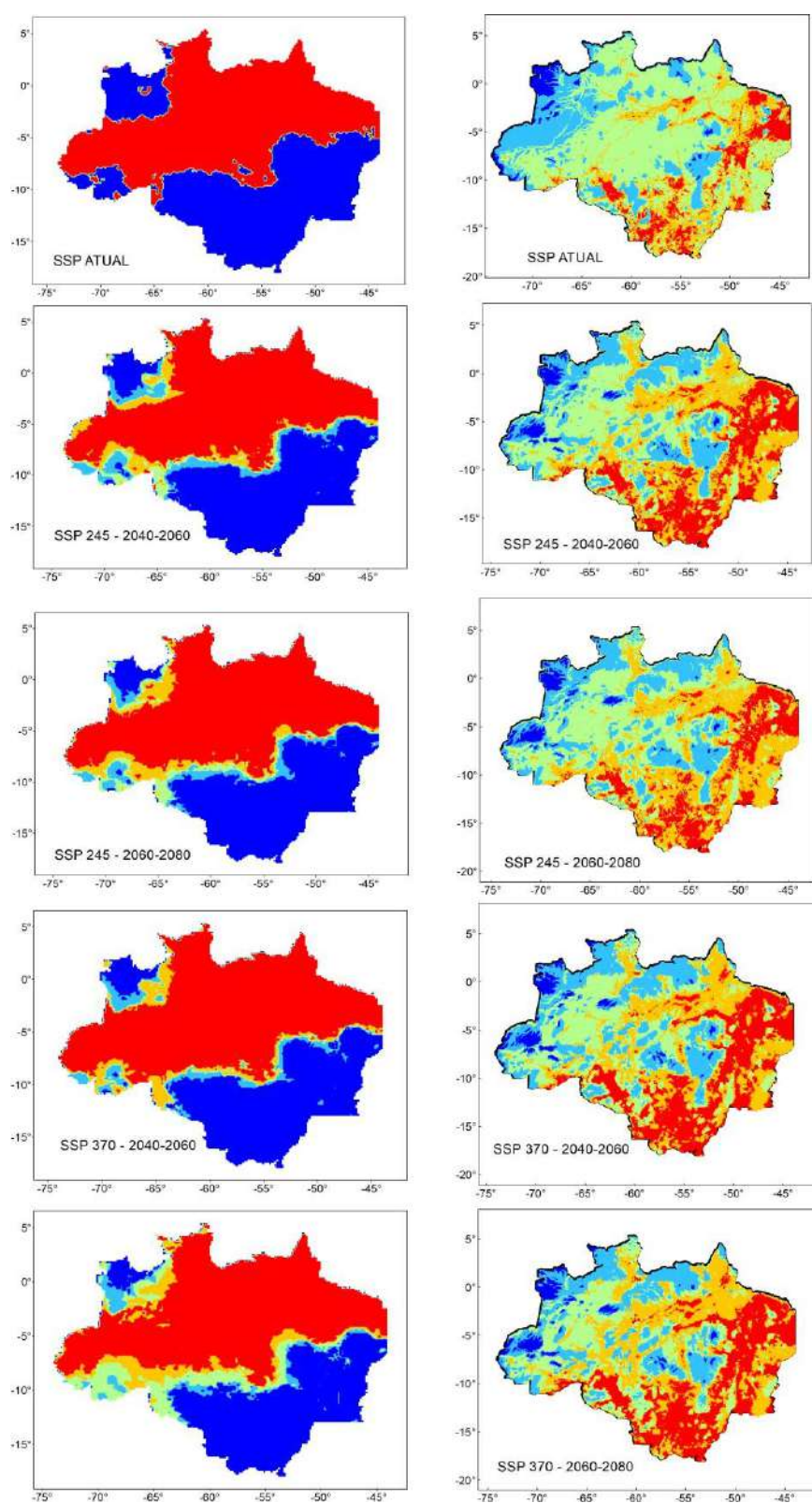
APÊNDICE A.28 - Projeções RCP para *Rhinoclemmys punctularia*, da atualidade a 2070.



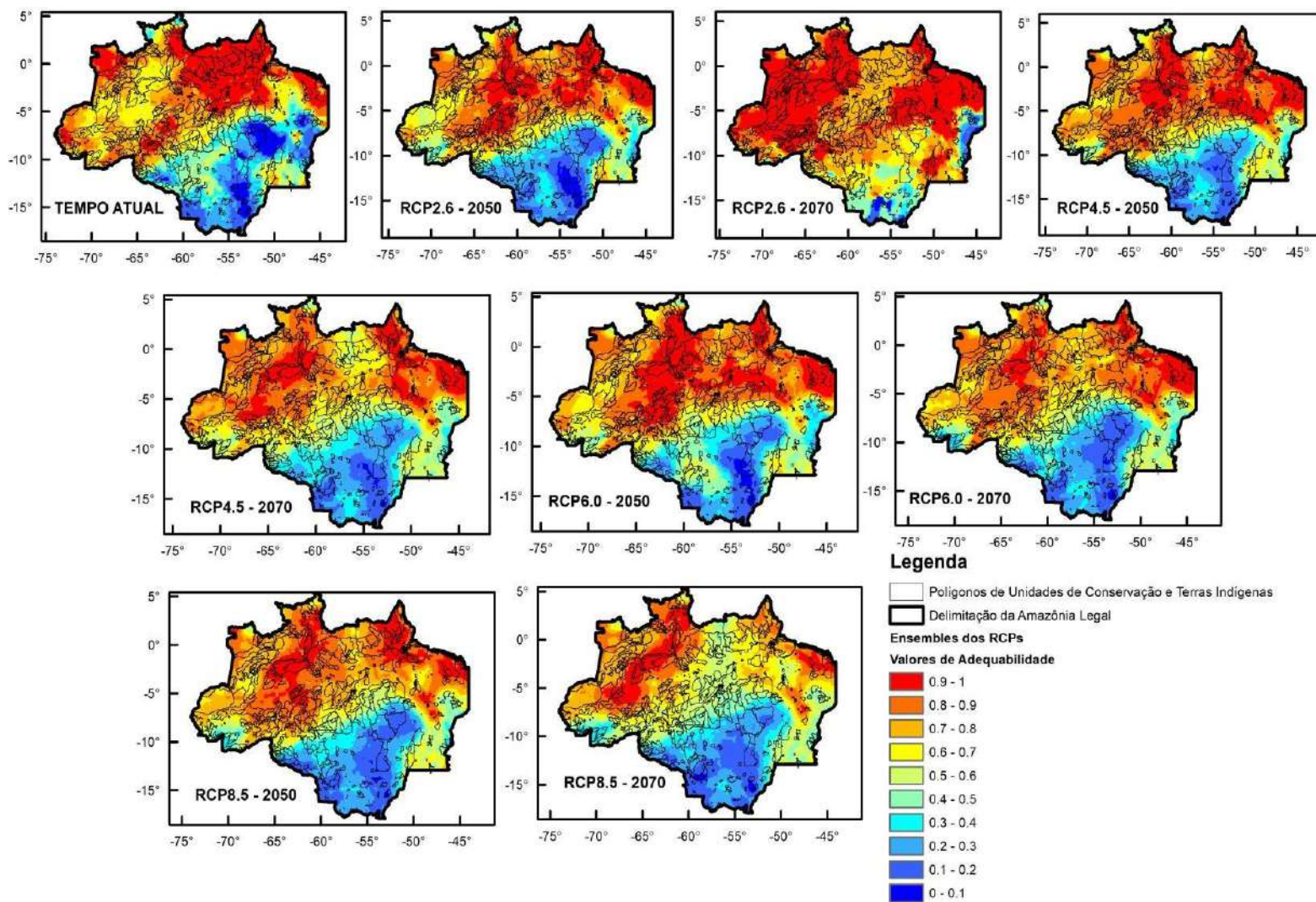
APÊNDICE A.29 - Projeções SSP para *Rhinoclemmys punctularia*, da atualidade à 2080.

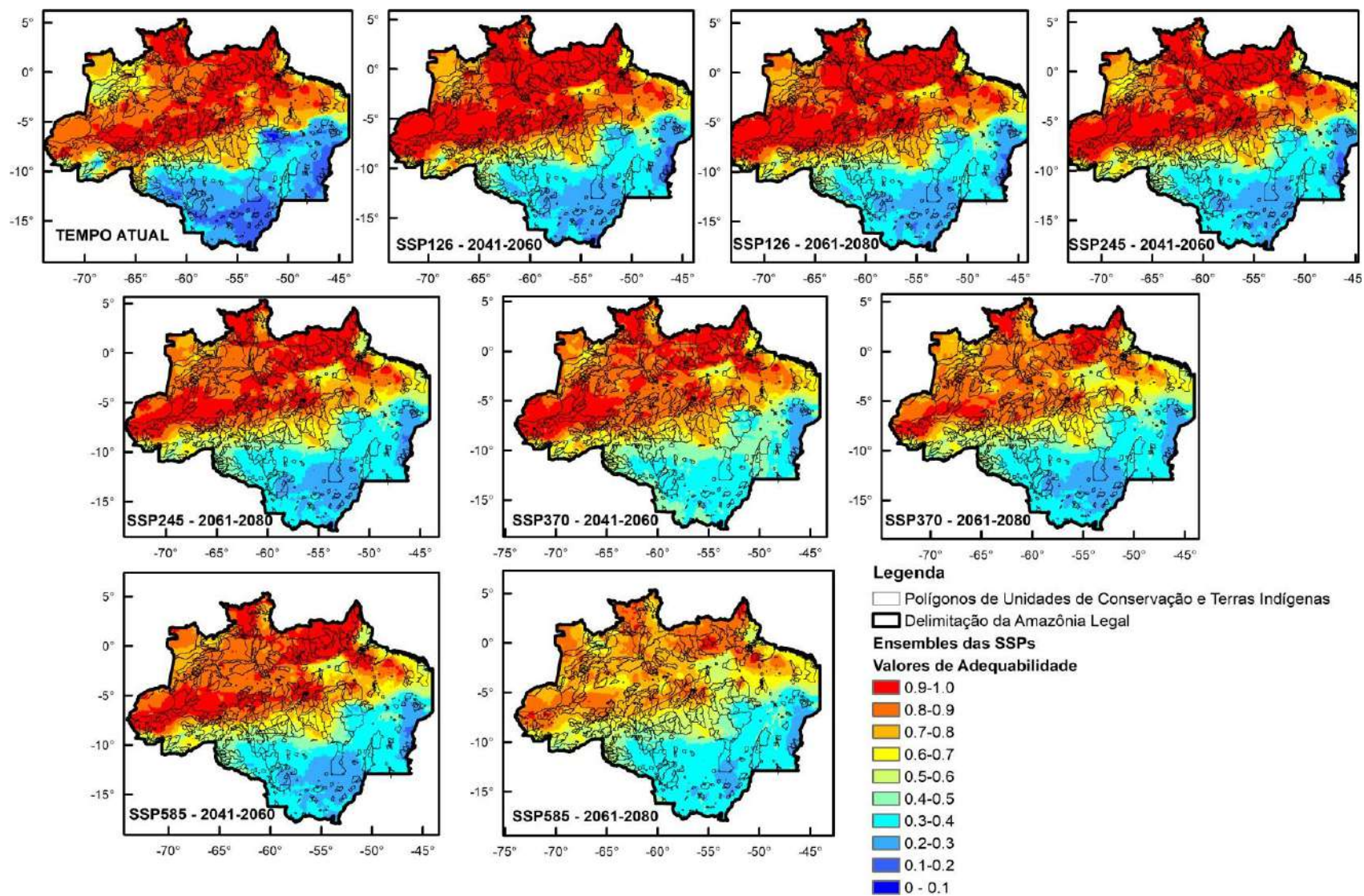


APÊNDICE A.30 - Projeções SSP de *Rhinoclemmys punctularia* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2) da atualidade a 2080.

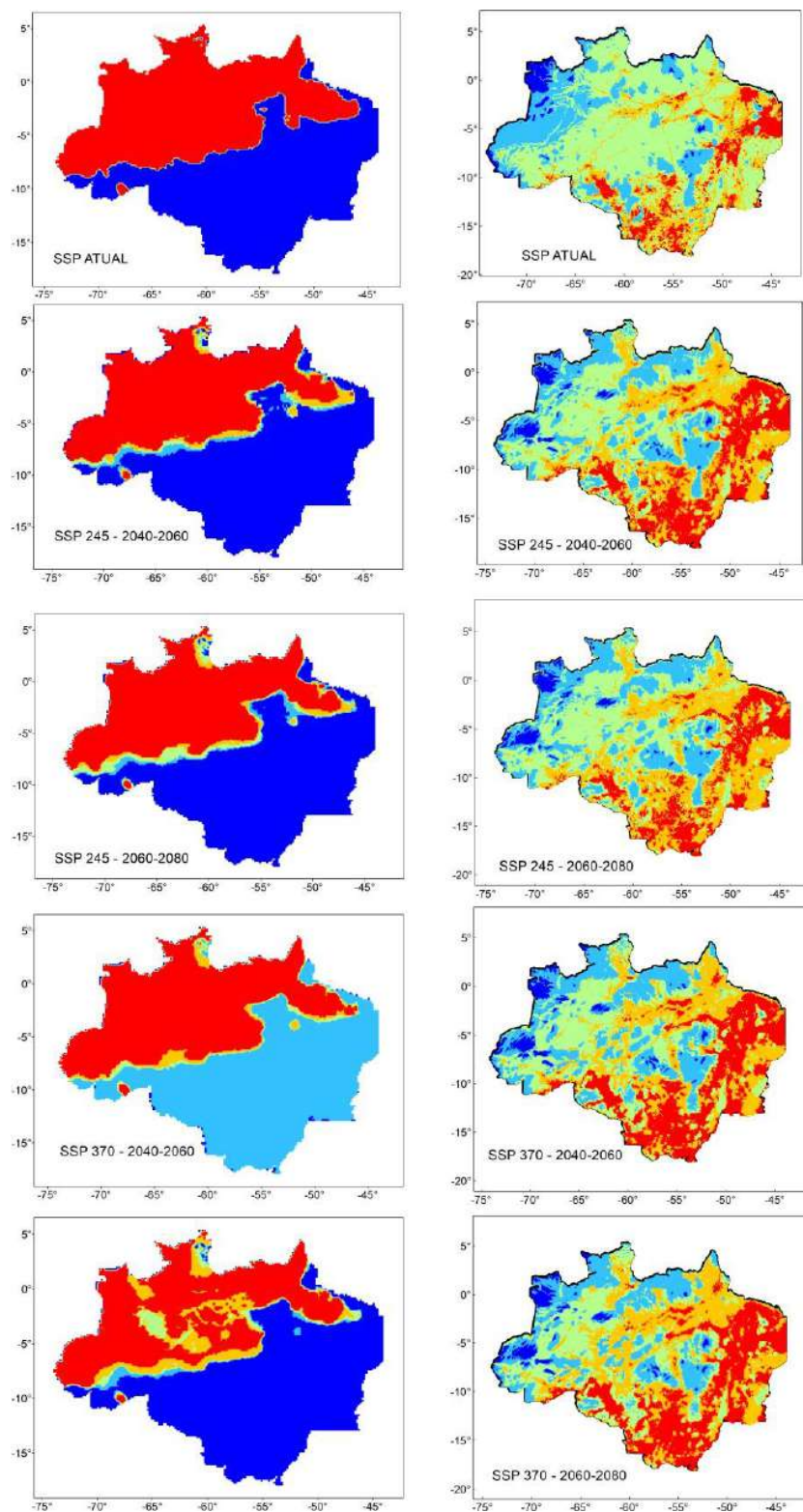


APÊNDICE A.31- Projeções RCP para *Ensemble* da atualidade a 2070.

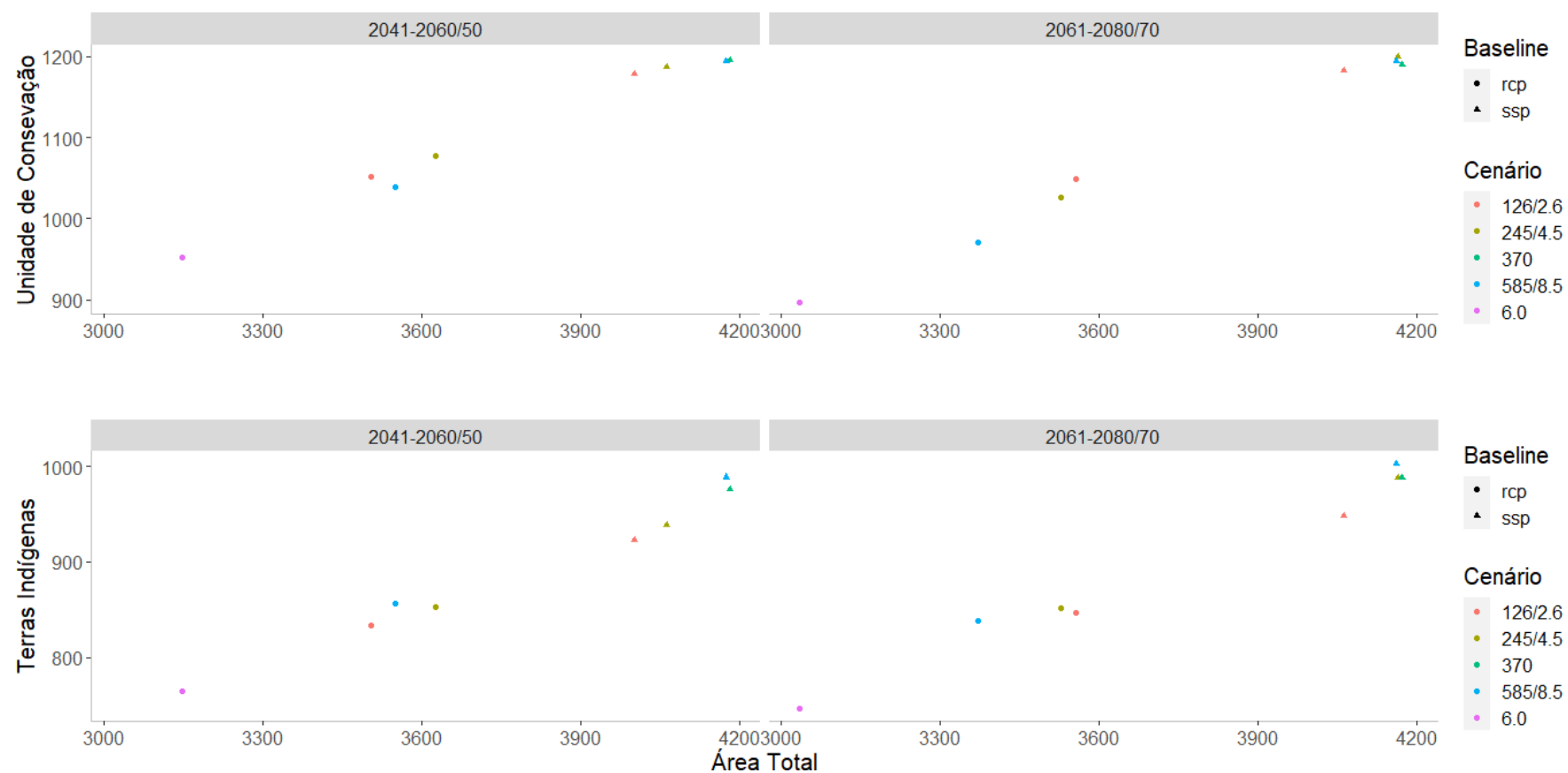


APÊNDICE A.32 - Projeções SSP para *Ensemble* da atualidade à 2080.

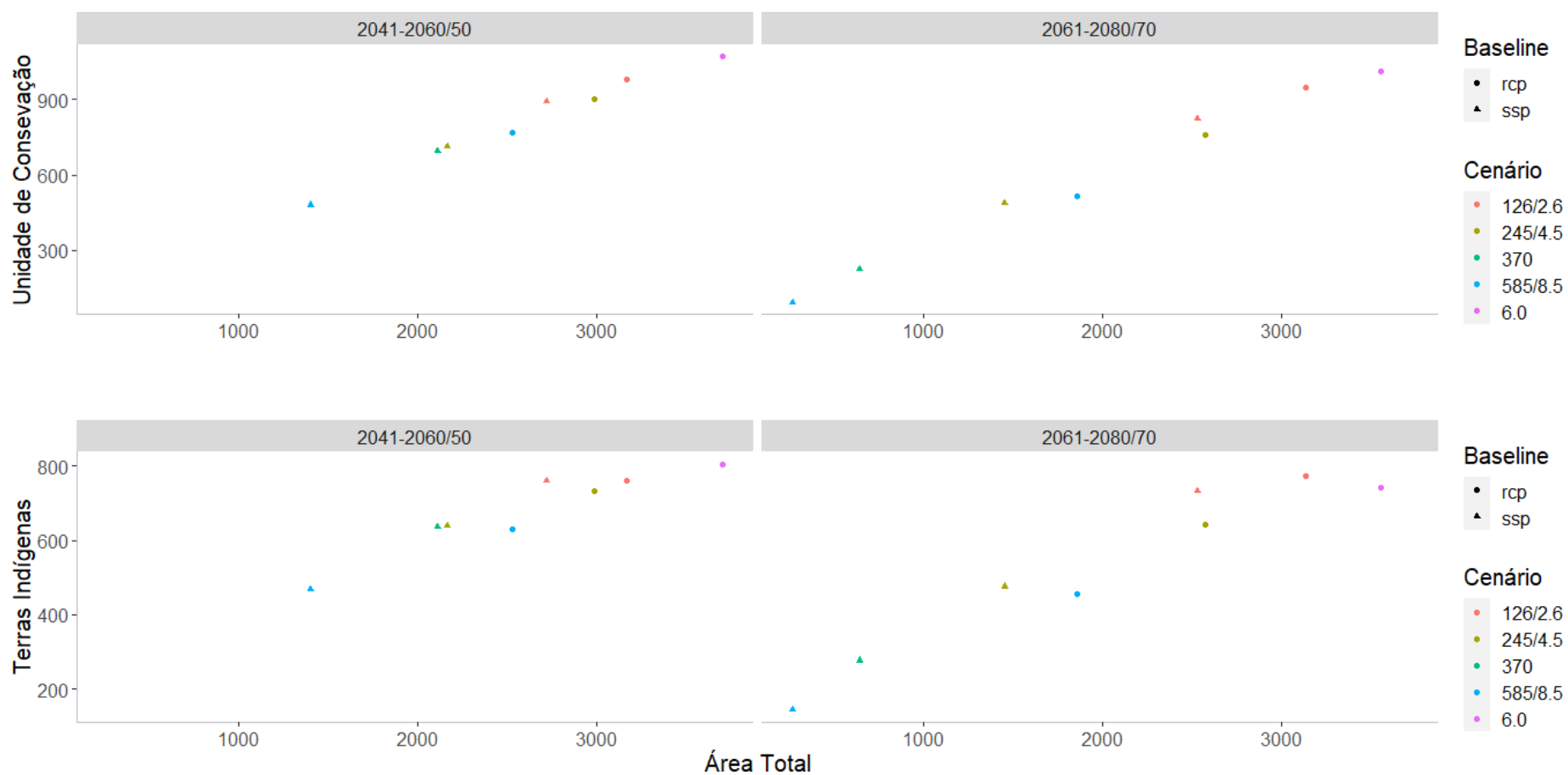
APÊNDICE A.33 - Projeções SSP de *Ensemble* (coluna 1) comparadas com projeções de influência antrópica (IPAB-INPE, coluna 2), da atualidade a 2080.



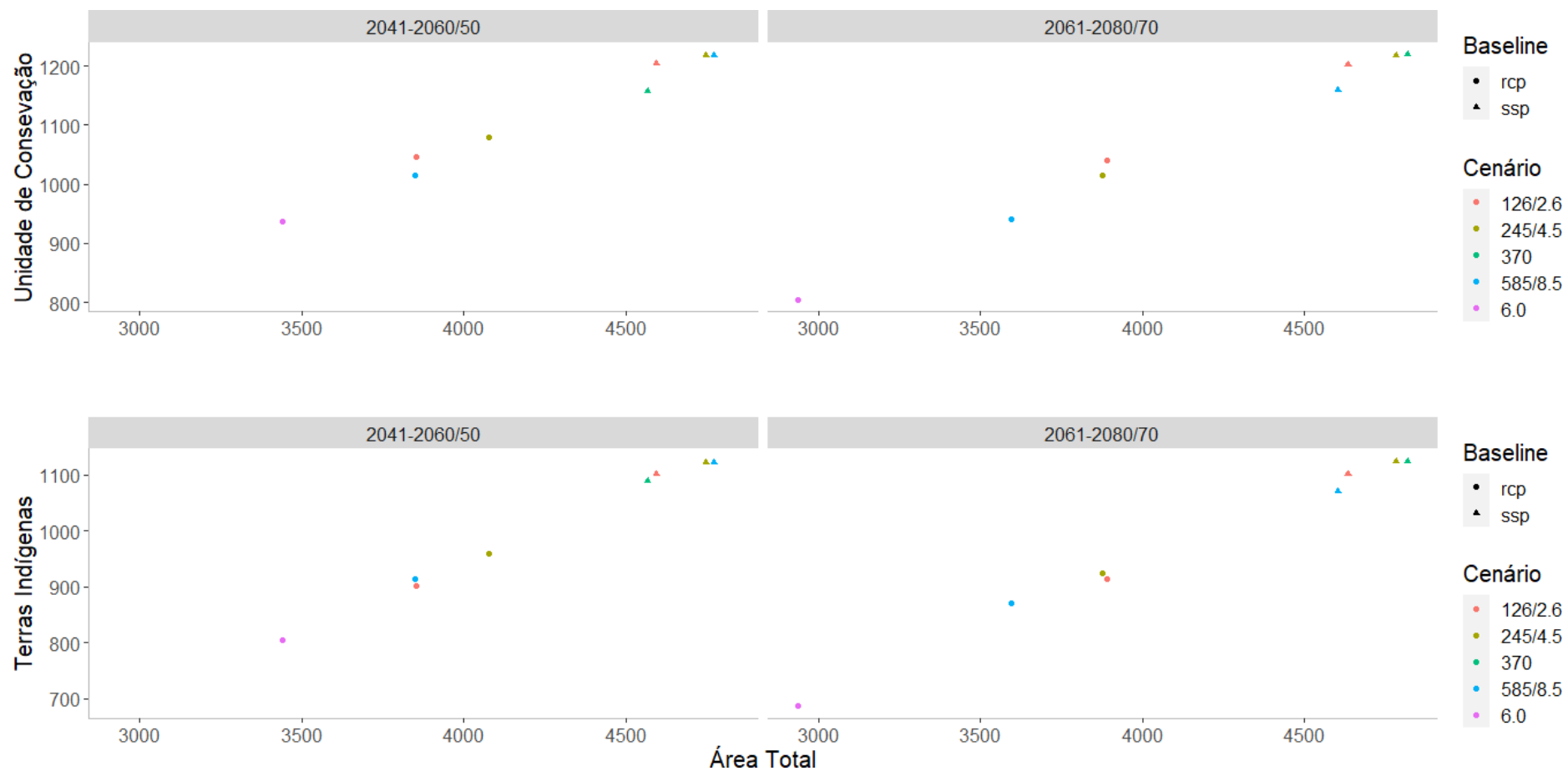
APÊNDICE B.1- Distribuição espacial (em km²) de *Chelonoidis carbonaria* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



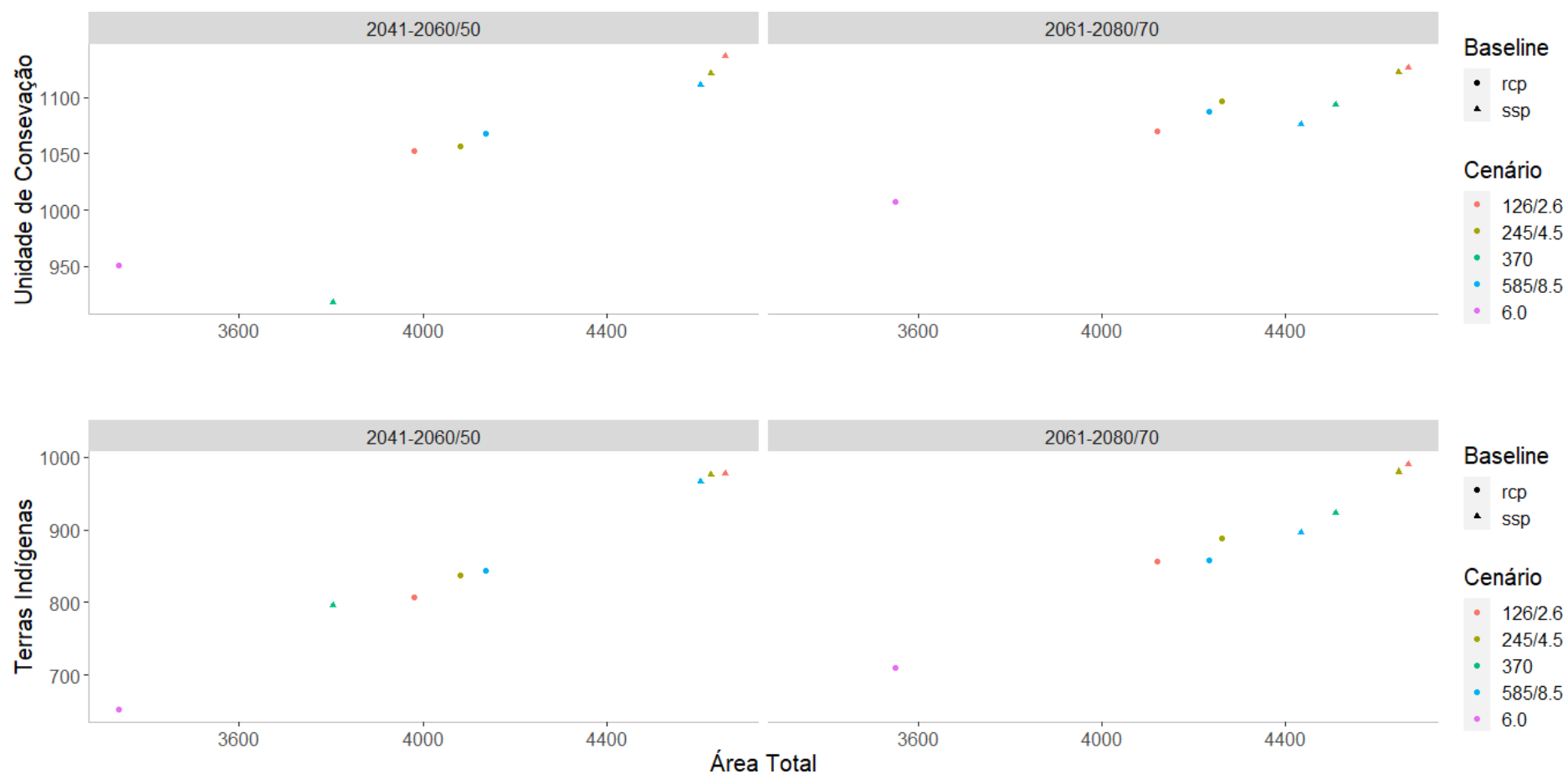
APÊNDICE B.2 - Distribuição espacial (em km²) de *Chelonoidis denticulata* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



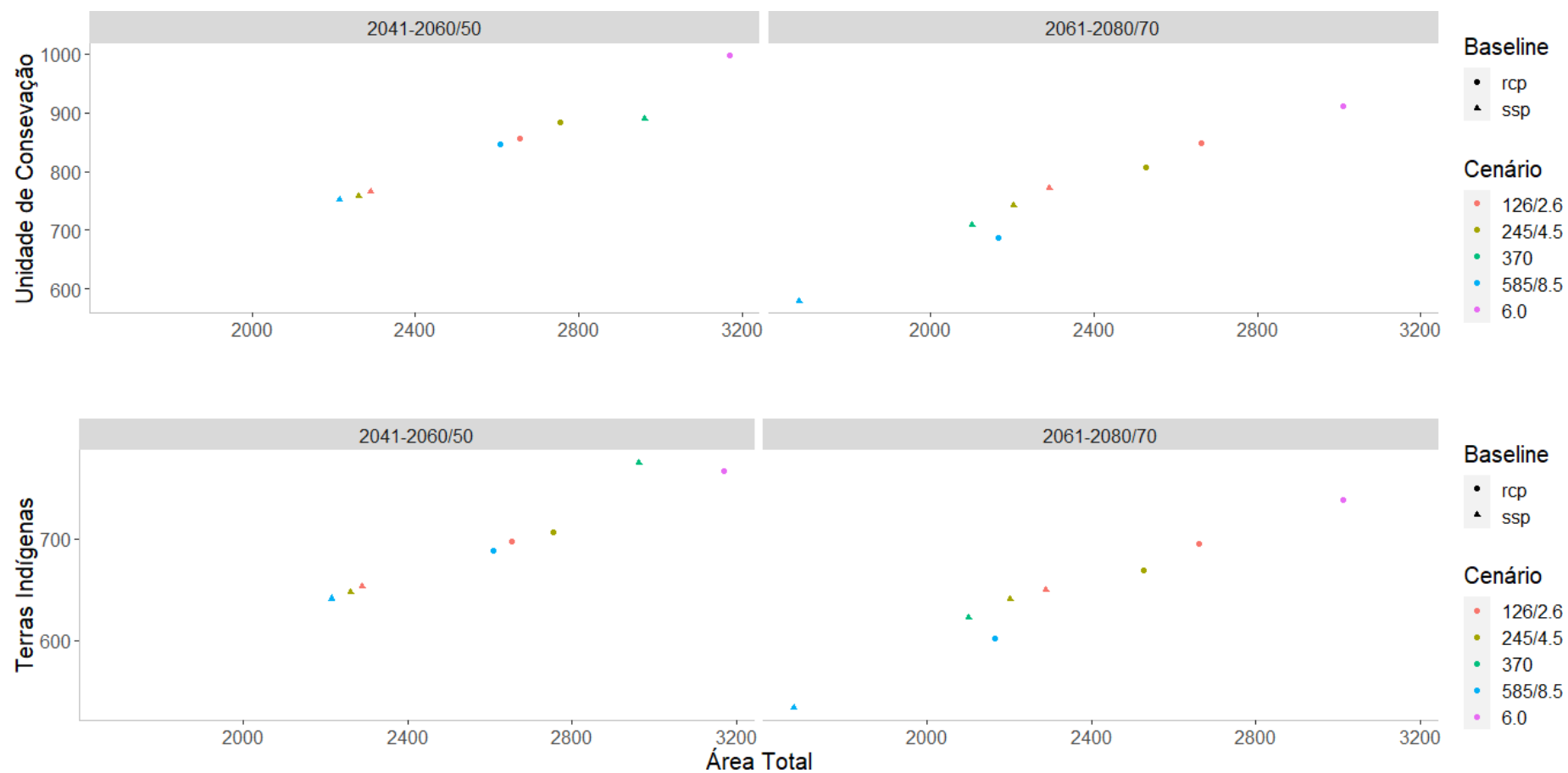
APÊNDICE B.3- Distribuição espacial (em Km²) de *Chelus fimbriata* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



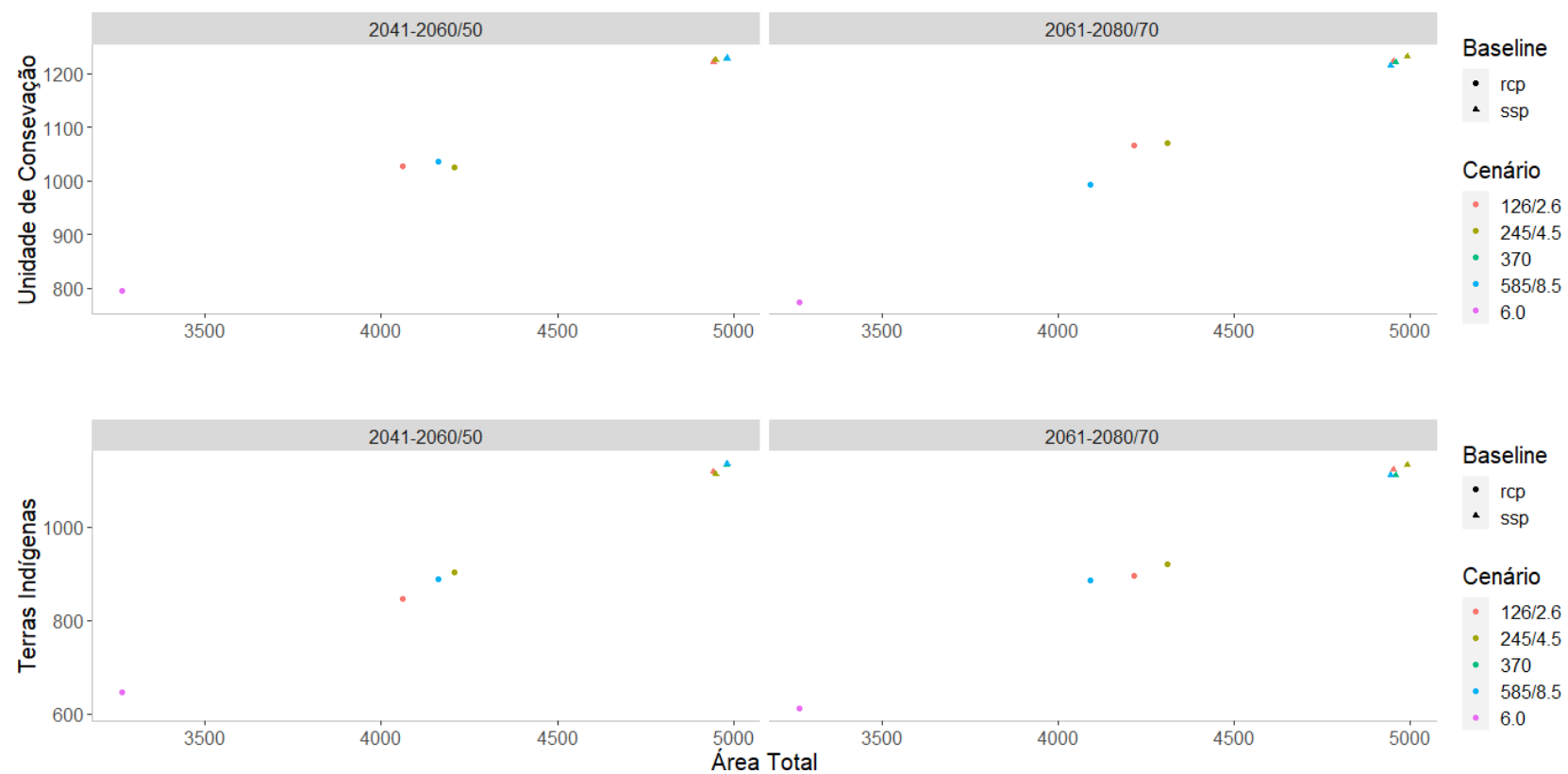
APÊNDICE B.4 - Distribuição espacial (em Km²) de *Kinosternon scorpioides* em Terras Indígenas Unidades de Conservação por Área Total.



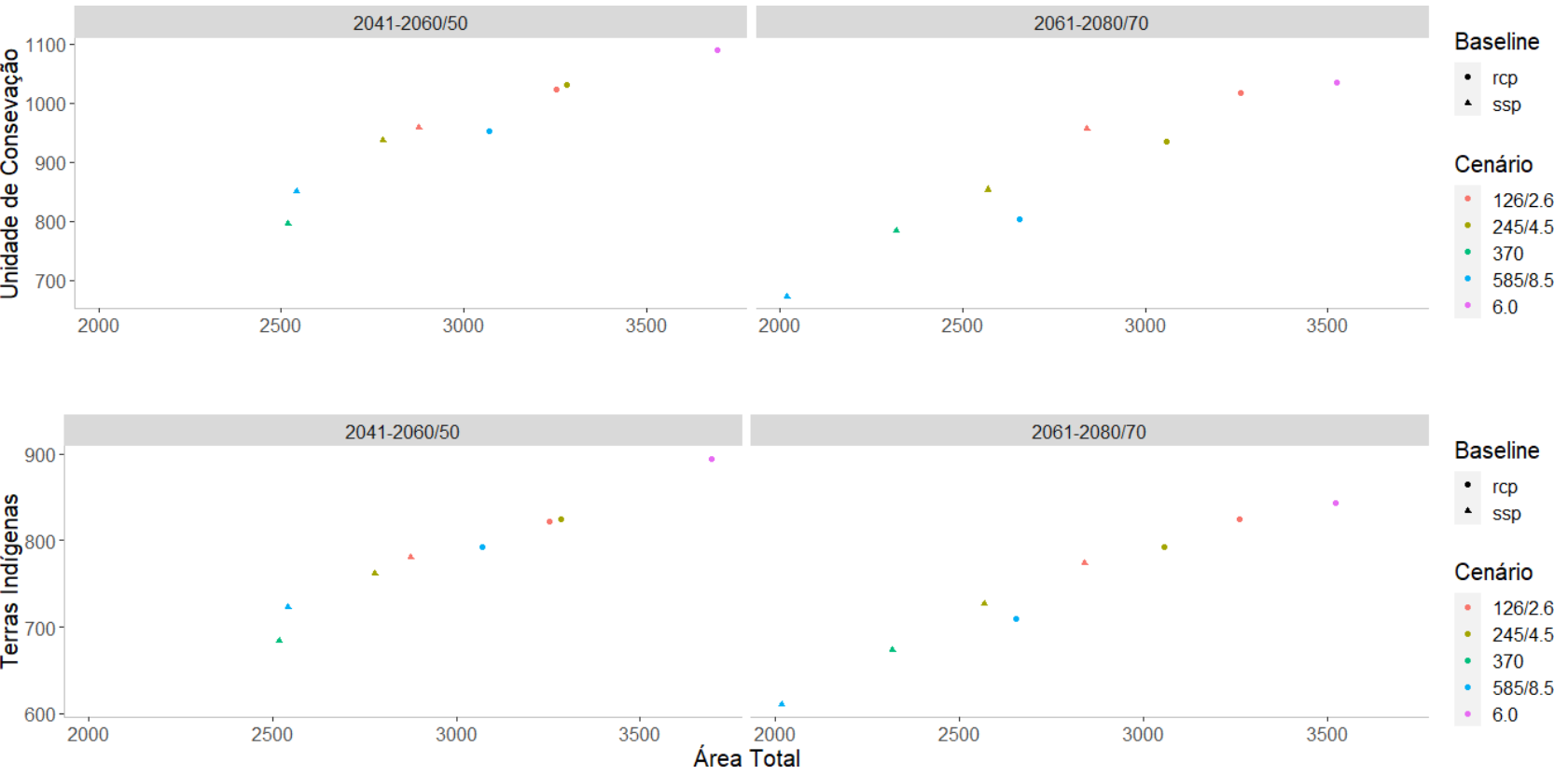
APÊNDICE B.5 - Distribuição espacial (em Km²) de *Mesoclemmys gibba* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



APÊNDICE B.6 - Distribuição espacial (em km²) de *Phrynops geoffroanus* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



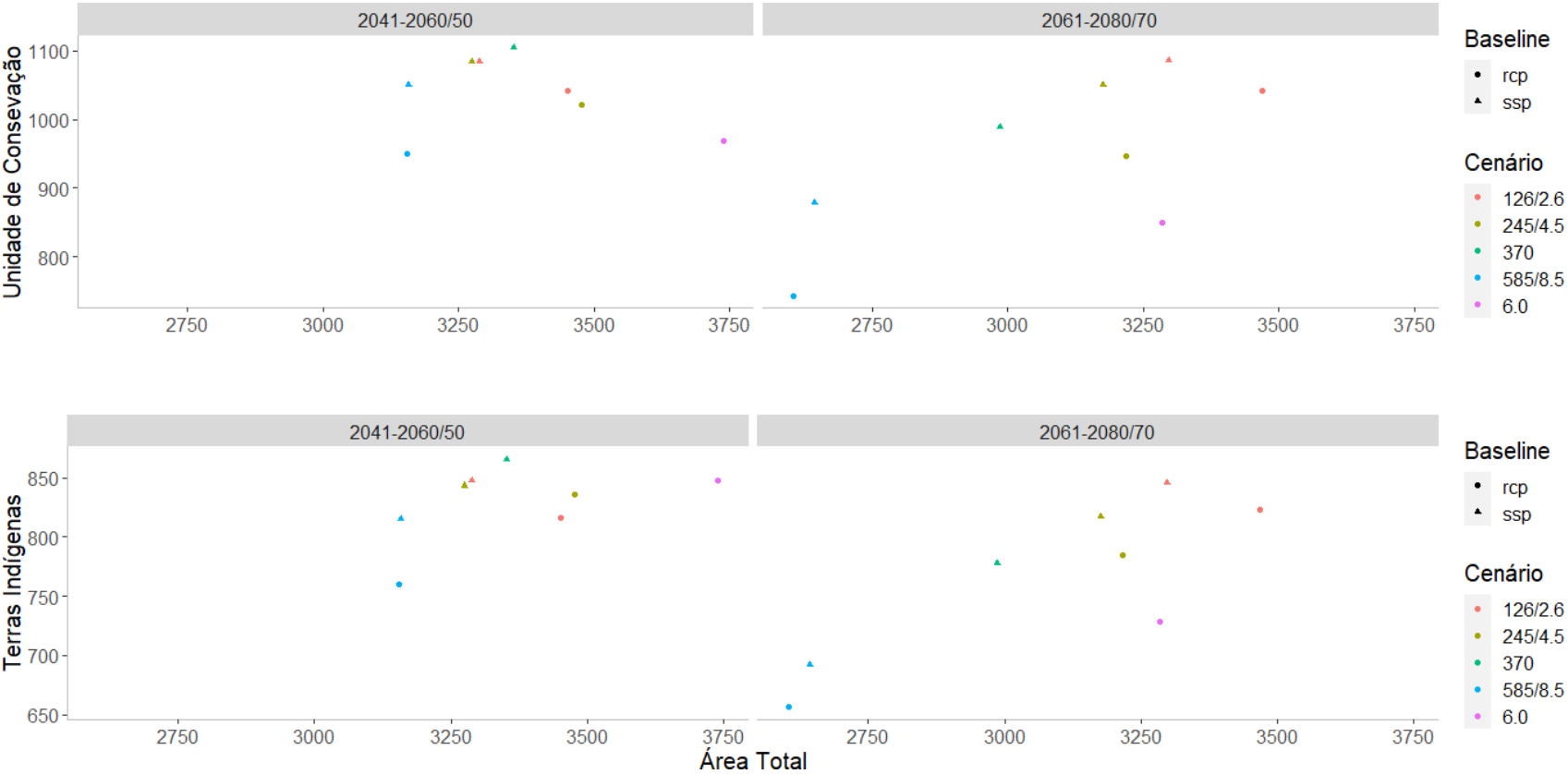
APÊNDICE B.7 - Distribuição espacial (em Km²) de *Platemys plathycephala* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



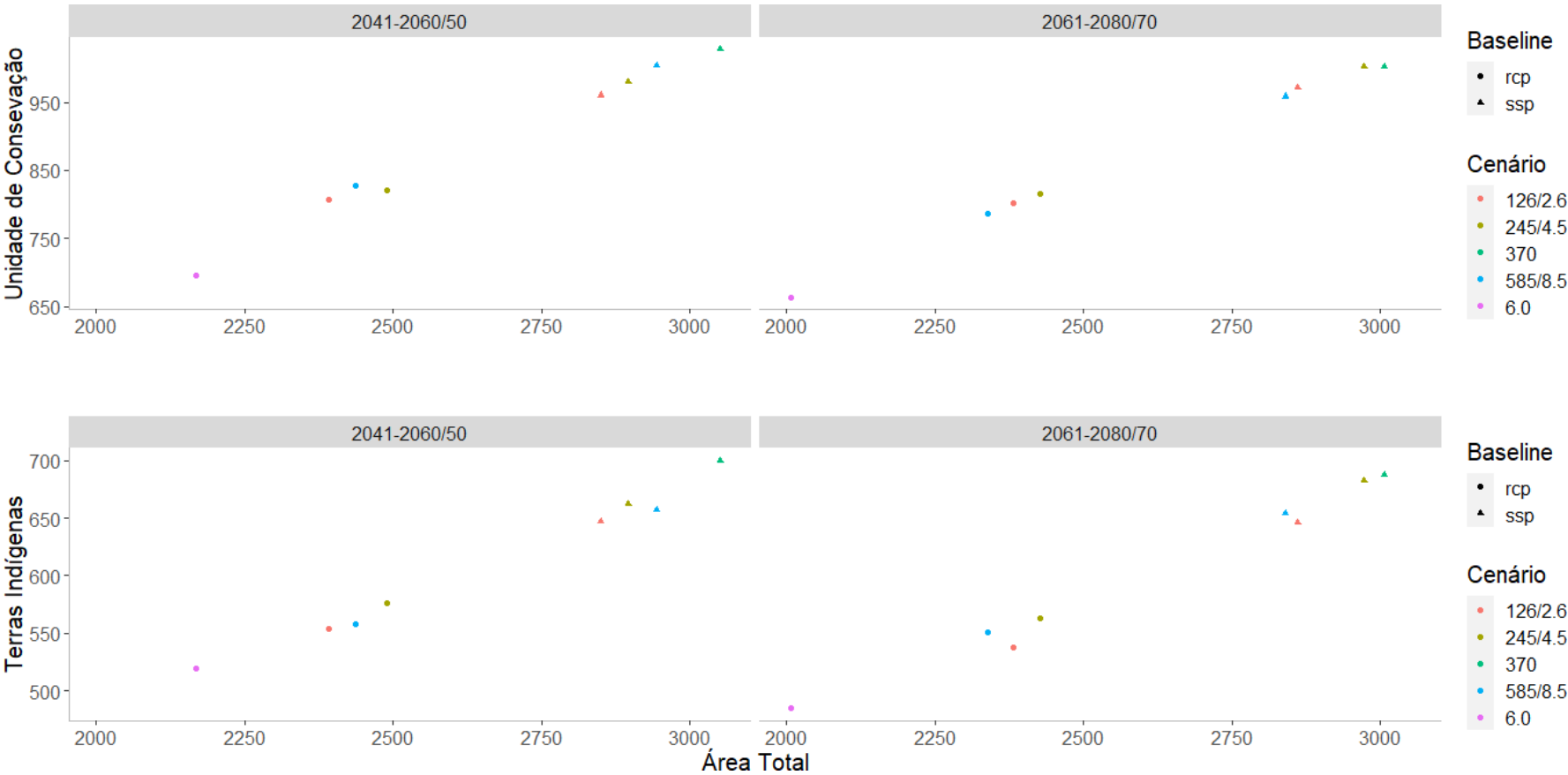
APÊNDICE B.8 - Distribuição espacial (em km²) de *Podocnemis expansa* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



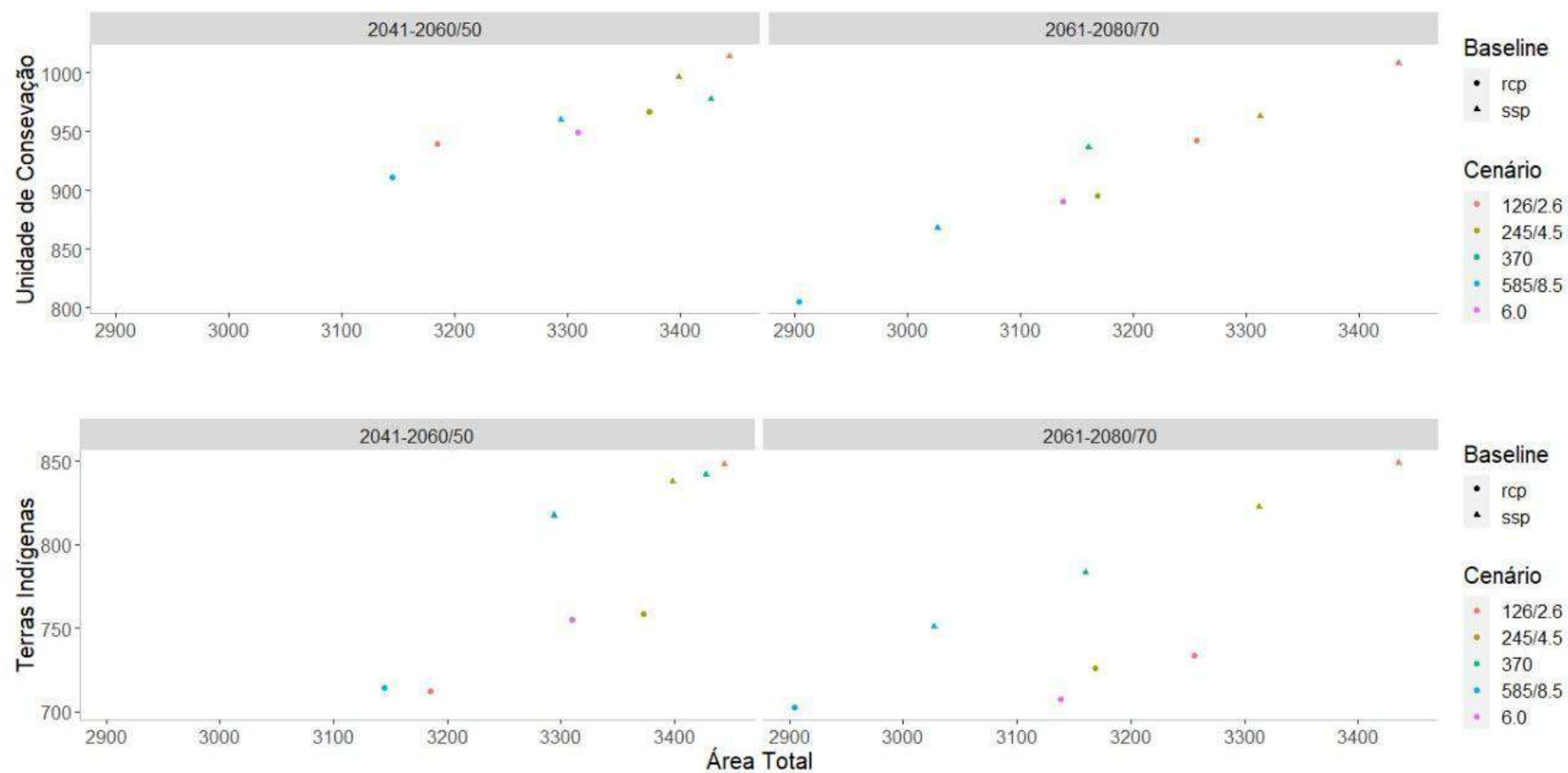
APÊNDICE B.9 - Distribuição espacial (em Km²) de *Podocnemis unifilis* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



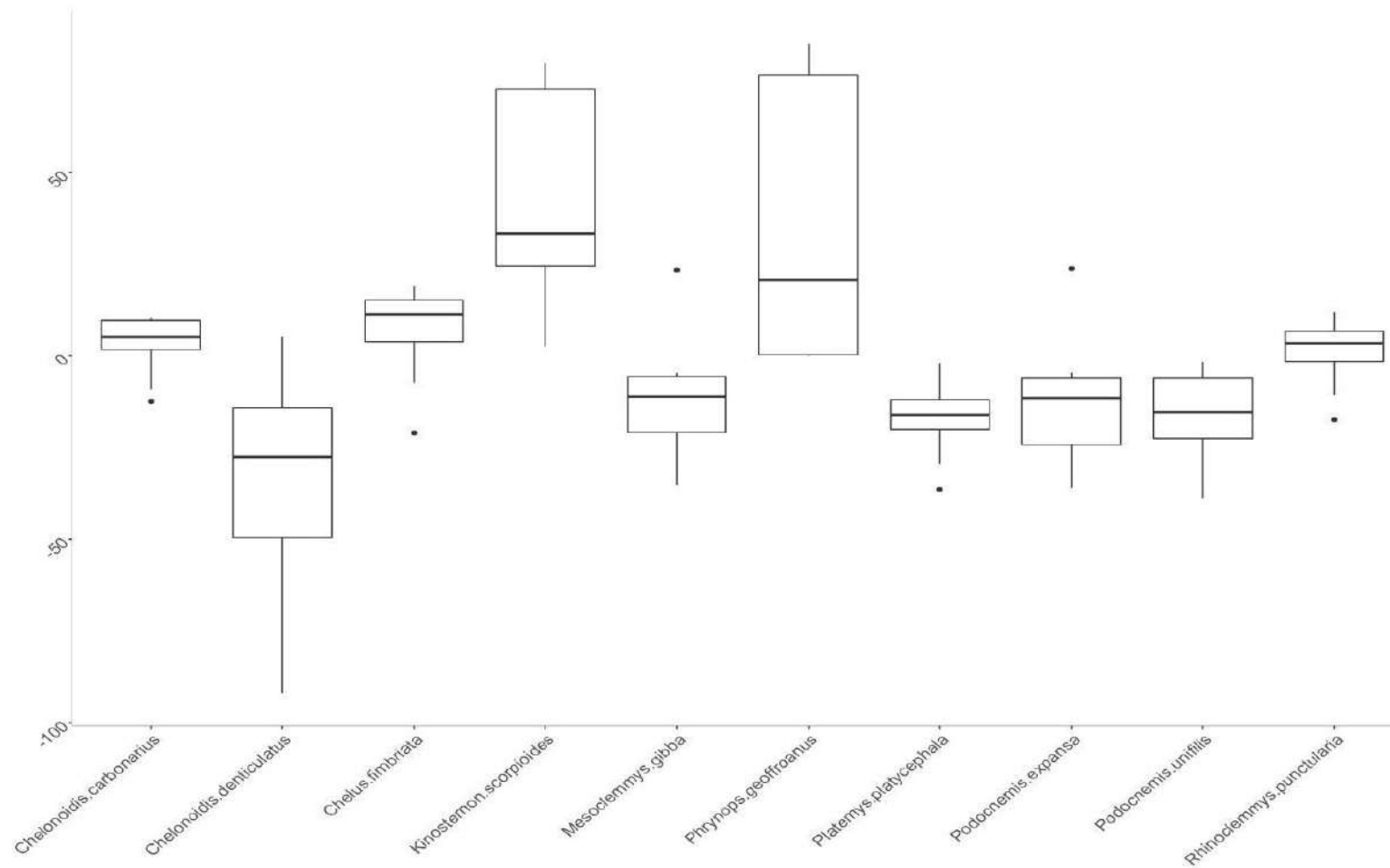
APÊNDICE B.10 - Distribuição espacial (em Km²) de *Rhinoclemmys punctularia* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



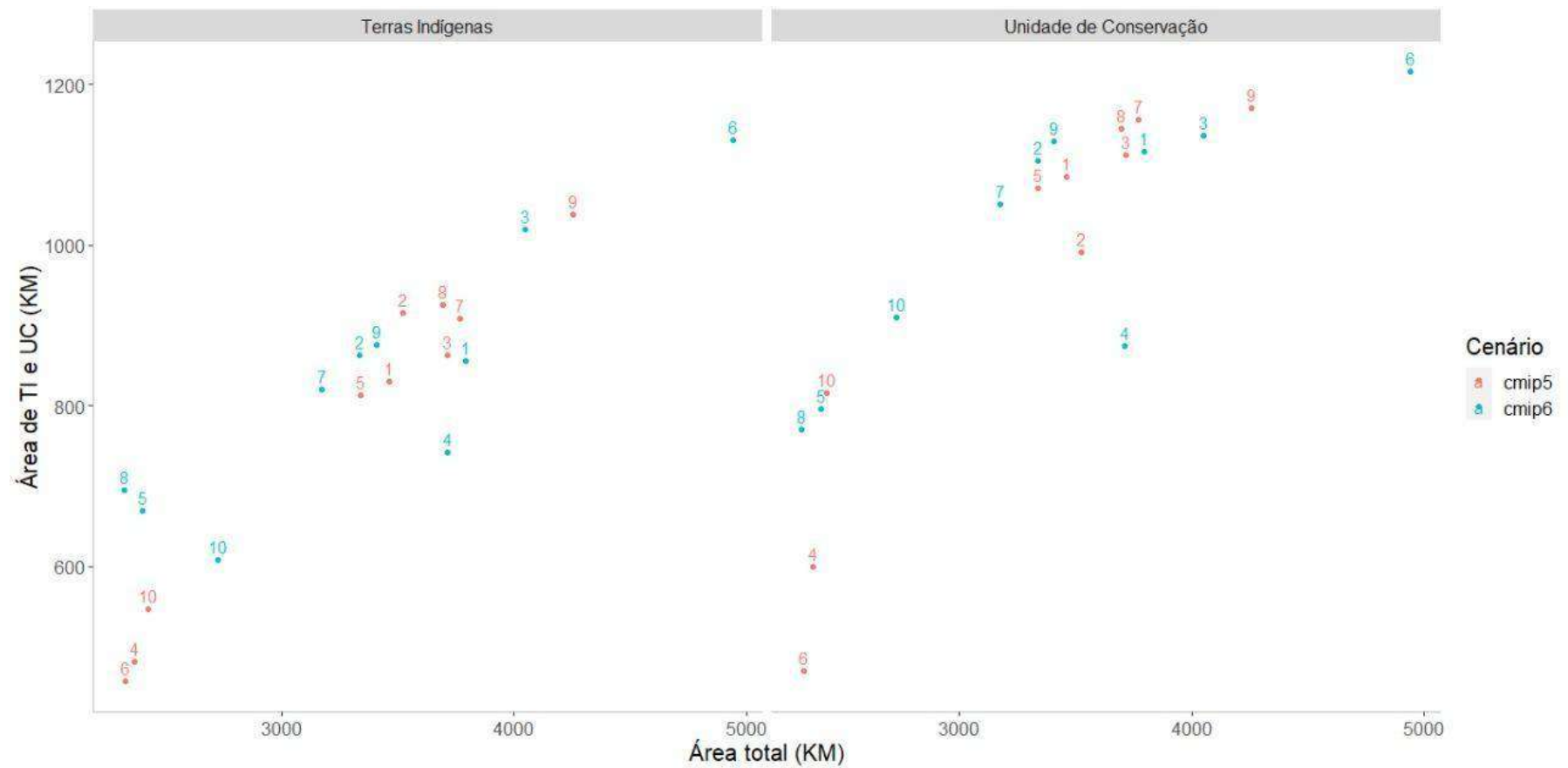
APÊNDICE B.11- Distribuição espacial (em km²) em *Ensemble* em Terras Indígenas e Unidades de Conservação por Área Total.



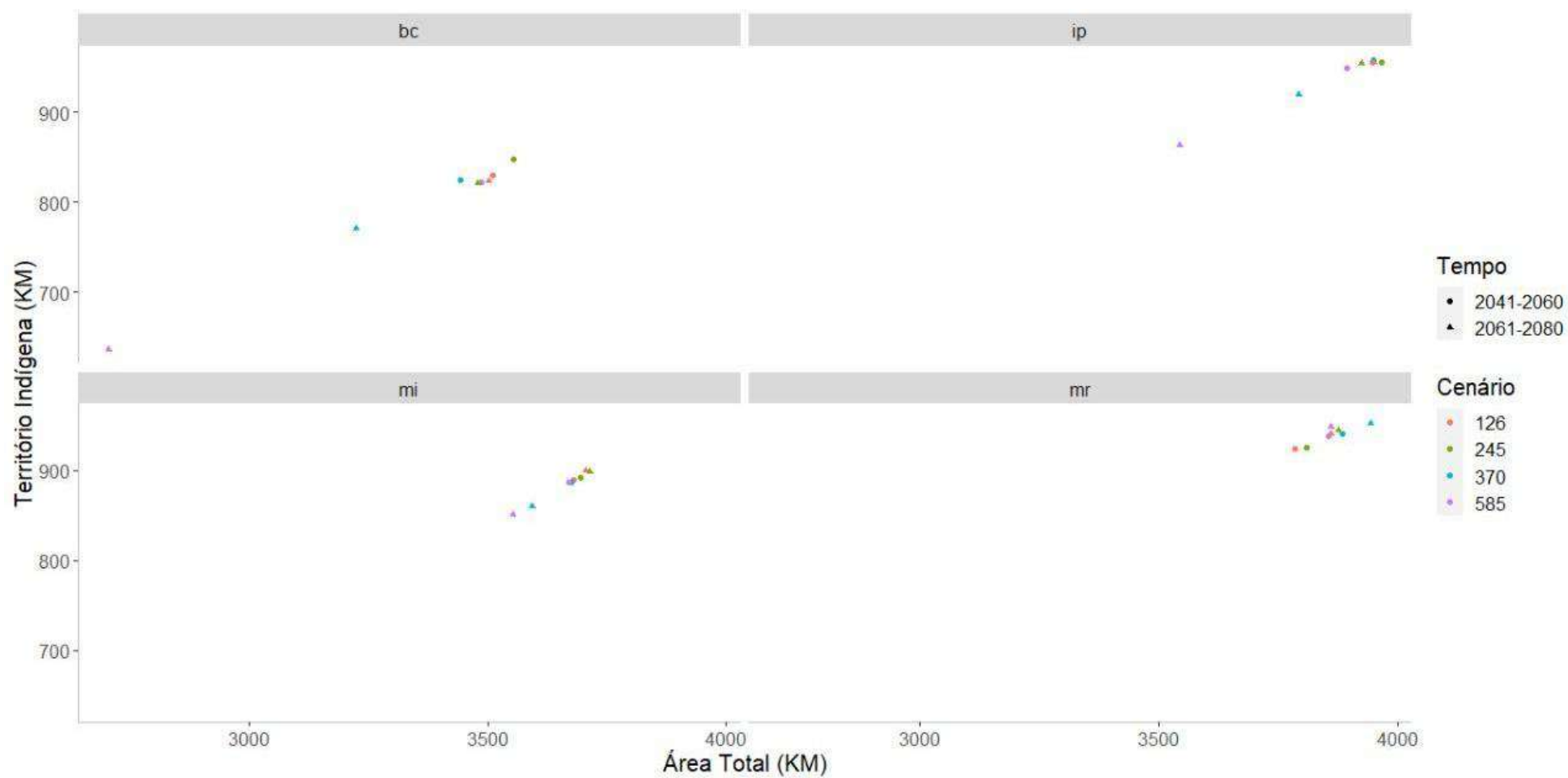
APÊNDICE B.12 - Representação em boxplot dos valores reais de perda e ganho de distribuição espacial por espécie. Valores abaixo de zero indicam perdas, enquanto valores acima de zero representam aumento nos valores de adequabilidade.



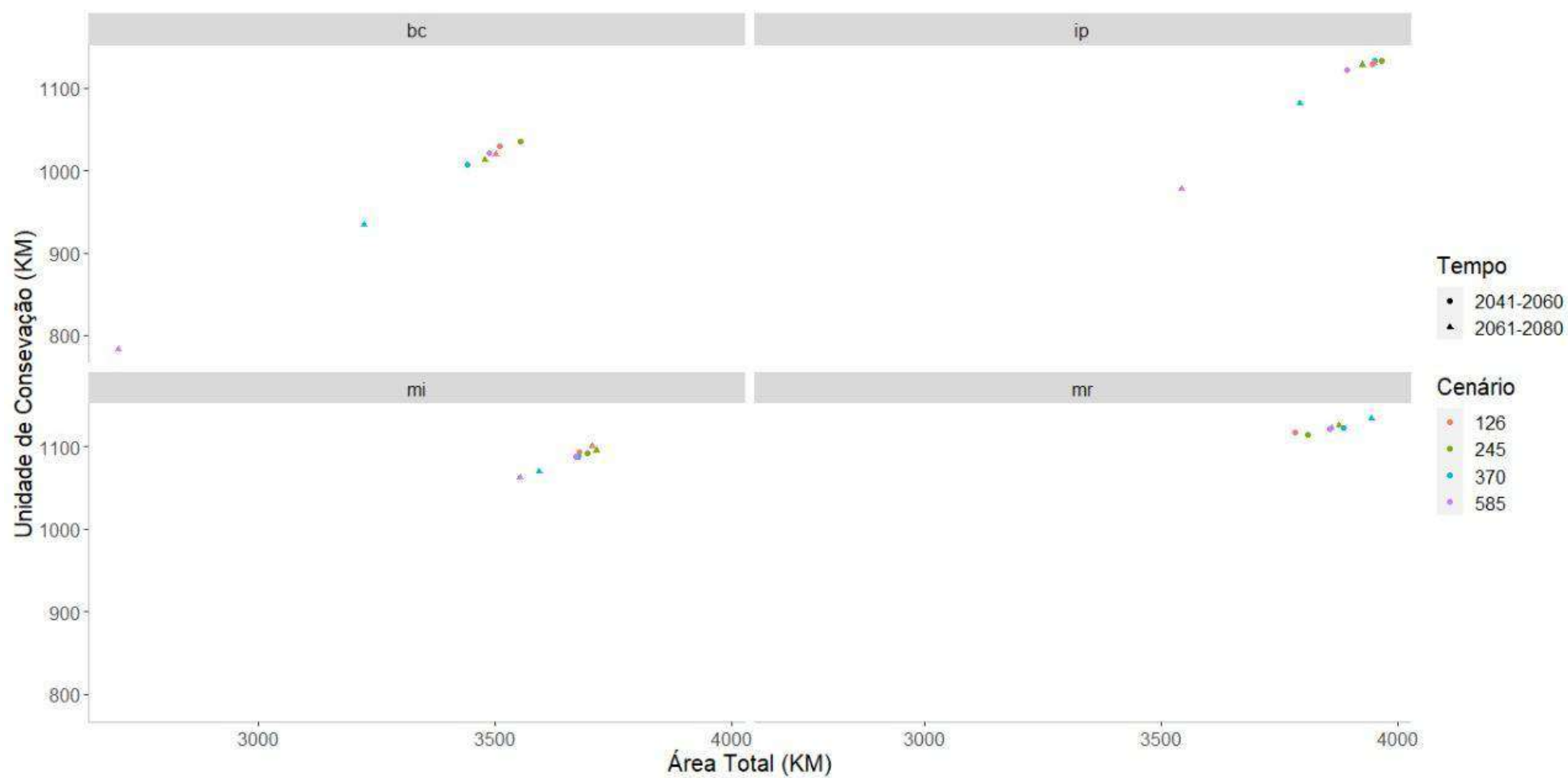
APÊNDICE B.13 - Extensão em km² de distribuição espacial de espécies quelônias em UCs (Unidades de Conservação) e TIs (Terras Indígenas), conforme CMIP5 e CMIP6. (1) *Chelonoidis carbonaria*; (2) *Chelonoidis denticulata*; (3) *Chelus fimbriata*; (4) *Kinosternon scorpioides*; (5) *Mesoclemmys gibba*; (6) *Phrynops geoffroanus*; (7) *Platemys plathycephala*; (8) *Podocnemis expansa*; (9) *Podocnemis unifilis*; (10) *Rhinoclemmys punctularia*.



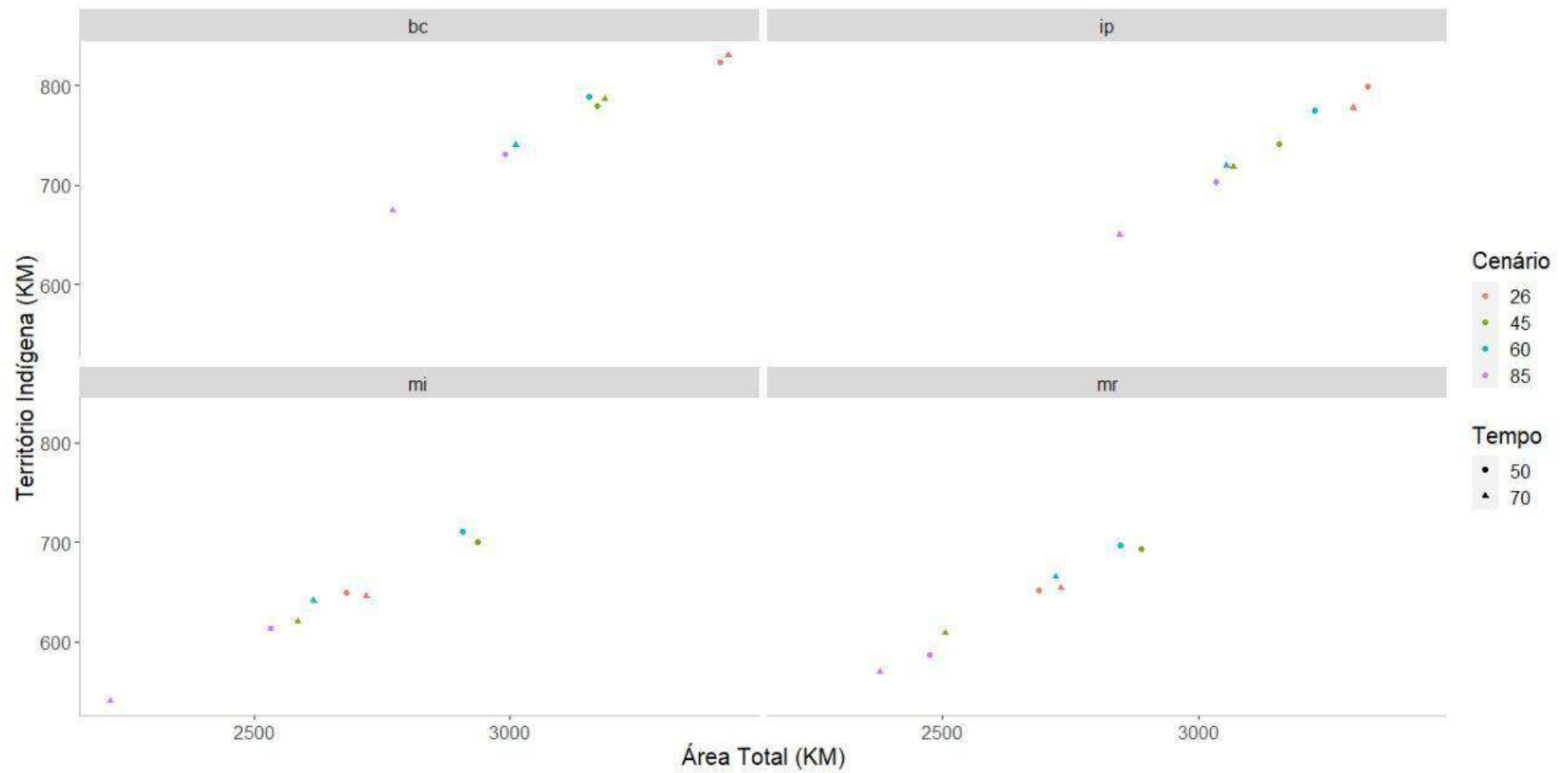
APÊNDICE B.14- Área de Território Indígena por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários SSP e intervalos temporais. bc: (BCC-CSM2-MR); ip: (IPSL-CM6A-LR); mi: (MIROC6); mr: (MRI-ESM2-0).



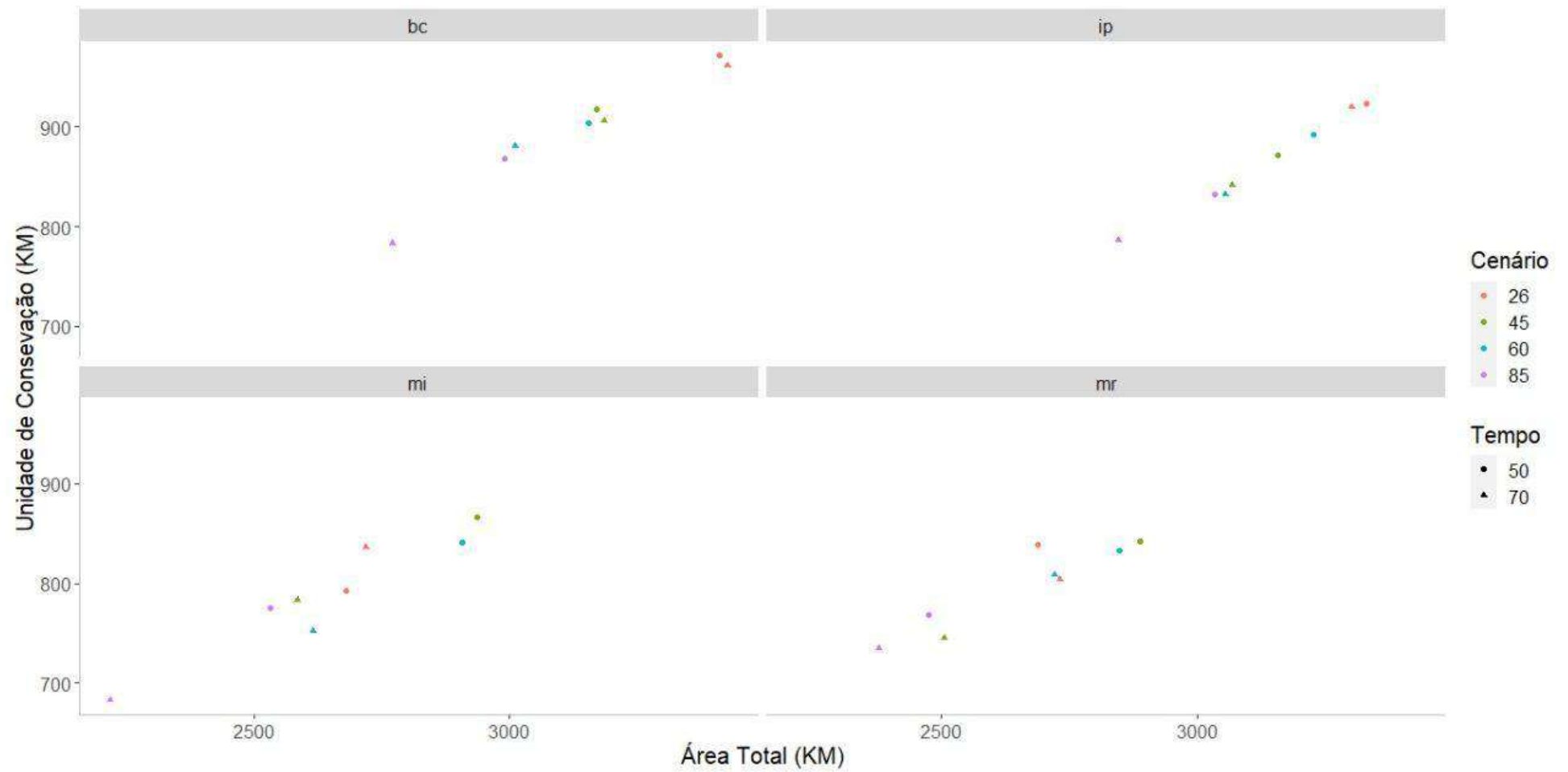
APÊNDICE B.15- Área de Unidades de Conservação por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários SSP e intervalos temporais: bc: (BCC-CSM2-MR); ip: (IPSL-CM6A-LR); mi: (MIROC6); mr: (MRI-ESM2-0).



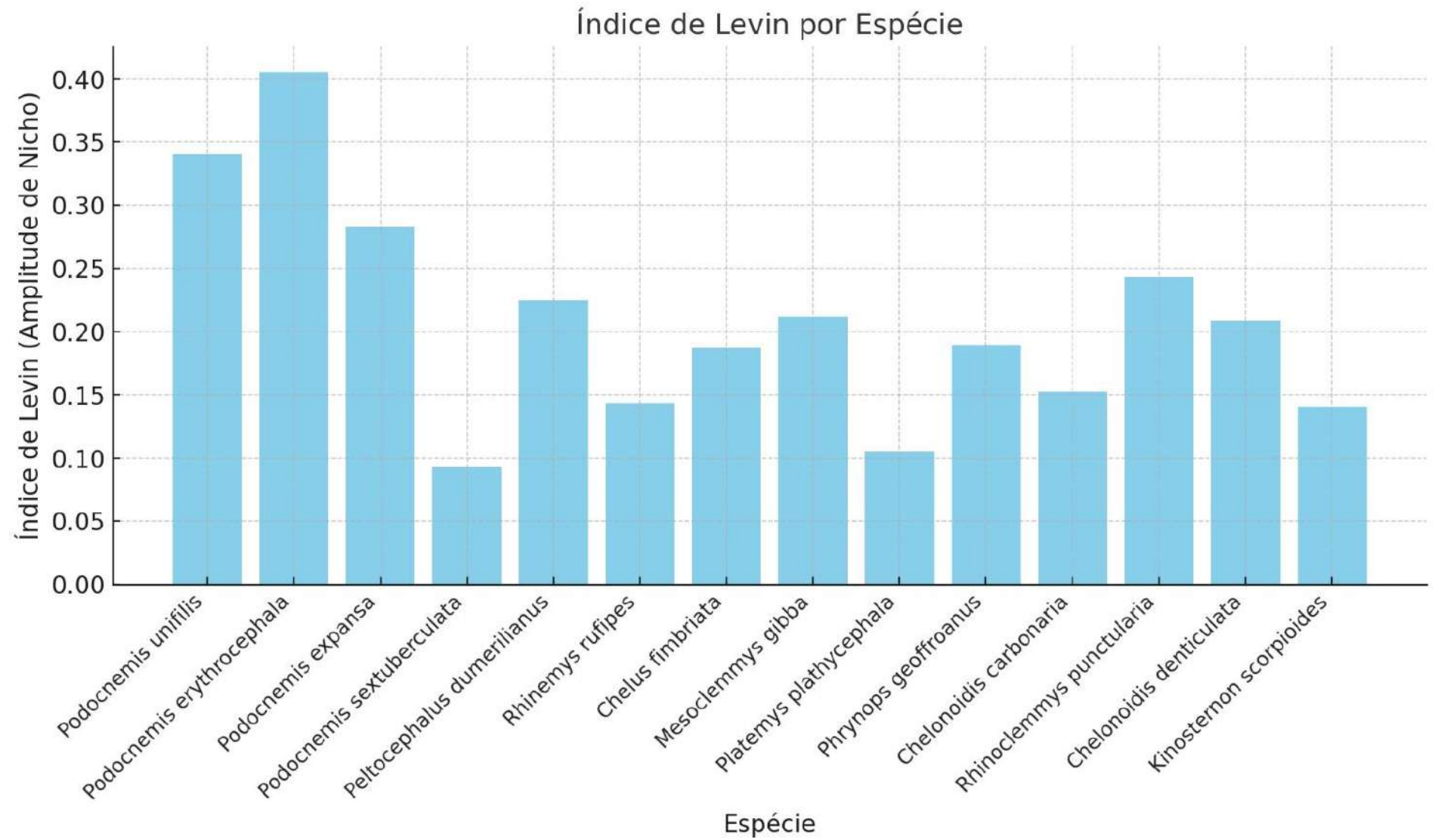
APÊNDICE B.16 - com cálculo de área de Terras Indígenas por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários RCP e intervalos temporais: bc: (BCC-CSM1-1); ip: (IPSL-CM5A-LR); mi: (MIROC5); mr: (MRI-CGCM3).



APÊNDICE B.17- com cálculo de área de Unidades de Conservação por Área Total, ocupada pela fauna quelônia da Amazônia Legal, em diferentes cenários RCP e intervalos temporais. (bc: BCC-CSM1-1; ip: IPSL-CM5A-LR; mi: MIROC5; mr: MRI-CGCM3).



APÊNDICE B.18- Índice de Levin por espécie



APÊNDICE C.1 – Valores de importância das variáveis e média TSS das projeções por espécie em CMIP5.

AMOSTRAS (N)/ Nº DE OBSERVAÇÕES	ESPÉCIES	VARIÁVEIS AMBIENTAIS				TSS	DESVIO PADRÃO
		BIO2	BIO16	BIO8	BIO17		
255	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	0.221052	0.289781	0.477438	0.080219	0.842109375	88942616453514
223	<i>Chelonoidis denticulatus</i>	0.085115	0.419115	0.225354	0.15451	0,8463281249	8868983332201
52	<i>Chelus fimbriata</i>	0.128552	0.589104	0.280969	0.116521	0,8016302083	5113470890074
298	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.109615	0.305344	0.522667	0.097771	0,8162239583	11461715301564
49	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.171146	0.368885	0.290813	0.291042	0,846109375	31079303423518
86	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.152448	0.372	0.542885	0.124948	0,772375	59400759390415
93	<i>Platemys platycephala</i>	0.106385	0.49274	0.220208	0.270021	0,8455416	136963855565033
28	<i>Podocnemis expansa</i>	0.179292	0.585354	0.235323	0.207646	0,8581614583	71192246649915
76	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.109333	0.740635	0.189802	0.1675	0,797890625	51233163194681
48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.296	0.297563	0.291583	0.241635	0,85396875	21273776478085

APÊNDICE C.2 - Valores de importância das variáveis e média TSS das projeções por espécie em CMIP6.

AMOSTRAS (N)/ Nº de OBSERVAÇÕES	ESPÉCIES	VARIÁVEIS AMBIENTAIS				VALORES TSS	DESVIO PADRÃO
		BIO2	BIO16	BIO8	BIO17		
255	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	0.16739583	0.2881875	0.489802083	0.072	0,8340781249	0,09674844
223	<i>Chelonoidis denticulatus</i>	0.128552083	0.3335833	0.22478125	0.127927083	0,8519114583	0,091201448
52	<i>Chelus fimbriata</i>	0.103688	0.602073	0.293615	0.11375	0,828510416	0,1473685762
298	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.089823	0.490979	0.427729	0.097135	0,8048697916	0,11725333348
49	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.160885	0.437135	0.231438	0.292323	0,822135416	0,1489840372
86	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.144604	0.523698	0.156094	0.395729	0,763260416	0,1548009865
93	<i>Platemys platycephala</i>	0.154896	0.364385	0.279792	0.219875	0,8541927083	0,132261637
28	<i>Podocnemis expansa</i>	0.137385	0.478198	0.298698	0.318094	0,8214947916	0,179572791
76	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.136552	0.633156	0.164031	0.186146	0,790552083	0,1457435436
48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.278875	0.397771	0.272854	0.226448	0,8405885416	0,1277520195

APÊNDICE C.3 - Relação completa de valores áreas de ocupação fauna quelônia na Amazônia Legal, considerando cenário, tempo, *baseline* assim como aumento/redução de distribuição espacial.

Espécie	Cenário	Tempo	Terras Indígenas	Área Total	Unidades de Conservação	Baseline	Ganho/Perda de Distribuição Espacial	Ganho/Perda Distribuição Real	Porcentagem
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	26	2050	833,718286	3505,59478	1051,452729	rcp	101,2699798	1,269979772	1,27%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	26	2070	846,698357	3556,17805	1048,607575	rcp	102,7312346	2,731234641	2,73%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	45	2050	852,137032	3626,18621	1077,115176	rcp	104,7536375	4,753637541	4,75%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	45	2070	851,471939	3526,73249	1025,790388	rcp	101,8806083	1,880608265	1,88%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	60	2050	764,302408	3148,61838	952,781904	rcp	90,95760927	-9,042390733	-9,04%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	60	2070	746,060697	3034,0527	897,0050372	rcp	87,648024	-12,351976	-12,35%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	85	2050	856,191965	3551,41086	1038,355994	rcp	102,5935195	2,593519532	2,59%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	85	2070	838,114522	3370,24843	971,3402105	rcp	97,36008071	-2,639919289	-2,64%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	126	2040-2060	922,905997	4002,48715	1178,77383	ssp	105,5126999	5,512699857	5,51%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	126	2060-2080	947,709513	4061,96948	1182,940375	ssp	107,0807601	7,080760108	7,08%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	245	2040-2060	938,14747	4063,30213	1186,469479	ssp	107,1158911	7,115891099	7,12%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	245	2060-2080	988,129978	4164,67307	1199,00397	ssp	109,7882099	9,788209895	9,79%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	370	2040-2060	975,986818	4183,29598	1194,964646	ssp	110,279143	10,27914298	10,28%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	370	2060-2080	988,131999	4172,00674	1189,424638	ssp	109,9815385	9,98153851	9,98%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	585	2040-2060	988,498948	4175,46472	1193,791357	ssp	110,0726969	10,07269691	10,07%
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	585	2060-2080	1002,52621	4160,7566	1193,533721	ssp	109,6849646	9,684964613	9,68%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	26	2050	762,231198	3170,47615	978,4978258	rcp	89,98608832	-10,01391168	-10,01%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	26	2070	773,032232	3134,10872	949,8479733	rcp	88,9538892	-11,0461108	-11,05%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	45	2050	733,371917	2989,45973	904,0278798	rcp	84,84838707	-15,15161293	-15,15%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	45	2070	641,278059	2576,56604	760,8831993	rcp	73,12942535	-26,87057465	-26,87%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	60	2050	804,839577	3705,74938	1070,850337	rcp	105,1784891	5,178489121	5,18%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	60	2070	741,757782	3554,59988	1013,465022	rcp	100,888486	0,888486024	0,89%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	85	2050	629,653035	2527,47252	770,6074241	rcp	71,73602785	-28,26397215	-28,26%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	85	2070	454,908801	1859,59203	515,7460182	rcp	52,77989961	-47,22010039	-47,22%

<i>Chelonoidis denticulata</i>	126	2040-2060	761,242059	2720,44791	891,2984917	ssp	81,52537906	-18,47462094	-18,47%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	126	2060-2080	733,831301	2530,77891	823,4180703	ssp	75,84144849	-24,15855151	-24,16%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	245	2040-2060	638,792593	2167,44624	712,311874	ssp	64,95322912	-35,04677088	-35,05%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	245	2060-2080	475,872603	1453,68995	485,3264882	ssp	43,56364391	-56,43635609	-56,44%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	370	2040-2060	637,322331	2111,20846	694,0931703	ssp	63,26791591	-36,73208409	-36,73%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	370	2060-2080	276,421897	643,268095	223,9161966	ssp	19,27722089	-80,72277911	-80,72%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	585	2040-2060	468,979809	1401,3542	480,4073096	ssp	41,99526558	-58,00473442	-58,00%
<i>Chelonoidis denticulata</i>	585	2060-2080	142,834594	268,00455	91,62747233	ssp	8,031461444	-91,96853856	-91,97%
<i>Chelus fimbriata</i>	26	2050	900,758059	3854,6418	1045,382447	rcp	103,777311	3,777311011	3,78%
<i>Chelus fimbriata</i>	26	2070	913,332469	3889,94376	1040,851617	rcp	104,7277344	4,727734358	4,73%
<i>Chelus fimbriata</i>	45	2050	958,661919	4077,27583	1079,856337	rcp	109,771217	9,77121704	9,77%
<i>Chelus fimbriata</i>	45	2070	925,224546	3875,43862	1015,33995	rcp	104,3372172	4,337217169	4,34%
<i>Chelus fimbriata</i>	60	2050	805,39007	3440,43433	935,9142859	rcp	92,62573311	-7,374266886	-7,37%
<i>Chelus fimbriata</i>	60	2070	686,603662	2936,54107	804,4487652	rcp	79,05957317	-20,94042683	-20,94%
<i>Chelus fimbriata</i>	85	2050	913,491333	3850,60021	1014,617188	rcp	103,6685004	3,668500393	3,67%
<i>Chelus fimbriata</i>	85	2070	870,646335	3593,50768	940,9410872	rcp	96,74687904	-3,253120959	-3,25%
<i>Chelus fimbriata</i>	126	2040-2060	1100,55734	4595,19608	1204,297361	ssp	113,4986476	13,49864756	13,50%
<i>Chelus fimbriata</i>	126	2060-2080	1100,40436	4634,41731	1201,787661	ssp	114,4673891	14,46738914	14,47%
<i>Chelus fimbriata</i>	245	2040-2060	1122,5288	4747,95541	1217,021491	ssp	117,2717136	17,27171357	17,27%
<i>Chelus fimbriata</i>	245	2060-2080	1124,07728	4783,73607	1217,951811	ssp	118,1554748	18,15547478	18,16%
<i>Chelus fimbriata</i>	370	2040-2060	1088,99322	4568,04894	1156,315318	ssp	112,8281292	12,82812918	12,83%
<i>Chelus fimbriata</i>	370	2060-2080	1124,1863	4817,92671	1218,705269	ssp	118,9999636	18,99996358	19,00%
<i>Chelus fimbriata</i>	585	2040-2060	1121,77471	4772,01724	1217,861649	ssp	117,8660266	17,86602659	17,87%
<i>Chelus fimbriata</i>	585	2060-2080	1070,90455	4602,42714	1159,688081	ssp	113,6772507	13,6772507	13,68%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	26	2050	806,295067	3980,37533	1052,206801	rcp	168,033384	68,03338399	68,03%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	26	2070	856,277005	4120,98272	1069,47964	rcp	173,96919	73,96918996	73,97%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	45	2050	837,453112	4081,51086	1056,869807	rcp	172,3028673	72,30286725	72,30%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	45	2070	887,801162	4260,34542	1096,55399	rcp	179,852451	79,85245103	79,85%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	60	2050	651,851329	3339,3938	950,3746352	rcp	140,9740525	40,97405255	40,97%

<i>Kinosternon scorpioides</i>	60	2070	709,829974	3548,8726	1007,62164	rcp	149,817297	49,81729703	49,82%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	85	2050	843,610432	4137,32838	1068,141507	rcp	174,6592297	74,65922967	74,66%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	85	2070	857,502406	4232,19229	1087,262677	rcp	178,6639533	78,66395325	78,66%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	126	2040-2060	977,247606	4658,6417	1136,304282	ssp	125,4815564	25,48155637	25,48%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	126	2060-2080	990,273362	4666,26303	1126,053643	ssp	125,6868386	25,68683861	25,69%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	245	2040-2060	976,003166	4626,36491	1121,746536	ssp	124,612174	24,61217395	24,61%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	245	2060-2080	979,830137	4644,89018	1122,326665	ssp	125,1111562	25,1111562	25,11%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	370	2040-2060	795,643209	3805,15589	918,1206569	ssp	102,4927253	2,49272529	2,49%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	370	2060-2080	923,781892	4508,30307	1093,217646	ssp	121,4321518	21,43215184	21,43%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	585	2040-2060	965,973651	4604,07698	1110,71872	ssp	124,0118435	24,01184348	24,01%
<i>Kinosternon scorpioides</i>	585	2060-2080	896,407806	4433,61623	1076,582011	ssp	119,4204452	19,42044516	19,42%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	26	2050	697,883402	2654,72252	856,3722485	rcp	79,49094608	-20,50905392	-20,51%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	26	2070	695,813356	2661,88608	848,9035679	rcp	79,70544632	-20,29455368	-20,29%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	45	2050	706,496199	2754,88623	884,3335558	rcp	82,49017052	-17,50982948	-17,51%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	45	2070	668,696249	2527,04858	806,3160403	rcp	75,66797712	-24,33202288	-24,33%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	60	2050	767,556876	3170,05984	996,3127692	rcp	94,92180596	-5,078194039	-5,08%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	60	2070	738,211985	3011,48974	911,5508755	rcp	90,17370634	-9,82629366	-9,83%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	85	2050	689,077511	2608,08341	846,0884223	rcp	78,09442103	-21,90557897	-21,91%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	85	2070	601,706726	2165,54952	686,8443476	rcp	64,84353043	-35,15646957	-35,16%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	126	2040-2060	652,759241	2290,28441	765,524844	ssp	95,37630208	-4,623697922	-4,62%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	126	2060-2080	650,20274	2290,08505	770,7057974	ssp	95,36799989	-4,632000108	-4,63%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	245	2040-2060	647,239155	2261,13439	758,2097852	ssp	94,16238256	-5,837617441	-5,84%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	245	2060-2080	640,168155	2202,4103	742,7005108	ssp	91,71688416	-8,283115841	-8,28%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	370	2040-2060	775,286899	2962,22088	889,2502898	ssp	123,3583359	23,35833593	23,36%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	370	2060-2080	622,210764	2101,41753	708,4064467	ssp	87,51115457	-12,48884543	-12,49%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	585	2040-2060	641,252568	2215,03886	751,0974502	ssp	92,24278639	-7,757213609	-7,76%
<i>Mesoclemmys gibba</i>	585	2060-2080	533,145366	1677,0157	579,6539866	ssp	69,83742053	-30,16257947	-30,16%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	26	2050	846,645281	4062,44987	1027,334535	rcp	174,5741272	74,57412722	74,57%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	26	2070	895,008122	4214,62471	1066,352553	rcp	181,1134795	81,11347948	81,11%

<i>Phrynops geoffroanus</i>	45	2050	901,789369	4209,55614	1025,180645	rcp	180,8956694	80,89566937	80,90%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	45	2070	920,381828	4309,58123	1071,09068	rcp	185,1940101	85,1940101	85,19%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	60	2050	645,746101	3267,09356	793,6785452	rcp	140,3955801	40,39558013	40,40%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	60	2070	611,181516	3267,2094	773,4347234	rcp	140,4005582	40,40055817	40,40%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	85	2050	888,592865	4163,43889	1036,781042	rcp	178,9138904	78,91389037	78,91%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	85	2070	886,48296	4091,2325	993,3401488	rcp	175,8109925	75,81099247	75,81%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	126	2040-2060	1116,42682	4942,29075	1220,474375	ssp	100,0138672	0,0138672	0,01%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	126	2060-2080	1123,00804	4952,37491	1224,062769	ssp	100,2179337	0,217933654	0,22%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	245	2040-2060	1113,00605	4949,20453	1224,659042	ssp	100,1537767	0,153776749	0,15%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	245	2060-2080	1130,9547	4990,39032	1231,06589	ssp	100,9872264	0,987226412	0,99%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	370	2040-2060	1132,69221	4980,56529	1227,249604	ssp	100,7884039	0,788403859	0,79%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	370	2060-2080	1110,18653	4958,68753	1220,214212	ssp	100,3456781	0,345678064	0,35%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	585	2040-2060	1134,46037	4982,45012	1228,673866	ssp	100,8265458	0,826545788	0,83%
<i>Phrynops geoffroanus</i>	585	2060-2080	1109,67853	4944,00647	1214,748569	ssp	100,0485872	0,048587175	0,05%
<i>Platemys platycephala</i>	26	2050	821,914751	3254,58929	1022,877369	rcp	86,34009995	-13,65990005	-13,66%
<i>Platemys platycephala</i>	26	2070	824,858665	3261,79342	1016,906676	rcp	86,53121626	-13,46878374	-13,47%
<i>Platemys platycephala</i>	45	2050	824,014307	3283,22447	1031,255682	rcp	87,09975486	-12,90024514	-12,90%
<i>Platemys platycephala</i>	45	2070	791,892392	3057,45122	934,8747997	rcp	81,1102787	-18,8897213	-18,89%
<i>Platemys platycephala</i>	60	2050	894,198355	3694,60398	1088,416053	rcp	98,01312816	-1,986871843	-1,99%
<i>Platemys platycephala</i>	60	2070	843,820195	3524,30204	1034,419805	rcp	93,49523503	-6,504764967	-6,50%
<i>Platemys platycephala</i>	85	2050	792,92981	3069,96281	952,7256463	rcp	81,44219513	-18,55780487	-18,56%
<i>Platemys platycephala</i>	85	2070	709,312006	2654,14239	804,312853	rcp	70,4110101	-29,5889899	-29,59%
<i>Platemys platycephala</i>	126	2040-2060	780,236602	2876,78666	958,4242445	ssp	90,64489412	-9,355105883	-9,36%
<i>Platemys platycephala</i>	126	2060-2080	774,026821	2841,10083	955,3563669	ssp	89,52046674	-10,47953326	-10,48%
<i>Platemys platycephala</i>	245	2040-2060	761,130153	2779,00632	936,7132076	ssp	87,5639258	-12,4360742	-12,44%
<i>Platemys platycephala</i>	245	2060-2080	726,408347	2569,14707	853,4470114	ssp	80,95145444	-19,04854556	-19,05%
<i>Platemys platycephala</i>	370	2040-2060	684,048272	2519,23569	794,9461145	ssp	79,37879291	-20,62120709	-20,62%
<i>Platemys platycephala</i>	370	2060-2080	673,161757	2318,29533	783,4575686	ssp	73,04734758	-26,95265242	-26,95%
<i>Platemys platycephala</i>	585	2040-2060	722,563924	2542,54166	850,5117968	ssp	80,11314253	-19,88685747	-19,89%

<i>Platemys platycephala</i>	585	2060-2080	610,06257	2018,20874	672,8988285	ssp	63,59189592	-36,40810408	-36,41%
<i>Podocnemis expansa</i>	26	2050	758,958652	2815,59362	881,7490407	rcp	76,16919621	-23,83080379	-23,83%
<i>Podocnemis expansa</i>	26	2070	745,515237	2764,97787	868,5949864	rcp	74,79990753	-25,20009247	-25,20%
<i>Podocnemis expansa</i>	45	2050	754,529283	2865,31419	912,8541985	rcp	77,51426833	-22,48573167	-22,49%
<i>Podocnemis expansa</i>	45	2070	710,279498	2631,24846	818,2902726	rcp	71,18217585	-28,81782415	-28,82%
<i>Podocnemis expansa</i>	60	2050	849,004394	3418,38709	1037,14634	rcp	92,47634168	-7,523658317	-7,52%
<i>Podocnemis expansa</i>	60	2070	784,898696	3209,78574	953,0820033	rcp	86,83312751	-13,16687249	-13,17%
<i>Podocnemis expansa</i>	85	2050	724,407667	2688,26609	849,4695482	rcp	72,72465241	-27,27534759	-27,28%
<i>Podocnemis expansa</i>	85	2070	656,049872	2366,56511	727,5560247	rcp	64,02179669	-35,97820331	-35,98%
<i>Podocnemis expansa</i>	126	2040-2060	671,775797	2210,53594	733,6273131	ssp	95,24171014	-4,758289858	-4,76%
<i>Podocnemis expansa</i>	126	2060-2080	675,591526	2217,95545	740,1992447	ssp	95,56138218	-4,438617822	-4,44%
<i>Podocnemis expansa</i>	245	2040-2060	674,749547	2217,07464	741,2414023	ssp	95,52343216	-4,476567844	-4,48%
<i>Podocnemis expansa</i>	245	2060-2080	662,583887	2169,40327	722,2154692	ssp	93,46949459	-6,53050541	-6,53%
<i>Podocnemis expansa</i>	370	2040-2060	786,038123	2874,02836	860,6911279	ssp	123,8285118	23,82851178	23,83%
<i>Podocnemis expansa</i>	370	2060-2080	644,944609	2090,6197	696,4099801	ssp	90,07507709	-9,924922909	-9,92%
<i>Podocnemis expansa</i>	585	2040-2060	656,685801	2143,24376	713,5879062	ssp	92,34240299	-7,657597014	-7,66%
<i>Podocnemis expansa</i>	585	2060-2080	606,074209	1925,50804	633,2532199	ssp	82,96118364	-17,03881636	-17,04%
<i>Podocnemis unifilis</i>	26	2050	816,335251	3451,21273	1042,459181	rcp	81,07341173	-18,92658827	-18,93%
<i>Podocnemis unifilis</i>	26	2070	823,349871	3468,61311	1041,432322	rcp	81,48216901	-18,51783099	-18,52%
<i>Podocnemis unifilis</i>	45	2050	835,388143	3476,32131	1022,069621	rcp	81,66324455	-18,33675545	-18,34%
<i>Podocnemis unifilis</i>	45	2070	784,53521	3217,13123	946,3034646	rcp	75,57453731	-24,42546269	-24,43%
<i>Podocnemis unifilis</i>	60	2050	847,476107	3739,23576	969,4765236	rcp	87,83944197	-12,16055803	-12,16%
<i>Podocnemis unifilis</i>	60	2070	728,745167	3285,41992	849,537134	rcp	77,17872616	-22,82127384	-22,82%
<i>Podocnemis unifilis</i>	85	2050	759,664125	3155,70043	950,037058	rcp	74,13144906	-25,86855094	-25,87%
<i>Podocnemis unifilis</i>	85	2070	656,241625	2603,97688	742,7351252	rcp	61,17075534	-38,82924466	-38,83%
<i>Podocnemis unifilis</i>	126	2040-2060	847,919906	3288,79099	1084,577305	ssp	96,4890967	-3,510903303	-3,51%
<i>Podocnemis unifilis</i>	126	2060-2080	846,059133	3297,60219	1086,505315	ssp	96,7476064	-3,252393595	-3,25%
<i>Podocnemis unifilis</i>	245	2040-2060	843,185686	3275,00332	1084,539677	ssp	96,08458314	-3,915416864	-3,92%
<i>Podocnemis unifilis</i>	245	2060-2080	816,788549	3176,10239	1049,754414	ssp	93,18295119	-6,817048805	-6,82%

<i>Podocnemis unifilis</i>	370	2040-2060	865,398506	3352,31703	1104,228686	ssp	98,35287273	-1,647127265	-1,65%
<i>Podocnemis unifilis</i>	370	2060-2080	777,621828	2986,0479	989,897145	ssp	87,6069855	-12,3930145	-12,39%
<i>Podocnemis unifilis</i>	585	2040-2060	815,392259	3158,0379	1050,845069	ssp	92,65296131	-7,34703869	-7,35%
<i>Podocnemis unifilis</i>	585	2060-2080	691,690496	2642,92262	878,60151	ssp	77,54011014	-22,45988986	-22,46%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	26	2050	553,31106	2392,16769	807,5024595	rcp	98,58247907	-1,417520928	-1,42%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	26	2070	537,056129	2382,62217	802,172789	rcp	98,18910328	-1,810896723	-1,81%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	45	2050	576,084936	2489,12664	821,3838162	rcp	102,5782081	2,578208134	2,58%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	45	2070	562,558037	2426,69215	816,3067251	rcp	100,0052502	0,005250159	0,01%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	60	2050	519,686528	2168,58814	696,0194746	rcp	89,36864888	-10,63135112	-10,63%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	60	2070	484,457784	2006,66574	663,3955528	rcp	82,6957424	-17,3042576	-17,30%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	85	2050	557,994235	2437,73308	828,254248	rcp	100,4602524	0,460252402	0,46%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	85	2070	551,180631	2339,62935	785,972946	rcp	96,41734665	-3,582653352	-3,58%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	126	2040-2060	646,576339	2850,5309	960,4409024	ssp	104,56664	4,566640005	4,57%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	126	2060-2080	645,92907	2860,67949	970,9701389	ssp	104,9389227	4,938922706	4,94%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	245	2040-2060	662,189927	2896,31016	979,9481565	ssp	106,2459703	6,245970342	6,25%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	245	2060-2080	682,094396	2973,16116	1003,091992	ssp	109,0651122	9,065112243	9,07%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	370	2040-2060	699,748753	3051,59557	1027,359347	ssp	111,9423386	11,94233863	11,94%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	370	2060-2080	687,707211	3007,64434	1002,35682	ssp	110,3300662	10,33006617	10,33%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	585	2040-2060	657,085482	2944,49329	1003,522015	ssp	108,0134824	8,013482449	8,01%
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	585	2060-2080	654,428935	2840,08539	958,612102	ssp	104,1834651	4,183465134	4,18%

APÊNDICE C.4 - Relação completa de valores áreas de ocupação fauna quelônia para ensemble na Amazônia Legal, considerando cenário, tempo, baseline assim como como aumento/redução de distribuição espacial. Valores de Perda/Ganho Real abaixo de 1 indicam perda de distribuição territorial.

Espécie	Cenário	Tempo	Terras Indígenas	Área Total	Unidades de Conservação	Baseline	Perda/Ganho Real	Perda (-)/Ganho em Porcentagem
ensemble	corrente	corrente	827,5207114	3386,367735	1010,3619	ssp	-	
ensemble	1-2.6	2040-2060	847,7647706	3443,599249	1013,374295	ssp	1,016900561	1,69%
ensemble	1-2.6	2060-2080	848,7035867	3435,322665	1008,199938	ssp	1,014456472	1,45%
ensemble	2-4.5	2040-2060	837,6972551	3398,280205	996,2860651	ssp	1,003517772	0,35%
ensemble	2-4.5	2060-2080	822,6908037	3312,760378	962,6884221	ssp	0,978263625	-2,17%
ensemble	3-7.0	2040-2060	841,5281334	3427,191596	977,7422952	ssp	1,012055334	1,20%
ensemble	3-7.0	2060-2080	782,8354787	3160,421696	936,0006073	ssp	0,93327776	-6,67%
ensemble	5-8.5	2040-2060	817,2667526	3293,871873	960,1017139	ssp	0,972685819	-2,73%
ensemble	5-8.5	2060-2080	750,5387916	3026,928357	867,6102053	ssp	0,893856956	-10,61%
ensemble	corrente	corrente	777,7781133	3288,424676	961,7698427	rcp	-	-
ensemble	2.6	2050	711,8454307	3184,765504	939,7926325	rcp	0,968477559	-3,15%
ensemble	2.6	2070	733,4847018	3255,823458	942,430002	rcp	0,990086068	-0,99%
ensemble	4.5	2050	758,2879882	3372,292122	966,7032787	rcp	1,025503837	2,55%
ensemble	4.5	2070	726,1329806	3168,886713	895,6614796	rcp	0,963648867	-3,63%
ensemble	6.0	2050	755,0051743	3309,216425	949,0970868	rcp	1,006322708	0,63%
ensemble	6.0	2070	707,5567459	3137,893882	890,7960558	rcp	0,954224041	-4,57%

ensemble	8.5	2050	713,8558433	3144,127463	910,9139017	rcp	0,956119654	-4,38%
ensemble	8.5	2070	702,2090776	2904,072088	805,2903375	rcp	0,88311954	-11,68%

APÊNDICE C.5 - Extensão, em km², de ATs, UCs e TIs ocupados por espécies quelônias, reunidas em *ensembles* por GCM, para CMIP5 e CMIP6. Legenda: AT (Área Total); TI (Terras Indígenas); UC (Unidades de Conservação); bc (GCM-BCC); ip (GCM-IPSL); mi (GCM-MIROC); mr (GCM-MRI); *ensemble-current* (*ensemble*-cenário corrente RCP); *ensemble-current2* (*ensemble*-cenário corrente SSP).

CMIP5 - ENSEMBLE				CMIP6 - ENSEMBLE			
SCENARIOS PER GCM	Total Areas	Protected Areas	Indigenous Lands	SCENARIOS PER GCM	Total Areas	Protected Areas	Indigenous Lands
ensemble_bc26bi50	3410660,035	971495,8358	822883,6512	ensemble_bc126bi50	3509810,96	1029114,877	829174,7163
ensemble_bc26bi70	3425542,203	961797,0102	829915,724	ensemble_bc126bi70	3502191,13	1020237,193	823106,9247
ensemble_bc45bi50	3168883,953	918207,335	779516,1227	ensemble_bc245bi50	3554752,72	1035451,324	847365,0146
ensemble_bc45bi70	3184343,18	905614,8527	786658,3525	ensemble_bc245bi70	3478989,99	1013138,854	820896,5198
ensemble_bc60bi50	3153760,404	903710,4812	788723,0678	ensemble_bc370bi50	3442197,07	1007491,232	824399,2122
ensemble_bc60bi70	3010769,251	880860,1627	740157,6374	ensemble_bc370bi70	3224180,34	933718,5037	770885,9959
ensemble_bc85bi50	2989956,2	867990,6902	730751,5153	ensemble_bc585bi50	3486875,37	1020505,432	821271,7343
ensemble_bc85bi70	2770691,102	783383,2681	674226,4314	ensemble_bc585bi70	2704932,35	783334,2259	636032,76
ensemble_current	3650139,942	1043223,342	866363,3099	ensemble_current2	3616681,96	1075656,685	873575,3655
ensemble_ip26bi50	3331256,058	923805,3076	798685,9634	ensemble_ip126bi50	3947426,36	1129659,766	954869,7797
ensemble_ip26bi70	3302829,112	919470,3006	777582,6697	ensemble_ip126bi70	3950317,01	1130178,9	954728,5112
ensemble_ip45bi50	3158261,159	871267,4593	740769,3799	ensemble_ip245bi50	3966845,11	1133064,405	955716,5933
ensemble_ip45bi70	3068719,706	841435,8287	717701,925	ensemble_ip245bi70	3925540,9	1128320,343	953578,319
ensemble_ip60bi50	3227443,402	891851,5807	774419,3737	ensemble_ip370bi50	3951097,97	1133138,903	957476,6188
ensemble_ip60bi70	3055717,785	832346,2453	719561,5791	ensemble_ip370bi70	3793976,22	1081738,095	919303,2176
ensemble_ip85bi50	3035416,945	831899,6887	702636,8052	ensemble_ip585bi50	3893782,67	1122576,71	949407,806
ensemble_ip85bi70	2846645,138	785843,6393	650145,153	ensemble_ip585bi70	3543944,3	978062,7395	863037,2579
ensemble_mi26bi50	2681208,086	792924,6079	649343,1394	ensemble_mi126bi50	3678685,04	1093376,452	889011,6126
ensemble_mi26bi70	2718531,572	836693,7034	645714,6043	ensemble_mi126bi70	3705493,88	1099777,593	899360,952
ensemble_mi45bi50	2936672,846	866768,5498	699936,1736	ensemble_mi245bi50	3694497,78	1092501,422	892110,7934
ensemble_mi45bi70	2585408,101	783419,8068	620107,808	ensemble_mi245bi70	3713676,4	1095484,7	898601,0587
ensemble_mi60bi50	2907052,247	841196,9829	710548,7039	ensemble_mi370bi50	3675827,2	1088216,105	887144,1124

ensemble_mi60bi70	2616183,747	752068,0631	641695,5204	ensemble_mi370bi70	3592908,66	1069804,899	860159,8552
ensemble_mi85bi50	2532208,187	775300,4306	612886,0864	ensemble_mi585bi50	3669759,61	1087174,15	886487,2954
ensemble_mi85bi70	2219757,172	682661,9111	540008,7434	ensemble_mi585bi70	3552647,39	1061982,047	851366,1428
ensemble_mr26bi50	2689530,678	838661,3712	651398,6332	ensemble_mr126bi50	3784550,1	1117316,81	923782,187
ensemble_mr26bi70	2732357,441	803970,3231	653610,3252	ensemble_mr126bi70	3861091,69	1122493,788	941156,5839
ensemble_mr45bi50	2888962,501	842087,3309	693786,4493	ensemble_mr245bi50	3810145,2	1113718,802	925553,901
ensemble_mr45bi70	2506924,853	745686,1797	608931,0539	ensemble_mr245bi70	3877078,01	1125132,639	943958,8116
ensemble_mr60bi50	2847496,234	832713,6201	696363,5817	ensemble_mr370bi50	3885654,15	1122630,091	940356,3918
ensemble_mr60bi70	2722355,611	808501,696	665005,2911	ensemble_mr370bi70	3945020,07	1134135,089	951760,4883
ensemble_mr85bi50	2476752,699	768465,937	586840,0363	ensemble_mr585bi50	3856239,65	1121419,753	937635,4464
ensemble_mr85bi70	2379072,685	734637,1141	569552,2843	ensemble_mr585bi70	3861264,88	1122690,59	948229,6751

APÊNDICE C.6 - Valores de Fatores de Inflação (VIF) por variável ambiental, para CMIP5.

ESPÉCIES	VARIÁVEIS AMBIENTAIS						
	BIO2	BIO8	BIO9	BIO10	BIO15	BIO16	BIO17
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	1.179328	1.017903	-	-	1.076965	1.123161	-
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	1.284707	1.181016	-	-	-	1.251770	1.339981
<i>Chelus fimbriata</i>	1.313421	-	1.124051	-	-	1.104169	1.310960
<i>Kinosternon scorpioides</i>	-	1.000627	-	-	1.041877	1.041356	-
<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.175430	1.102916	-	-	-	1.236583	1.123691
<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.312730	1.035452	-	-	1.447276	1.155487	-
<i>Platemys platycephala</i>	1.156989	1.224462	-	-	-	1.311680	1.167108
<i>Podocnemis expansa</i>	1.017902	1.005840	-	-	-	1.012164	-
<i>Podocnemis unifilis</i>	1.102189	1.196518	-	-	1.092987	1.144764	-
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	2.000326	-	-	1.521871	1.473544	1.355694	-

APÊNDICE C.7 - Valores de Fatores de Inflação (VIF) por variável ambiental, para CMIP6.

ESPÉCIES	VARIÁVEIS AMBIENTAIS						
	BIO2	BIO8	BIO9	BIO10	BIO15	BIO16	BIO17
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	1.214976	1.012035	-	-	1.135349	1.086495	-
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	1.247271	1.143853	-	-	-	1.234173	1.289914
<i>Chelus fimbriata</i>	1.571470	-	1.264605	-	-	-	1.282043
<i>Kinosternon scorpioides</i>	-	1.033014	-	-	1.094659	1.104469	-
<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.247670	1.120148	-	-	-	1.347352	1.127510
<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.080459	1.028300	-	-	-	1.107804	-
<i>Platemys platycephala</i>	1.155025	1.184406	-	-	-	1.327392	1.257843
<i>Podocnemis expansa</i>	1.054723	-	1.055367	-	-	-	1.005589
<i>Podocnemis unifilis</i>	1.142390	1.018332	-	-	-	-	1.130473
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.168770	-	-	1.250225	1.114749	1.140657	-

APÊNDICE C.8- Sinais isotópicos por espécime e média das espécies

FAMÍLIAS	$\delta^{15}\text{N}$	%N	$\delta^{13}\text{C}$	%C	C/N	ESPÉCIES
Podocnemididae	6,36	4,56	-26,34	15,65	3,43	<i>Podocnemis unifilis</i>
	7,77	4,48	-26,81	16,29	3,64	<i>Podocnemis unifilis</i>
	6,68	4,73	-26,14	15,16	3,21	<i>Podocnemis unifilis</i>
	7,46	4,30	-31,99	18,07	4,20	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	6,88	4,46	-30,55	18,00	4,04	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	7,00	4,49	-34,59	16,97	3,78	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	6,48	4,73	-25,68	15,23	3,22	<i>Podocnemis expansa</i>
	7,01	4,89	-26,64	18,29	3,74	<i>Podocnemis expansa</i>
	8,01	4,98	-20,32	17,40	3,49	<i>Podocnemis expansa</i>
	9,90	4,29	-20,11	17,44	4,06	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,17	4,64	-22,70	17,21	3,71	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,01	4,14	-18,84	19,56	4,72	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	8,22	4,25	-26,22	15,73	3,70	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	10,75	4,17	-26,34	15,66	3,75	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	8,34	4,39	-25,09	15,29	3,48	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	7,93	4,50	-25,89	16,80	3,74	Média total
	6,94	4,59	-26,43	15,70	3,42	Média <i>Podocnemis unifilis</i>
	7,11	4,41	-32,37	17,68	4,01	Média <i>Podocnemis erythrocephala</i>
	7,16	4,87	-24,21	16,97	3,48	Média <i>Podocnemis expansa</i>
	9,36	4,36	-20,55	18,07	4,16	Média <i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,10	4,27	-25,88	15,56	3,64	Média <i>Peltocephalus dumerilianus</i>
Chelidae	9,28	4,83	-25,44	16,58	3,43	<i>Rhinemys rufipes</i>
	10,23	4,45	-24,58	17,09	3,84	<i>Rhinemys rufipes</i>
	12,76	4,77	-24,10	17,55	3,68	<i>Rhinemys rufipes</i>
	11,36	4,36	-26,91	13,68	3,14	<i>Chelus fimbriata</i>
	11,72	4,41	-27,66	13,91	3,15	<i>Chelus fimbriata</i>
	11,33	4,25	-28,33	13,27	3,13	<i>Chelus fimbriata</i>
	12,09	4,38	-24,84	14,09	3,22	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	8,98	4,51	-27,17	16,56	3,67	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	8,40	5,39	-26,39	17,27	3,20	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	11,31	4,65	-23,54	14,24	3,06	<i>Platemys plathycephala</i>
	11,41	4,64	-22,93	14,24	3,07	<i>Platemys plathycephala</i>
	12,16	4,35	-23,05	13,22	3,04	<i>Platemys plathycephala</i>
	10,96	4,70	-25,63	15,60	3,31	Média total
	10,76	4,68	-24,70	17,08	3,65	Média <i>Rhinemys rufipes</i>
	11,47	4,34	-27,63	13,62	3,14	Média <i>Chelus fimbriata</i>
	9,83	4,76	-26,13	15,97	3,37	Média <i>Mesoclemmys gibba</i>

	11,63	4,55	-23,17	13,90	3,06	Média <i>Platemys plathycephala</i>
	11,45	6,15	-28,24	21,08	3,43	<i>Phrynosps geoffroanus</i>
Testudinidae	11,44	4,51	-24,69	13,38	2,97	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	9,49	4,92	-26,05	14,20	2,89	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	12,26	4,46	-23,35	14,07	3,15	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	6,90	6,25	-27,50	21,72	3,48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	8,92	6,01	-27,00	20,22	3,36	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	11,87	6,02	-25,18	19,77	3,28	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	8,87	4,79	-26,37	18,63	3,89	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,41	4,53	-26,29	19,30	4,26	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,82	5,67	-25,59	20,65	3,64	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,89	5,24	-25,78	17,99	3,44	Média total
	11,06	4,63	-24,70	13,88	3,00	Média <i>Chelonoidis carbonaria</i>
	9,23	6,09	-26,56	19,54	3,38	Média <i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	9,37	5,00	-26,08	19,53	3,93	Média <i>Chelonoidis denticulata</i>
Kinosternidae	10,70	4,39	-23,06	15,15	3,45	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	10,25	4,57	-23,58	17,29	3,79	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	8,81	4,51	-24,25	21,37	4,74	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	9,92	4,49	-23,63	17,94	3,99	Média total

APÊNDICE C.9- Valor de p ajustado para espécies com sobreposição valores $\delta^{13}\text{C}$, segundo o teste de Tukey ($p>0.05$).

ESPÉCIE 1	ESPÉCIE 2	p AJUSTADO
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Chelonoidis denticulata</i>	0.9933
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Chelus fimbriata</i>	0.435
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.9995
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.9908
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.9984
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.6666
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.9849
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0669
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.9589
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.9319
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Chelus fimbriata</i>	0.9826
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.6943
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9848
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.4486
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.9303
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9937
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.0867
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.9867
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.9559
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.2274
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.9982
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.4401
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.9994
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.6678
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.7933
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.287
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	1.0
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	1.0
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.3651
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.5065
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9994
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.4384
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	1.0
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9875
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.4232
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.9171
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	1.0
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9913
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9693
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.5553

<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.9688
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	1.0
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9986
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.1768
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.4409
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.4814
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.9968
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.6704
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.9984
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.9996
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.6027
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.2882
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9841
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.239
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.1553
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.8098
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	1.0
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.7488
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.0656
<i>Podocnemis unifilis</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9606
<i>Podocnemis unifilis</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Rhinemys rufipes</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.9343

APÊNDICE C.10- Valor de p ajustado para espécies com presença de sobreposição de valores para $\delta^{15}\text{N}$, segundo o teste de Tukey ($p>0.05$).

ESPÉCIE 1	ESPÉCIE 2	p AJUSTADO
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Chelonoidis denticulata</i>	0.9126
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Chelus fimbriata</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.9961
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.9919
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.8009
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.9104
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	1.0
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.8608
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Chelus fimbriata</i>	0.7219
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9672
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.6269
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.631
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.6639
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	1.0
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.5211
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9791
<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.9524
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.928
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.5603
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.718
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	1.0
<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.6393
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.0
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0.9999
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9977
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.9093
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.3105
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.3369
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	1.0
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.2328
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9998
<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	1.0
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9959
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.8734

<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.3593
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.388
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	1.0
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.2734
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9995
<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.9243
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	0.4645
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.7852
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.8127
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	1.0
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.6842
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.926
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	1.0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.2016
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	0.2153
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.9664
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.1608
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	1.0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.948
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.6227
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9997
<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.5417
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	1.0
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.6352
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	1.0
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.0655
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.7141
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.668
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	1.0
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.0733
<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.7449
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.5252
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	0.9782
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.0
<i>Podocnemis unifilis</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.6061
<i>Rhinemys rufipes</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.9573

APÊNDICE C.11- Índice de Pianka para as 14 espécies continentais da Amazônia continental

ESPÉCIES	<i>Chelonoidis carbonaria</i>	<i>Chelonoidis denticulata</i>	<i>Chelus fimbriata</i>	<i>Kinosternon scorpioides</i>	<i>Mesoclemmys gibba</i>	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	<i>Phrynops geoffroanus</i>	<i>Platemys plathycephala</i>	<i>Podocnemis erythrocephala</i>	<i>Podocnemis expansa</i>	<i>Podocnemis sextuberculata</i>	<i>Podocnemis unifilis</i>	<i>Rhinemys rufipes</i>	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	0	0,996669359	0,999602301	0,998754241	0,998083986	0,996379982	0,999360103	0,99902727	0,979312836	0,990900213	0,997404907	0,986586215	0,99965484	0,996253724
<i>Chelonoidis denticulata</i>	0,996669359	0	0,998175064	0,998547859	0,999672545	0,999939649	0,998781713	0,992621372	0,99168487	0,998400021	0,995818299	0,99606033	0,997853357	0,999717429
<i>Chelus fimbriata</i>	0,999602301	0,998175064	0	0,998741745	0,999315804	0,998119364	0,999938181	0,997388225	0,984421269	0,993975883	0,99641447	0,990580809	0,999402447	0,998173117
<i>Kinosternon scorpioides</i>	0,998754241	0,998547859	0,998741745	0	0,998693694	0,99802564	0,999023585	0,997068414	0,983353551	0,993963538	0,999179762	0,989853711	0,999716296	0,997434896
<i>Mesoclemmys gibba</i>	0,998083986	0,999672545	0,999315804	0,998693694	0	0,999702032	0,99964513	0,994517364	0,989899424	0,997319084	0,995805583	0,994778682	0,998608513	0,99968953
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0,996379982	0,999939649	0,998119364	0,99802564	0,999702032	0	0,998713437	0,991984651	0,992625368	0,998738765	0,994858712	0,996706507	0,997420904	0,999913572
<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,999360103	0,998781713	0,999938181	0,999023585	0,99964513	0,998713437	0	0,996843234	0,985923294	0,995018762	0,996664434	0,991786261	0,999427538	0,998703485
<i>Platemys plathycephala</i>	0,99902727	0,992621372	0,997388225	0,997068414	0,994517364	0,991984651	0,996843234	0	0,96964723	0,984389314	0,997198893	0,978659409	0,998394794	0,991604719
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0,979312836	0,99168487	0,984421269	0,983353551	0,989899424	0,992625368	0,985923294	0,96964723	0	0,997346525	0,976397264	0,9991864	0,9813745	0,993123023
<i>Podocnemis expansa</i>	0,990900213	0,998400021	0,993975883	0,993963538	0,997319084	0,998738765	0,995018762	0,984389314	0,997346525	0	0,989494993	0,999448736	0,992597406	0,998771634
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0,997404907	0,995818299	0,99641447	0,999179762	0,995805583	0,994858712	0,996664434	0,997198893	0,976397264	0,989494993	0	0,984156052	0,998725953	0,993807059
<i>Podocnemis unifilis</i>	0,986586215	0,99606033	0,990580809	0,989853711	0,994778682	0,996706507	0,991786261	0,978659409	0,9991864	0,999448736	0,984156052	0	0,988320878	0,997006133
<i>Rhinemys rufipes</i>	0,99965484	0,997853357	0,999402447	0,999716296	0,998608513	0,997420904	0,999427538	0,998394794	0,9813745	0,992597406	0,998725953	0,988320878	0	0,997031424
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0,996253724	0,999717429	0,998173117	0,997434896	0,99968953	0,999913572	0,998703485	0,991604719	0,993123023	0,998771634	0,993807059	0,997006133	0,997031424	0

APÊNDICE C.12 - Dados ecológicos para as 14 espécies de quelônios continentais da Amazônia Legal analisadas na pesquisa

Espécie	Índice de Levin (Amplitude de Nicho)	Classificação Levin	Índice de Morisita-Horn (Média com outras espécies)	Classificação Morisita-Horn	Índice de Pianka (Sobreposição com outras espécies)	Classificação Pianka
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	0,15262195006039000	Moderado	0,8987618642978380	Moderada sobreposição	0,9952299982809500	Alta sobreposição
<i>Chelonoidis denticulata</i>	0,2086723035483500	Moderado	0,9061880233362820	Alta sobreposição	0,9972262974421660	Alta sobreposição
<i>Chelus fimbriata</i>	0,18740680778095600	Moderado	0,906077571041626	Alta sobreposição	0,9964806674773760	Alta sobreposição
<i>Kinosternon scorpioides</i>	0,14034398577695900	Especialista	0,8945906001390960	Moderada sobreposição	0,9963351484235710	Alta sobreposição
<i>Mesoclemmys gibba</i>	0,21196818985480800	Moderado	0,9060180767950990	Alta sobreposição	0,9373639516011940	Alta sobreposição
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0,22526292369920700	Moderado	0,9041635640632400	Alta sobreposição	0,997163737116471	Alta sobreposição
<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,1898088508185650	Moderado	0,9065333338931250	Alta sobreposição	0,9969099350937800	Alta sobreposição
<i>Platemys plathycephala</i>	0,10576280805930600	Especialista	0,8622725261514590	Moderada sobreposição	0,9914880684308660	Alta sobreposição
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0,4052787665962980	Generalista	0,8390650395105250	Moderada sobreposição	0,9864802733830990	Alta sobreposição
<i>Podocnemis expansa</i>	0,2831172782332680	Moderado	0,888398768621518	Moderada sobreposição	0,9946434518828950	Alta sobreposição
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0,0936452746338465	Especialista	0,8471222198384090	Moderada sobreposição	0,9935327985361110	Alta sobreposição
<i>Podocnemis unifilis</i>	0,3403696175768810	Generalista	0,8671390126617530	Moderada sobreposição	0,9917792402213890	Alta sobreposição
<i>Rhinemys rufipes</i>	0,14347193456594300	Especialista	0,8958683950544390	Moderada sobreposição	0,9960406807090690	Alta sobreposição
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0,2028767043256220	Moderado	0,900821850282905	Alta sobreposição	0,9970176726423770	Alta sobreposição

APÊNDICE C.13- Síntese sobre acerca dos desafios de conservação e áreas prioritárias de preservação das espécies analisadas na pesquisa

ESPÉCIE	DESAFIOS DE CONSERVAÇÃO	ÁREAS PRIORITÁRIAS DE PRESERVAÇÃO
<i>Chelonoidis denticulata</i>	Redução de até 91%	Oeste amazônico, Terras Indígenas (e.g. Rio Negro)
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	Redução moderada de ~12%	Áreas de amortecimento em Unidades de Conservação no sul amazônico
<i>Chelus fimbriata</i>	Redução de 7-21%	Bacia do Rio Negro e várzeas no centro-norte da Amazônia
<i>Podocnemis expansa</i>	Perda de até 37%	Grande rios, como Madeira e Amazonas, com foco em áreas ribeirinhas protegidas
<i>Podocnemis unifilis</i>	Perda de até 38%	Várzeas ao longo do Rio Tapajós e corpos d´água sazonais
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	Perdas moderadas de ~30%	Várzeas protegidas do Médio Solimões
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	Projeções estáveis, perdas limitadas	Corredores fluviais, especialmente próximos ao Rio Negro
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	Cenários favoráveis em áreas protegidas	Zonas úmidas e florestas alagadas na bacia do Rio Purus
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Perdas mínimas (~2-3%)	Terras Indígenas no nordeste amazônico
<i>Mesoclemmys gibba</i>	Perdas de até 30%	Zonas semi-aquáticas protegidas no leste amazônico
<i>Platemys plathycephala</i>	Perdas de até 36%	Sudeste amazônico, com foco em corredores ecológicos
<i>Phrynops geoffroannus</i>	Projeções favoráveis em cenários intermediários	Corredores ecológicos
<i>Rhinemys rufipes</i>	Bordas limitadas, estável em cenários futuros	Escudo das Guianas, especialmente no nordeste amazônico
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	Cenários positivos com expansão limitada	Áreas costeiras e florestas úmidas do nordeste amazônico



Chelonoidis denticulata (“jabuti-da-pata-amarela”)

- “*Habitat/Hábito: espécie terrestre, diurna, que habita primariamente áreas florestadas, especialmente florestas ombrófilas densas, florestas ombrófilas densas aluviais e florestas estacionais semidecíduas, sendo raramente encontradas áreas abertas, como campos e savanas. Entretanto, alguns estudos determinam que a espécie habita clareiras de florestas no Brasil e Colômbia. Apesar de ser uma espécie terrestre, recentemente foi confirmada sua ocorrência em grandes extensões
- *Alimentação: onívoro e oportunista, se alimentando de carcaças de animais, fungos, insetos e diversas partes vegetais, como caule, folhas, flores e frutos. Dentre os itens componentes de sua dieta, os frutos se destacam em representatividade, ressaltando a importância da espécie como dispersor de sementes.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “*Amplitude moderada de nicho. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- *Desafios de Conservação: redução de até 91% em cenários climáticos extremos
- *Áreas prioritárias de preservação: Oeste amazônico, Terras Indígenas (e.g. Rio Negro)”. (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Chelonoidis carbonaria (“jabuti-da-pata-vermelha”)

- “*Habitat/Hábito: espécie terrestre, diurna, que ocupa preferencialmente campos abertos e áreas de gramíneas, como savanas e campinas, embora também possa ser encontrada, com menor frequência, em ambientes florestados, principalmente nas populações transandinas. Habita também proximidades de charcos e canais. Devido a essa preferência, a espécie tolera mais facilmente ambientes alterados. *Chelonoidis carbonarius* pode ocorrer em simpatria com *C. denticulatus*, especialmente nas regiões de borda de sua distribuição.
- *Alimentação: onívora e oportunista, se alimentando de carcaças de animais, fungos, insetos e diversas partes vegetais, como caule, folhas, flores e frutos. Dentre os itens componentes de sua dieta, os frutos se destacam em representatividade, ressaltando a importância da espécie como dispersora de sementes.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “*Amplitude moderada de nicho. Moderada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- *Desafios de conservação: Redução de até 12% de distribuição em cenários climáticos adversos
- *Áreas prioritárias de preservação: Unidades de Conservação no sul amazônico” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Kinosternon scorpioides (“muçuã”)

- “* Habitat/Hábito: semiaquática, sobretudo noturna. Característica de ambientes aquáticos permanentes e temporários, como riachos, córregos, lagoas, margens de lagos e rios, áreas alagadas, charcos, região de dunas e pântanos. Tem maior frequência em águas claras e brancas, mas pode ocorrer em águas pretas. Em algumas localidades do litoral brasileiro foram registrados indivíduos em águas salobras. A espécie caminha pelo solo da terra firme, principalmente no período de seca.
- * Alimentação: espécie onívora, consumindo desde macrófitas (plantas aquáticas, flutuantes) e algas a insetos, minhocas, moluscos, peixes e anfíbios.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Especialista, com moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: baixo risco de extinção (2-3% em cenários climáticos adversos)
- * Áreas prioritárias de preservação: Terras Indígenas no nordeste amazônico” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Platemys plathycephala (“jabuti machado”)

- “* Habitat/Hábito: espécie semiaquática e noturna, que ocorre principalmente em poças e charcos temporários pouco profundos formados na floresta pelas chuvas, em pântanos e em áreas de buritizais. Apresenta reduzida habilidade para natação e no período de chuvas se locomove pelo solo da floresta. Está presente em água branca, clara e preta.
- * Alimentação: girinos, peixes, caranguejos, camarões e outros invertebrados aquáticos, embora também consuma insetos.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Especialista, com moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: redução em até 36% de distribuição territorial em cenários adversos de mudança climática
- * Áreas prioritárias de preservação: Sudeste amazônico, com foco em corredores ecológicos” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Chelus fimbriata (matámatá)

- “* Habitat/Hábito: espécie aquática, atividade diurna e noturna. Prefere águas calmas, geralmente turvas e com pouca profundidade, onde podem permanecer no fundo do corpo hídrico somente com o focinho na superfície para respirar. Habita lagos, rios, igarapés, florestas inundadas, remansos, poças e charcos temporários. São mais comuns na água branca e preta, mas também ocorrem em água clara.
- * Alimentação: espécie preferencialmente piscívora, havendo também registros de consumo de pequenos roedores, aves, sapos e girinos. Alimenta-se por sucção.”Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: redução de 7-21% em cenários adversos de mudança climática
- * Áreas prioritárias de preservação: Bacia do Rio Negro e várzeas no centro-norte da Amazônia” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (<https://tartarugas.atlasvirtual.com.br/matamata.htm>)



Rhinemys rufipes (cágado vermelho)

- “* Habitat/Hábito: espécie aquática e noturna. Habita córregos (igarapés) e rios pequenos do sistema de águas pretas, permanecendo em locais pouco profundos, bem preservados e de água corrente. Também existem alguns registros em água clara e em lagos e igarapés de água branca.
- * Alimentação: espécie onívora, se alimentando de frutos, sementes, insetos, invertebrados como camarões e caranguejos, bem como peixes e pequenos lagartos.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Especialista. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: estabilidade em cenários futuros
- * Áreas prioritárias de preservação: Nordeste Amazônico” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Phrynops geoffroyi (cágado de barbicha)

- “* Habitat/Hábito: espécie aquática e diurna, que utiliza uma variedade de corpos d’água, como riachos, canais, floresta alagada, lagos com vegetação na margem e bastante vegetação aquática, pequenos córregos, lagoas e açudes, embora tenha preferência por habitar grandes rios com correnteza. A espécie habita águas claras e brancas, podendo ainda ser encontrada em canais poluídos nos centros urbanos de algumas cidades.
- * Alimentação: espécie carnívora, se alimentando principalmente de peixes, insetos, artrópodes e moluscos.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho, Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: projeções de distribuição futura favoráveis, sobretudo em cenários intermediários de mudanças climáticas
- * Áreas prioritárias de preservação: corredores ecológicos” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Mesoclemmys gibba (cágado de poça/tartaruga gibba)

- “ * Habitat/Hábito: semiaquática e noturna. Habita pequenos córregos (igarapés) no interior da mata com água lenta, poças temporárias dentro da floresta, lagos rasos, florestas alagadas (igapó) e locais com palmeiras de buriti (*Mauritia flexuosa*). É encontrado em água branca, preta e clara.
- * Alimentação: há poucas informações sobre a alimentação da espécie em ambiente natural. Foram registrados indivíduos se alimentando de frutos de buriti e pastagem. Em cativeiro, sua dieta é onívora nos juvenis e carnívora nos adultos (peixes, crustáceos, girinos e larvas de insetos aquáticos)” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: redução de distribuição espacial em até 30% em cenários climáticos adversos
- * Áreas prioritárias de preservação: zonas semi-aquáticas protegidas no leste amazônico” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Podocnemis expansa (“tartaruga da Amazônia”)

- “ * Habitat/Hábito: espécie aquática, com atividade diurna e noturna. Habita grandes rios, lagos e florestas inundáveis de águas pretas, brancas e claras. Utiliza o habitat de acordo com o ciclo hidrológico, sendo que na época de chuva se encontra nos lagos e áreas alagadas e na época de seca se encontra na calha dos rios.
- * Alimentação: os adultos são principalmente herbívoros.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: redução de distribuição espacial em até 37% em cenários climáticos adversos
- * Áreas Prioritárias de preservação: Grande rios, como Madeira e Amazonas, com foco em áreas ribeirinhas protegidas” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Podocnemis sextuberculata (“Iaçu”)

- “ * Habitat/Hábito: espécie aquática e diurna. Habita grandes rios, canais de tributários secundários de grandes rios, poças profundas, lagos, florestas alagáveis em rios de água branca, clara e com rara ocorrência em tributários de água preta. No período chuvoso, a espécie se direciona para lagos e áreas alagadas e na estação seca permanecem em poças profundas ou nos canais dos rios.
- * Alimentação: é onívora, podendo consumir peixes e invertebrados, porém tem maior intensidade de consumo de componentes vegetais, como plantas aquáticas, frutos e sementes de vegetação ripária.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies
- * Desafios de conservação: redução de distribuição espacial em até aproximadamente 30% em cenários climáticos adversos
- * Áreas Prioritárias de preservação: Várzeas protegidas do Médio Solimões” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Podocnemis erythrocephala

- “ * Habitat/Hábito: espécie aquática e diurna. Prefere lagos, florestas inundáveis, remansos e canais de rios pequenos, mas também ocorre nas calhas de grandes rios e seus tributários. Habita preferencialmente rios de água preta, apresentando baixa frequência em águas brancas e claras.
- * Alimentação: preferencialmente herbívora, se alimentando de sementes, frutos e algas (particularmente periphyton).” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Generalista. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: projeções futuras estáveis
- * Áreas prioritárias de preservação: Corredores fluviais, especialmente próximos ao Rio Negro” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Podocnemis unifilis (“Tracajá”)

- “* Habitat/Hábito: espécie aquática, com atividade diurna e noturna. Habita grandes rios, canais de tributários secundários de grandes rios, remansos, lagos, córregos (igarapés) e florestas alagáveis em águas pretas, brancas e claras. Utiliza o habitat de acordo com o ciclo hidrológico, nas épocas de chuva encontram-se nos lagos, remansos e áreas alagadas e nas épocas de seca geralmente estão nos canais principais dos rios.
- *Alimentação: principalmente herbívoros. Quando jovens, se alimentam de frutas, algas e plantas, porém quando adultos são mais generalistas, se alimentado também de animais, ainda que em menor quantidade.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Generalista. Moderada a elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: redução de distribuição espacial em até aproximadamente 38% em cenários climáticos adversos
- * Áreas prioritárias de preservação: Várzeas ao longo do Rio Tapajós e corpos d’água sazonais” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Peltoccephalus dumerilianus(“cabeçudo”)

- “ * Habitat/Hábito: espécie aquática e diurna, que habita preferencialmente tributários de grandes rios, remansos, lagos e florestas inundáveis (igapó) dos sistemas de água preta, mas pode ser encontrada em ambientes de água branca e clara. Está mais associada ao fundo dos corpos hídricos e ambientes sem muita correnteza
- * Alimentação: espécie onívora, que se alimenta de frutos, sementes, moluscos e uma baixa porcentagem de peixes.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho. Elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: cenários favoráveis em áreas protegidas
- * Áreas prioritárias de preservação: Zonas úmidas e florestas alagadas na bacia do Rio Purus” Fonte: da Autora

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)



Rhinoclemmys punctulata (“perema”)

- “* Habitat/Hábito:semiaquática, diurna, que habita ampla variedade de ambientes, como pântanos, áreas alagadas, lagos, igarapés, riachos, buritizais, brejos-costeiros e valas ao longo de rodovias. Ocorrem em todos os tipos de água (branca, preta, clara) e até mesmo em águas poluídas
- * Alimentação: onívora. Consome mais frequentemente frutos das famílias Arecaceae e Annonaceae, mas também se alimenta de itens de origem animal.” Transcrito de Ferrara et al. (2017)
- “* Amplitude moderada de nicho. Elevada sobreposição de nicho com demais espécies amazônicas continentais
- * Desafios de conservação: Cenários positivos com expansão limitada
- * Áreas prioritárias de preservação: Áreas costeiras e florestas úmidas do nordeste amazônico” (Fonte: da Autora)

Fonte da imagem: (Ferrara et al. 2017)

The South American Journal of Herpetology

CLIMATIC RESILIENCE LEVELS AND POSSIBLE SCENARIOS DISTRIBUTION FOR BRAZILIAN AMAZONIAN CONTINENTAL CHELONIANS

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	SAJH-D-24-00007
Full Title:	CLIMATIC RESILIENCE LEVELS AND POSSIBLE SCENARIOS DISTRIBUTION FOR BRAZILIAN AMAZONIAN CONTINENTAL CHELONIANS
Article Type:	Article
Keywords:	Biomod2; CMIP5; CMIP6; GCMs; Testudines
Corresponding Author:	Lívia Isadora de Almeida Guimarães, M.D. Federal University of Para: Universidade Federal do Para Belém, BRAZIL
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Federal University of Para: Universidade Federal do Para
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Lívia Isadora de Almeida Guimarães, M.D.
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Lívia Isadora de Almeida Guimarães, M.D.
	Lívia Isadora de Almeida Guimarães
	Luiz Fernando Esser
	Murilo Juliano Ferreira Gomes
	Amanda Reis da Silva
	Sauri Moreira Machado
	Peter Mann de Toledo
	José Francisco Berredo Reis da Silva
Order of Authors Secondary Information:	
Abstract:	Continental chelonians, especially Amazonian species, are among the groups that most demand research and integrated studies, whether in the systematic or ecological scope, both for their own preservation and associated ecosystems and environmental services continuance. Therefore, the present research aims to analyze levels of climate resilience, for continental species of Brazilian Amazon, through climatic models, with simulations referring to the Representative Concentration Pathways (RCPs) and Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) for ten chelonian species: <i>Chelus fimbriata</i> ; <i>Mesoclemmys gibba</i> ; <i>Phrynops geoffroanus</i> ; <i>Platemys platycephala</i> ; <i>Podocnemis expansa</i> ; <i>Podocnemis unifilis</i> ; <i>Rhinoclemmys punctulata</i> ; <i>Kinosternon scorpioides</i> ; <i>Chelonoidis carbonaria</i> and <i>Chelonoidis denticulata</i> . Coordinates were intercrossed with four environmental variables from Worldclim digital platform. Such procedures were performed in the Rstudio software, through the Biomod2 platform, which enable ensemble models with a set of algorithms, whose mathematics allowed development of rasters with information on the climatic suitability of species. As result, <i>Podocnemis expansa</i> , <i>Podocnemis unifilis</i> and, above all, <i>Chelonoidis denticulata</i> , are considered the most threatened of population reduction, whilst <i>Phrynops geoffroanus</i> and <i>Kinosternon scorpioides</i> are pointed as less vulnerable to climate change. This parameter tends to be maintained in future circumstances, even with regional human interference.

Climatic resilience levels and possible scenarios distribution for Brazilian amazonian continental chelonians

Lívia Isadora de Almeida Guimarães¹, Luiz Fernando Esser², Murilo Juliano Ferreira Gomes³, Amanda Reis da Silva⁴, Sauri Moreira Machado⁵, José Francisco Berredo Reis da Silva⁶, Peter Mann de Toledo⁷

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará (IG-UFPA), Augusto Corrêa, 01, Guamá, 66075-110, Belém, Pará, Brazil

²Universidade Estadual de Maringá. Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, CEP 87020-900, Maringá, Paraná, Brazil

³Prefeitura Municipal de Belém. Avenida Almirante Barroso, 1312, Marco, 66093-020, Belém, Pará, Brazil

⁴Instituto Tecnológico Vale. Rua Boaventura da Silva, 955, Nazaré, 66055-090, Belém, Pará, Brazil

^{5,6}Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Avenida Perimetral, 1901, Terra Firme, 66077-830, Belém, Pará, Brazil

⁷Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenação Ciência do Sistema Terrestre. Avenida do Astronautas, 1758, Jardim da Granja, 12227-010, São José dos Campos, São Paulo, Brasil

*Corresponding author. Email: livia.guimaraes@ig.ufpa.br

ABSTRACT

Continental chelonians, especially Amazonian species, are among the groups that most demand research and integrated studies, whether in the systematic or ecological scope, both for their own preservation and associated ecosystems and environmental services continuance. Therefore, the present research aims to analyze levels of climate resilience, for continental species of Brazilian Amazon, through climatic models, with simulations referring to the Representative Concentration Pathways (RCPs) and Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) for ten chelonian species: *Chelus fimbriata* (Schneider, 1783); *Mesoclemmys gibba* (Schweigger, 1812); *Phrynops geoffroanus* (Schweigger, 1812); *Platemys platycephala* (Schneider, 1792); *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812); *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848); *Rhinoclemmys punctularia* (Daudin et al., 1802); *Kinosternon scorpioides* (Linné, 1766); *Chelonoidis carbonaria* (Spix, 1824) and *Chelonoidis denticulata* (Linné, 1766). Coordinates were intercrossed with four environmental variables from Worldclim digital platform. Such procedures were performed in the Rstudio software, through the Biomod2 platform, which enable ensemble models with a set of algorithms, whose mathematics allowed development of rasters with information on the climatic suitability of species. As result, *Podocnemis expansa*, *Podocnemis unifilis* and, above all, *Chelonoidis denticulata*, are considered the most threatened of population reduction, whilst *Phrynops geoffroannus* and *Kinosternon scorpioides* Linneaus 1766 are pointed as less vulnerable to climate change. This parameter tends to be maintained in future circumstances, even with regional human interference.

Keywords: Biomod2, CMIP5, CMIP6, GCMs, Testudines.

INTRODUCTION

With almost twelve families and approximately 349 registered species at the most diverse environments (Rhodin et al., 2019), continental chelonians (whether tortoises or terrapins) are involved in several ecological interactions. In addition to seed dispersers (Moll and Jansen, 1995; Liu et al., 2004), turtles and tortoises also act as important plant consumers, beside feeders of insects, fishes and dead matter, into complex ecological networks which convert chelonians in predators or natural preys (Vogt, 2008).

Other inherent attributes include nutrient cycling, transformation of organic matter in animal protein - inside terrestrial or aquatic environments - and removal of dead organic detritus (Ferrara et al., 2016). Moreover, migratory turtles which travel long distances for feeding, reproduction and nesting certainly enhance transport of crucial substances in biogeochemical cycles_biomass amount produced by chelonian fauna is quite significant, a factor explained by high population densities some taxons achieve_ (Iverson, 1982).

Another point to be raised is the role of turtles in nutrient cycling among aquatic, semi-aquatic and terrestrial environments. Herbivorous chelonians, for example, do not metabolize most part of their bodymass, turning it available as nutrients for potential predators at the most diverse trophic levels. Moreover, chelonians operate in seed dispersal, plant germination, and nutrient transport into soils (Cunha et al., 2020).

Nevertheless, further researchs over chelonian biodiversity, as well as better understand of habitat heterogeneity and taxonomic diversity, are extremely required in

order to avoid all environmental impacts that its lower representativeness might induce (Lovich et al., 2018).

Recent global environmental change has caused geographical range shifts in numerous species (Waterson et al., 2016). The impact of climate is expected to be especially important for terrestrial and freshwater ectotherms, such as amphibians and reptiles, being chelonians included in this group of risk.

One of the most dangerous threats to chelonian fauna lies on its vulnerability to accentuate climatic changes. As ectothermics, many turtles develop into restricted biogeographic distribution and limited dispersive coverage, whose adaptability is usually attributed to specific climates - except for some migratory taxa whose metabolism might be quite similar to endothermy, more intense and consistent with their life cycle - (Davenport, 1997; Hays et al., 2003; Lécuyer et al., 2003; Poloczanska et al., 2010; Fuentes et al., 2011; Lillywhite, 2016; Rees et al., 2016; Lasala et al., 2018; Valenzuela et al., 2019).

In addition, and for some groups, sex determination is strongly linked to dominant temperatures throughout embryonic development (Boyle et al., 2014; Grayson et al., 2014), a process referred by acronym TSD (Temperature Sex Determinant). Increased heat impacts sex ratios of offspring, with a risk of overpopulation of females over males through such atmospheric irregularities (Booth and Astill, 2001; Godley et al., 2002; 2010; Hawkes et al., 2007; Fuller et al., 2013; Fagundes 2015; Sim et al., 2015; Hays et al., 2017; Montero et al., 2018).

Researchs confirm that both embryonic development and sexual determination require restricted temperature ranges (Fuentes et al., 2011; Sim et al., 2015; Refsnider and Janzen, 2016), in eggs whose phenotypic plasticity is highly limited (Deutsch et

al., 2008; Liles et al., 2019), generating population risk and, as consequence, loss of genetic variability owing to changes in climatic parameters.

In an extrinsic sphere, atmospheric conditions directly interfere in action of waves and currents, with changes in nutrient transport, compromising life cycle of several chelonian populations with high fidelity of foraged and/or migration areas (Minagawa, 2017; Griffin et al., 2019). Furthermore, climatic change compromises both rain and flood dynamics, a factor which impacts several chelonian species whose reproductive cycle is synchronized with dry and rainy season (Eisemberg et al., 2016).

For this paper, specific attributes of both last Coupled Model Intercomparison Projects, or CMIP5 and CMIP6, are here used, being represented respectively by RCPs and SSPs pathways, available at WorldClim digital platform, which reproduce possible present and future distribution scenarios of chelonian species into Legal Amazon. Both strands are recurred here as they are the most upgraded, complementary and accepted into scientific community.

MATERIAL AND METHODS

Species occurrences and coordinate data are provided by digital platform Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Only species with more than 20 distinct occurrence points each were selected for modeling. Duplicate coordinates were eliminated, so occurrence data and bioclimatic variables at a spatial resolution of 10 arcs per minute, from WorldClim.org digital platform could be intercrossed.

Climatic variables are accessible for following pathways: RCP 2.6; RCP 4.5; RCP 6.0; RCP 8.5; SSP 1-2.6; SSP 2-4.5; SSP 3-7.0; and SSP 5-8.5. Altogether, 1157

occurrence points were available for projections. Ten taxa counted with sufficient observation sets to model RCPs and SSPs scenarios: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Rhinoclemmys punctulata*; *Kinosternon scorpioides*; *Chelonoidis carbonaria* and *Chelonoidis denticulata*.

Four Global Circulation Models (GCMs) attributed to CMIP5, added by their respective updates of CMIP6, were inserted: a) BCC-CSM1-1 and BCC-CSM2-MR, of Beijing Climate Center; b) IPSL-CM5A-LR and IPSL-CM6A-LR, developed by the Institut Pierre Simon Laplace; c) MIROC5 and MIROC6, initials of *Model for Interdisciplinary Research On Climate*, developed at Climate System Research, University of Tokyo; d) MRI-CGCM3 and MRI-ESM2-0, of Japanese Meteorological Research Institute.

Distribution simulations could be delineated in all available RCPs and SSPs, from 2040 to 2080. Each model was analyzed according its performance in determining species distribution in Indigenous Lands (ILs) and Protected Areas (PAs), compared to total area distribution in km². Pseudoabsence values, equivalent to indicative presences, were inserted in order to avoid possible unbalanced results. Selected bioclimatic variables followed causality criterion. In other words, which variables are most significant for distribution of neotropical turtles (e.g. Ihlow et al., 2012; Rodrigues et al., 2019).

Generated projections were combined with Rstudio software, using Biomod2¹ platform. Statistical procedures were implemented through association, also named

¹ BIOMOD2, also called Biodiversity Modelling, is based on species distribution models that link observed or known presence and absence/pseudoabsence data to environmental variables.

ensemble, of six algorithms: Generalized Additive Model (GAM), Generalized Boosting Models (GBM), Artificial Neural Network (ANN), Maximum Entropy Method (MAXENT), Flexible Discriminant Analysis (FDA) and Surface Range Envelope (SRE). Datasets were splited in two groups: one for training/calibrating models, and the other for testing their prediction capacity, with data distribution of 75% and 25%, respectively.

Results were evaluated throught True Skill Statistic (TSS) technique, which evaluates predictions performances (Tables 1 and 2). Only TSS values ≥ 0.7 were considered satisfactory in accuracy for generating projections and calculations. Besides, in order to select climatic variables with minimal multicollinearity, followed statistical procedures were adopted: Variance Inflation Factors ($VIF < 2$, Tables 3 and 4) and Pearson's Correlation ($|r| \leq 0.5$):

$$VIF_i = 1 / (1 - R_i^2)$$

where:

R_i^2 =Unadjusted coefficient of determination for regressing the i th independent variable on the remaining ones.

$$r = \frac{(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

where:

n = number of samples; x_i , y_i = individual points; $\sum$ = elements summatory. $\bar{x}$: media of x values; $\bar{y}$: media of y values

As a validation strategy for these projections, VIF must support considerably reduced levels to avoid multicollinearity between environmental variables. In general,

scientific literature suggests values lower than 10. However, as all VIFs in the present work were approximated to lower than 2, good reliability could be assured to the data. In summary, the most representative bioclimatic variables amongst part of amazonian continental species (that is, with at least 20 distinct occurrence points) were selected as part of projections establishment (Tables 3 and 4).

RESULTS

In total, 1157 occurrence points were found to allow the projections of ten species, which counted with a sufficient set of observations for modelling RCPs and SSPs scenarios: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Phrynops geoffroanus*; *Rhinoclemmys punctularia*; *Kinosternon scorpioides*; *Chelonoidis carbonaria* and *Chelonoidis denticulata*.

For species *Chelonoidis carbonaria* (“Red-footed tortoise” in popular language), projections indicate reduced impacts in the climate suitability of studied areas (Fig. 1), except for RCP 6.0 of year until 2070, with about -12% of potential territorial loss distribution (Table S1).

Regarding species *Chelonoidis denticulata* (“Yellow-footed tortoise” in popular language), there is also drastic reduction in areas where extreme greenhouse emissions and absence of conservation dimensions predominates (Fig.1), with more than 90% in distribution loss at SSP5-8.5 extreme scenario, and approximately -80% of loss for SSP3-7.0, both between years 2060 and 2080.

Pronounced suitability losses were identified in RCP 6.0 for *Chelus fimbriata* (“Amazonian mata-mata” in popular language), with an expected drop of approximately -7.37% and -21%, by 2050 and 2070, respectively. Nevertheless, SSPs show relatively better favorable climatic conditions, with 19% of enhance distribution for SSP 3-7.0, between 2061 and 2080. Other SSPs demonstrate positive, but more reduced, distribution pattern.

Species *Kinosternon scorpioides* (also called „muçuã“ in popular language) demonstrates a significative distribution in all predicted scenarious, especially in RCP 4.5, of about 79%. An exception was observed for SSP 3-7.0, from 2041 until 2060, whose distribution suitability decreases brusccally to -2.49% (Table S1).

All predictions of *Mesoclemmys gibba* (“Gibba turtle” in popular language) demonstrate negative spatial distribution values, despite 23% increase at SSP3-7.0 scenario, between 2041 and 2060 (see Table S1). Worst distribution pattern is observed at SSP 5-8.5, with suitable area reduction of -30.16%, between 2061 and 2080.

Climate suitability values for RCPs in another chelid amazonian representative, *Phrynops geoffroannus* (“Geoffroy’s Side-necked Turtle” in popular language), are suposed to be better accentuate. The SSP distributions for the last species vary less than 1%, whilst RCPs involve an increase in potential spatial extent of 40% to approximately 85%, according to pathways 6.0 and 4.5, respectively, until year 2070.

Platemys platycephala (“Twist-necked Turtle” in popular language) and *Podocnemis expansa* (“Giant Amazon River Turtle” in popular language) demonstrate negative distributive bias, with losses that confirm lower potential distribution in the

future, except for SSP3-7.0 (2041-2060) in *P. expansa*, with possible territorial expansion of approximately 24%, under lower climatic changes. Therefore, it is observed both in *Pl. platycephala* and in *P. expansa* biggest territorial losses at SSP5-8.5, represented by potential negative distribution of approximately -36 and -37%, respectively.

Regarding species *Podocnemis unifilis* (“Yellow-spotted River Turtle” in popular language), future projections are not optimistic. Territorial loss reaches -38.53% in RCP 8.5, until 2070, and -22.56% in SSP 5-8.5, between 2061-2080 interval. Such negative suitability values were recognized in *Podocnemis unifilis* which, like other species previously described, presents dispersive and metabolic activities severely affected by climatic instability, implying in greatest spatial loss without atmospheric emissions containment.

On the other hand, predicted scenarios for *Rhinoclemmys punctularia* (“Spot-legged Turtle” in popular language) are relatively positive, slightly above zero. Most prominent distribution has a percentage of 11.94% for SSP 3-7.0 (2060-2080), and spatial loss of -17.30% for RCP 6.0 (2070).

Considering ensemble scenarios, a negative trend is verified in several trajectories, except at SSP1-2.6 (2041 to 2080) and RCP 4.5 (2050), whose expansion still carries a smooth positive inclination, an insignificant value that may set up an unstable future landscape. In a worst situation, it is observed a loss of -14.12% of suitable area under conditions established of SSP 5-8.5 at 2061 until 2080, and -16.27% for RCP 8.5 at 2070. (Table S1; Fig.2 and Fig.3).

The CMIP5 GCMs demonstrate altogether better distribution both at Indigenous Lands and Protected Areas, when compared to CMIP6 models - the most

recent trajectories-, for species *Mesoclemmys gibba*, *Platemys plathycephala*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*. Species *Chelonoidis carbonaria*, *Chelus fimbriata*, *Kinosternon scorpioides*, *Phrynops geoffroanus*, and *Rhinoclemmys punctularia*, which were pointed as the less threatened at present research, are more successful in the studied areas if we consider CMIP6 routes (Fig.4). For species *Chelonoidis denticulata*, if we consider Indigenous Lands, there is a slightly better distribution in CMIP5 pathways, whilst in Protected Areas, such situation inverts to a better representation at CMIP6 GCMs.

As previously mentioned, four pairs of GCMs were used in the projections. Each CMIP5 representative GCM is followed by its correspondent CMIP6 (Tables S.2 and S.3). With exception of MRI-ESM2-0, attributed to CMIP6 of both Indigenous Lands and Protected Areas, all other GCMs display the lowest suitability levels under SSP5-8.5, considering 2061-2080 time interval, followed by SSP3-7.0 (Figure S1 and S2). The chelonian distribution values for MRI-ESM2-0 show the lowest representation in it was supposed to be one of the best future scenarios, SSP1-2.6, with low emissions of CO₂ or better environmental and social initiatives. This might indicate some kind of failure in using MRI-ESM2-0 for predictions of potential distribution of amazonian chelonians.

Regarding RCPs, geographic range per pathway are less concentrated. RCP2.6 allows an expressive faunistic expansion, considering the GCMs BCC-CSM1-1 and IPSL-CM5A-LR, both in PAs and ILs. Climate models MIROC5 and MRI-CGCM3 also stand out for faunal preservation, with emphasis on intermediate scenarios RCP4.5 and RCP6.0. Worst projections corresponded to RCP8.5, considering both 2050 and 2070 decades (Figure S3 and S4).

DISCUSSION

Climatic conditions are among the main factors that limit metabolic processes on turtles. So far, it can be verified plenty of species adjusting their own development cycle according rainfall seasonality, as well as atmospheric and/or water temperature patterns (Souza, 2004). Moreover, when there are restrictions on adaptability and/or ability to migrate or disperse, vulnerability degree increases considerably.

Except for migratory aquatic species, continental turtles rarely travel long distances, due to their predominantly ectothermic metabolism, which reduces organism autonomy in controlling body temperature, enhancing dependence on climatic conditions of surrounding area (Pritchard and Trebbau, 1984; Fagundes et al., 2018; Lovich et al., 2018).

Importance values inherent to bioclimatic variables BIO16 and BIO8 - precipitation and temperature during the wetter quarters, respectively - in the distribution and behavior of the chelonian fauna may be related to increased availability of food resources along rainy seasons, with a predominance of more favorable climatic conditions for foraging and other activities.

Furthermore, the beginning of rainy seasons coincides with hatching of eggs deposited by aquatic and semi-aquatic species, facilitating offspring locomotion through permanent or temporary water bodies (Fachín-Terán et al., 2008; Ferrara et al., 2017). Regarding occupation of protected areas by total distribution, *Phrynops geoffroannus* is the most successful for CMIP6, presenting, however, the lowest representation among species according CMIP5, specially at RCP 6.0. Such results

might reflect both scarcity of studies over the group and its wide, but still debated, geographic distribution into South American Continent (Rhodin, 2021).

Quarterly variation of temperature and precipitation exert a strong influence on reproductive/migratory behavior of several species. Variable BIO17 – temperature during the driest quarter – attributes are strongly associated with nesting behaviors, embryonic development and embryo sex determination (Vogt and Bull, 1984; Vogt, 2008; Eiseberg et al., 2016).

Most chelonian species spawn over dry seasons, when low river levels allow access for beach outcrops, as well as other substrates, suitable for nest development (Alho and Pádua, 1982; Ferrara et al., 2017). It is also during this interval when estivation behavior takes place. Several turtles reduce metabolic activities until the return of rains and floods (Vogt, 2008).

Species *Podocnemis expansa*, *Podocnemis unifilis*, *Chelonoidis carbonaria* and *Chelonoidis denticulata* are listed as *vulnerable* and most needy of conservation measures, according reports of the International Union for Conservation of Nature, or IUCN (Rhodin et al., 2019). At the same time, and with the exception of *Ch. carbonaria*, areas with acceptable levels of climate suitability are increasingly reduced under extreme scenarios, confirming the importance of politics that aim preservation of their climatic niches. In contrast, species *Chelus fimbriata*, *Phrynops geoffroannus* and *Kinosternon scorpioides* are assigned with low vulnerability status and less concern regarding conservation policy (Ferrara et al., 2016; Rhodin et al., 2019).

While SSP results confirm an insignificant change for distribution of the last three species, RCP scenarios demonstrate instability in maintaining suitable conditions for their permanence, especially in Western and Central Amazonia. An

explanation for such undifferentiated distribution at SSPs may be associated with wide recent geographic occurrence and, consequently, high adaptability potential of the group. *Chelus fimbriata* and *Phrynops geoffroannus* are widely distributed in northern South America (Pritchard and Trebbau, 1984; Ferreira Júnior et al., 2011; Friol, 2014; Lasso et al., 2018), whilst *Kinosternon scorpioides* are reported from Mexico, extending through Central till South America (Pritchard and Trebbau, 1984; Cáceres-Martínez et al., 2017; Rhodin et al., 2019).

Another aspect to be highlighted is the need of further studies about distribution, ecology and classification of some turtles, especially representatives of family Chelidae (Friol, 2014). Despite its wide distribution in aquatic environments, including urban areas (Souza and Abe, 2000; Martins et al., 2010), *Phrynops geoffroannus* raises a series of taxonomic doubts regarding possible subspecies or cryptic species within the group, so an alternative classification named *geoffroanus complex* was already raised (Rhodin and Mittermeier, 1983; Vogt, 2008; Ferreira Júnior et al., 2011). This must explain at least part of incongruences in potential distribution of *Ph. geoffroanus* which, as can be observed in Supplementary Material, does not follow similar trends if we consider all studied pathways.

Some inferences here proposed partially contradict Fagundes et al. (2018), whose projections are orientated to current interval, at different categories of protected areas. According their assertions, *K. scorpioides*, *Ph. geoffroannus*, *R. punctularia* and *P. unifilis* represent the species which carry high vulnerability potential, due to intense deforestation. This can be attested for *P. unifilis* in the present study, but not for the other three remained taxa.

Species *R. punctularia*, *Ch. carbonaria* and *Chelus fimbriata* attested a positive distribution pattern, slightly above zero, that is, with few risks of elevated distribution loss. *Ch. carbonaria* is listed as a vulnerable species by IUCN, while *R. punctularia* and *C. fimbriata* are considered to have a low potential for extinction risk, corroborating with previous researchs (Fagundes et al., 2018).

Species *Mesoclemmys gibba* and *Platemys plathycephala* are also considered as out of the endangered species list (Rhodin et al., 2019), which contradicts results of present study. For the first species, all scenarios are negative, with biggest distribution loss prediction of -35.16% for RCP 8.5 until year 2070, and -30.16% for SSP 5-8.5 between 2061 and 2080. *Platemys plathycephala* is expected to reduce its distribution in -29.59% for RCP 8.5 until year 2070, and -36.41% for SSP 5-8.5 along 2061 and 2080.

Fluctuating values of territorial suitability recorded at intermediate levels of climatic variations, combined with the lack of ecological and systematic studies (Souza, 2004; Böhm, 2013; Friol, 2014; Ferrara et al., 2017), point to the necessity for updated surveys that corroborate to the understanding of chelonian's distribution, as well as ecosystemic services performed in their habitats, in favor of possible and assertive conservation procedures, if necessary. Gradually reduced levels of suitability due to extreme climatic variations become one more aggravating factor for the insurgency of less optimistic future predictions.

Friol (2014) emphasizes that, as in *Phrynops*, there is a lack of studies on the specific richness of *Mesoclemmys*, which corroborates to greater unpredictability of possible levels of climatic resilience. Similar assertions can be attributed to the semi-aquatic species *Rhinoclemmys punctularia*, whose occurrence so far recorded in

literature is concentrated at eastern Amazon River basin and Guianas shield (de la Fuente et al., 2014), despite projections of the present work indicate a wider potential distribution, from coastal areas to the Eastern Amazon.

As most taxa in this paper, its IUCN status appears as non-threatened (Rhodin et al., 2014). However, reduced climatic suitability values for extreme scenarios, together with detached information scarcity over distribution and ecology of the species, reiterate necessity of more researches that contribute to a better comprehension of pertinent behaviour parameters.

CONCLUSION

Altogether, ten Amazonian chelonian species were able for inference of their future distribution predictions, under different climatic scenarios. Eight GCMs - 4 from CMIP5 and 4 from CMIP6 - were selected. Although they share certain similarities in theoretical and practical spheres, particularities in map projections for the same species and period were identified between the coupled models. It is here suggested politics to preserve chelonian species, especially *Chelonoidis denticulata*, *Platemys plathycephala*, *Mesoclemmys gibba*; *Podocnemis expansa*, and *Podocnemis unifilis*. While *Ch. denticulata*, *P. expansa* and *P. unifilis* are listed as threatened on the IUCN platform, the conservation status of the other taxa need to be updated. Therefore, and as previously discussed, integrated systematic and ecological studies will contribute to filling such knowledge gaps. Finally, among all the analyzed species, future projections proposed for *Chelonoidis denticulata* suggest a reduction of its representativeness in the Legal Amazon by approximately 91%, until 2080. An

event that could imply in catastrophic effects, depending on the associated systematic, evolutionary and ecological attributes assigned to species.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank to Instituto de Geociências of Universidade Federal do Pará (UFPA), Departamento de Ciências da Terra e Ecologia of Museu Paraense Emílio Goeldi for the infrastructure available. We thank to CEQUA, from Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPA), as well as FAPESPA/Pará-Brazil, for providing funding support to this research.

REFERENCES

- Alho, C.J.R., Pádua, L.F.M. 1982. “Sincronia Entre o Regime de Vazante Do Rio e o Comportamento de nidificação da Tartaruga da Amazônia *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae).” *Acta Amazonica* 12 (2): 323–26.
<https://doi.org/10.1590/1809-43921982122323>.
- Böhm, S. 2013. “Notes on short-term movements and dietary spectrum of the Twist-Necked Turtle, *Platemys platycephala* (Testudines: Chelidae) in the Nouragues Reserve, French Guyana.” *Chelonian Conservation and Biology* 12 (1): 112–18.
<https://doi.org/10.2744/CCB-0905.1>.
- Booth, D.T., Astill, K. 2001. “Temperature Variation within and between Nests of the Green Sea Turtle, *Chelonia mydas* (Chelonia: Cheloniidae) on Heron Island, Great Barrier Reef.” *Australian Journal of Zoology* 49 (1): 71–84. <https://doi.org/10.1071/ZO00059>.
- Boyle, M., Hone, J., Schwanz, L.E., Georges, A. 2014. “Under what conditions do climate-

- driven sex ratios enhance versus diminish population persistence?” *Ecology and Evolution* 4 (23): 4522–33. <https://doi.org/10.1002/ece3.1316>.
- Cáceres-Martínez, C. H., Rincón, A.A., Leal, J.A.S., Maya, J.F.G. 2017. “*Kinosternon scorpioides scorpioides* (Testudines: Kinosternidae): Nuevo Reporte En El Nororiente de Colombia.” *Acta Biológica Colombiana* 22 (2).
<https://doi.org/10.15446/abc.v22n2.59804>.
- Cunha, F. R., Bernhard, R., Vogt, R.C. 2020. “Diet of an assemblage of four species of turtles (*Podocnemis*) in the Rio Uatumã, Amazonas, Brazil.” *Copeia* 108 (1): 103.
<https://doi.org/10.1643/CE-18-117>.
- Daudin, F. M., Buffon, G. L. L., Sonnini, C. S., Daudin, A., de Sève, J.E. 1802. Histoire Naturelle, Générale et Particulière, Des Reptiles : Ouvrage Faisant Suite à l’Histoire Naturelle Générale et Particulière, Composée Par Leclerc de Buffon, et Rédigée Par C.S. Sonnini. De l’Imprimerie de F. Dufart. Paris <https://doi.org/10.5962/bhl.title.60678>.
- Davenport, J. 1997. “Temperature and the Life-History Strategies of Sea Turtles.” *Journal of Thermal Biology* 22 (6): 479–88. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(97\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(97)00066-1).
- Deutsch, C. A., Tewksbury J., Huey, R. B., Sheldon, K., Ghalambor, C., Haak, D., Martin, P. 2008. “Impacts of Climate warming on terrestrial ectotherms across latitude.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (18): 6668–72. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>.
- Eisemberg, C. C., Balestra, R.A.M., Famelli, S., Pereira, F.F., Bernardes, V.C.D., Vogt, R.C. 2016. “Vulnerability of Giant South American Turtle (*Podocnemis expansa*) Nesting Habitat to Climate Change Induced Alterations to Fluvial Cycles.” *Tropical Conservation Science* 9 (4): 194008291666713.

<https://doi.org/10.1177/1940082916667139>.

- Fachín-Terán, A., Vogt, R.C., Thorbjarnarson, J.B. 2008. “Seasonal movements of *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae) in the Mamirauá Sustainable Development Reserve, Amazonas, Brazil.” *Chelonian Conservation and Biology* 5 (1): 18. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2006\)5\[18:smopst\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2006)5[18:smopst]2.0.co;2).
- Fagundes, C. K. 2015. “Estratégias e Áreas Prioritárias à Conservação de Quelônios Aquáticos e Semi-Aquáticos na Amazônia.” PhD Dissertation. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus.
- Fagundes, C. K., Vogt, R.C., Souza, R.A., Marco, P. 2018. “Vulnerability of Turtles to Deforestation in the Brazilian Amazon: Indicating Priority Areas for Conservation.” *Biological Conservation* 226. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.009>.
- Ferrara, C. R., Bernardes, V.C.D., Waldez, F., Vogt, R.C., Bernhard, R., Balestra, R.A.M., Campos, J.V.. 2016. “História Natural e Biologia dos Quelônios Amazônicos.” Pp. 15–28, in Balestra, R.A.M.(ed). Manejo Conservacionista e Monitoramento Populacional de Quelônios Amazônicos. Ministério do Meio Ambiente/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- Ferrara, C.R., Fagundes, C.K., Morcatty, T., Vogt, R.C. 2017. Quelônios Amazônicos: Guia de Identificação e Distribuição. Wildlife Conservation Society - Brasil Projeto. Manaus
- Ferreira Júnior, P. D., Balestra, R.A.M., Moreira, J.M., Freitas, F.O., Lustosa, A.P.G., Jorge, R.F., Rosa, A.J. de M., Sampaio, A.A., Gomes, A.S. 2011. “Nesting of *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae) on sandy beaches along the Upper Xingu River, Brazil.” *Zoologia (Curitiba)* 28 (5): 571–76. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000500004>.

- Friol, N. 2014. *Filogenia e Evolução das espécies do gênero Phrynops (Testudines, Chelidae)*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Fuentes, M.P.B., Limpus, C. J., Hamann, M. 2011. “Vulnerability of Sea turtle nesting grounds to climate change.” *Global Change Biology* 17 (1): 140–53.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02192.x>.
- Fuller, W.J., Godley, B.J., Hodgson, D.J., Reece, S.E., Witt, E.J., Broderick, A.C. 2013. “Importance of spatio-temporal data for predicting the effects of climate change on marine turtle sex ratios.” *Marine Ecology Progress Series* 488: 267–74.
<https://doi.org/10.3354/meps10419>.
- Godley, B. J., Broderick, A. C., Frauenstein, R., Glen, F., Hays, G.C. 2002. “Reproductive Seasonality and Sexual Dimorphism in Green Turtles.” *Marine Ecology Progress Series* 226: 125–33. <https://doi.org/10.3354/meps226125>.
- Godley, B. J., Barbosa, C., Bruford, M., Broderick, A.C., Catry, P., Coyne, M.S Witt, M.J. 2010. “Unravelling migratory connectivity in marine turtles using multiple methods.” *Journal of Applied Ecology* 47 (4): 769–78. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01817.x>.
- Grayson, K. L., Mitchell, N. J., Monks, J. M., Keall, S.N., Wilson, J.N., Nelson, N.J. 2014. “Sex ratio bias and extinction risk in an isolated population of Tuatara (*Sphenodon punctatus*).” *PLoS ONE* 9 (4): e94214 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094214>.
- Griffin, L. P., Griffin, C.R., Finn, J. T., Prescott, R.L., Faherty, M., Still, B. M., Danylchuk, A. J. 2019. “Warming seas increase cold-stunning events for Kemp’s Ridley sea turtles in the Northwest Atlantic.” *PLoS ONE* 14 (1): 1–15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211503>.

- Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., Godley, B. J. 2007. “Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population.” *Global Change Biology* 13 (5): 923–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01320.x>.
- Hays, G.C., Broderick, A.C., G., Fiona, Godley, B.J. 2003. “Climate Change and Sea Turtles: A 150-Year reconstruction of incubation temperatures at a major marine turtle rookery.” *Global Change Biology* 9 (4): 642–46. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00606.x>.
- Hays, G.C., Mazaris, A.D., Schofield, G., Laloë, J.O. 2017. “Population viability at extreme sex-ratio skews produced by temperature dependent sex determination.” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284 (1848): 1–7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2576>.
- Ihlow, F., Dambach, J., Engler, J.O., Flecks, M., Hartmann, T., Nekum, S., ..., Rödder, D. 2012. “On the brink of extinction? how climate change may affect global chelonian species richness and distribution.” *Global Change Biology* 18 (5): 1520–30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02623.x>.
- Iverson, J.B. 1982. “Biomass in turtle populations: a neglected subject.” *Oecologia* 55 (1): 69–76. <https://doi.org/10.1007/BF00386720>.
- la Fuente, M.S. de, Sterli, J., Maniel, I. 2014. “Aquatic Cryptodiran Turtles: The Most Recent Island Hoppers.”, in *Origin, Evolution and Biogeographic History of South American Turtles*, Pp. 7–34. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00518-8_2.
- Lasala, J.A., Hughes, C.R., Wyneken, J. 2018. “Breeding Sex Ratio and Population Size of Loggerhead Turtles from Southwestern Florida.” *PLoS ONE* 13 (1): 1–12.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191615>.

Lasso, C.A., Trujillo, F., Morales-Betancourt, M. A., Amaya, L., Caballero, S., Castañeda, B.

2018. “Conservación y Tráfico de La Tortuga Mata-mata, *Chelus fimbriata* (Schneider, 1783) En Colombia: Un Ejemplo Del Trabajo Conjunto Entre El Sistema Nacional Ambiental, ONG y Academia.” *Biota Colombiana* 19 (1): 147–59.

<https://doi.org/10.21068/c2018.v19n01a10>.

Lécuyer, C., Bogey, C., Garcia, J., Grandjean, P., Barrat, J., Floquet, M.....Superbiola, X.P.

2003. “Stable Isotope Composition and Rare Earth Element Content of Vertebrate Remains from the Late Cretaceous of Northern Spain (Laño): Did the Environmental Record Survive ?” *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 193(3):457-471.

[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00261-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00261-X).

Liles, M.J., Peterson, T.R., Seminoff, J.A., Gaos, A.R., Altamirano, E., Henríquez, A.V.,

Gadea, V... Peterson, M.J. 2019. “Potential Limitations of Behavioral Plasticity and the Role of Egg Relocation in Climate Change Mitigation for a Thermally Sensitive Endangered Species.” *Ecology and Evolution* 9 (4): 1603–22.

<https://doi.org/10.1002/ece3.4774>.

Lillywhite, H. 2016. “Behavior and Physiology: An Ecological and Evolutionary Viewpoint on the Energy Andwater Relations of Ectothermic Amphibians and Reptiles.” Pp. 1–39 in *Amphibian and Reptile Adaptations to the Environment*, CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/b20420-2>.

Linné, C.von. 1766. *Systema Naturæ per Regna Tria Naturæ, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, Cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis. Tomus I. Editio Duodecima, Reformata*. Holmiae : L. Salvii,. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.68927>.

- Liu, H., Platt, S.G., Borg, C.K.. 2004. "Seed dispersal by the Florida Box Turtle (*Terrapene carolina bauri*) in Pine Rockland forests of the Lower Florida Keys, United States." *Oecologia* 138 (4): 539–46. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1445-7>.
- Lovich, J. E, Ennen, J.R., Agha, M., Gibbons, J.W. 2018. "Where have all the turtles gone, and why does it matter?" *BioScience* 68 (10): 771–81. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy095>.
- Martins, F. I., Souza F.L., da Costa, H.T.M.. 2010. "Feeding habits of *Phrynops geoffroanus* (Chelidae) in an Urban River in Central Brazil." *Chelonian Conservation and Biology* 9 (2): 294–97. <https://doi.org/10.2744/CCB-0809.1>.
- Minagawa, M. 2017. "Perspective Review of Dietary Analysis Based on Carbon and Nitrogen Stable Isotopes." *Radioisotopes* 66 (9): 355–66. <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.66.355>.
- Moll, D., Jansen, K.P. 1995. "Evidence for a Role in Seed Dispersal by Two Tropical Herbivorous Turtles." *Biotropica* 27 (1): 121. <https://doi.org/10.2307/2388909>.
- Montero, N., Dei Marcovaldi, M.A.G., Lopez-Mendilaharsu, M., Santos, A.D., Santos, A.J.B., Fuentes, M.M.P.B.. 2018. "Warmer and Wetter Conditions Will Reduce Offspring Production of Hawksbill Turtles in Brazil under Climate Change." *PloS One* 13 (11): e0204188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204188>.
- Poloczanska, E.S., Limpus, C.J., Hays, G.C. 2010. *Vulnerability of Marine Turtles to Climate Change. Advances in Marine Biology*. 1st ed. Vol. 56. Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(09\)56002-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(09)56002-6).
- Pritchard, P. C. H., Trebbau, P. 1984. *The Turtles of Venezuela Contributions to Herpetology*. Ann Arbor, Michigan: Society for the Study of Amphibians and Reptiles.

- Rees, A.F., Barata, P.C.R., Bjorndal, K.A., Bolten, A. B., Bourjea, J., Broderick, A.C., Campbell, L.M.....Godley.B. J. 2016. “Are We Working towards Global Research Priorities for Management and Conservation of Sea Turtles?” 31: 337–82.
<https://doi.org/10.3354/esr00801>.
- Refsnider, J.M., Janzen, F. J. 2016. “Temperature-Dependent Sex Determination under Rapid Anthropogenic Environmental Change: Evolution at a Turtle’s Pace?” *Journal of Heredity* 107 (1): 61–70. <https://doi.org/10.1093/jhered/esv053>.
- Rhodin, A.G.J., Mittermeier, R.A. 1983. Description of *Phrynops williamsi*, a New Species of Chelid Turtle of the South American *P. geoffroanus* Complex. Pp. 58–73, in Rhodin, A.G.J., Miyata, K. (Eds.). *Advances in Herpetology and Evolutionary Biology. Essays in Honor of E.E. Williams*. Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Rhodin, A.G.J. 2021. *Turtles of the World: Annotated Checklist and Atlas of Taxonomy, Synonymy, Distribution, and Conservation Status (9th Ed.)*. Vol. 8. Chelonian Research Monographs. Chelonian Research Foundation and Turtle Conservancy.
<https://doi.org/10.3854/crm.8.checklist.atlas.v9.2021>.
- Rhodin, A.G.J., Stanford, C.B., Dijk, P.P.V., Eisemberg, C., Luiselli, L., Mittermeier, R.A., Hudson, R. ... Vogt, R. 2019. “Global Conservation Status of Turtles and Tortoises (Order Testudines).” *Chelonian Conservation and Biology* 17 (2): 135.
<https://doi.org/10.2744/ccb-1348.1>.
- Rodrigues, J. F. M., Villalobos, F., Iverson, J.B., Diniz-Filho, J.A.F. 2019. “Climatic Niche Evolution in turtles is characterized by Phylogenetic Conservatism for both aquatic and terrestrial species.” *Journal of Evolutionary Biology* 32 (1): 66–75.
<https://doi.org/10.1111/jeb.13395>.

- Schneider, J.G. 1783. *Allgemeine Naturgeschichte Der Schildkröten, Nebst Einem Systematischen Verzeichnisse Der Einzelnen Arten*. Leipzig: Müller.
- Schneider, J. G. 1792. “Beschreibung Und Abbildung Einer Neuen Art von Wasserschildkröte Nebst Bestimmungen Einiger Bisher Wenig Bekannten Fremden Arten.” *Schriften Der Gesellschaft Naturforschender Freunde Zu Berlin*, no. 10: 259–284.
- Schweigger, A.F. 1812. “Prodromus Monographia Cheloniorum Auctore Schweigger. Königsberg.” *Arch. Naturwiss. Mathem*, no. 1: 271–368, 406–58.
- Sim, E. L., Booth, D. T., Limpus, C. J. 2015. “Incubation Temperature, Morphology and Performance in Loggerhead (*Caretta caretta*) Turtle Hatchlings from Mon Repos, Queensland, Australia.” *Biology Open* 4 (6): 685–92.
<https://doi.org/10.1242/bio.20148995>.
- Souza, F. L. 2004. “Uma revisão sobre padrões de atividade, reprodução e alimentação de Cágados Brasileiros (Testudines, Chelidae).” *Phyllomedusa: Journal of Herpetology* 3 (1): 15. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v3i1p15-27>.
- Souza, F. L., Abe, A.S. 2000. “Feeding Ecology, Density and Biomass of the Freshwater Turtle, *Phrynops geoffroanus*, Inhabiting a Polluted Urban River in South-Eastern Brazil.” *Journal of Zoology* 252 (4): 437–46. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb01226.x>.
- Spix, J. B. von. 1824. *Animalia Nova, Species Novae Testudinum et Ranarum Quas in Itinere per Brasiliam Annis 1817-1820 Collegit et Descripsit.*: Hübschmann. München.
- Troschel, F. H. 1848. “Amphibien.”, in M.R. Schomburgk. *Reisen in Britisch-Guiana in Den Jahren 1840-44. Im Auftrage Sr. Majestät Des Königs von Preussen Ausgeführt. Theil 3.*

Versuch Einer Zusammenstellung Der Fauna Und Flora von British-Guiana, 645–61.

Leipzig.

Valenzuela, N., Literman, R., Neuwald, J. L., Mizoguchi, B., Iverson, J. B., Riley, J. L., Litzgus, J.D.. 2019. “Extreme Thermal Fluctuations from Climate Change Unexpectedly Accelerate Demographic Collapse of Vertebrates with Temperature-Dependent Sex Determination.” *Scientific Reports* 9 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40597-4>.

Vogt, R. C., Bull, J. J. 1984. “Ecology of Hatchling Sex Ratio in Map Turtles.” *Ecology* 65 (2): 582–87. <https://doi.org/10.2307/1941420>.

Vogt, R. C. 2008. *Tartarugas Da Amazônia*. 1st ed. Lima, Peru: Gráfica Biblos.

Waterson, A.M., Schmidt, D.N., Valdes, P.J., Holroyd, P. A., Nicholson, D.B., Farnsworth A., Barrett, P.M. 2016. “Modelling the Climatic Niche of Turtles: A Deep-Time Perspective.” *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283 (1839). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1408>.

Table 1 - True Skill Statistic values (TSS) recorded for CMIP5 projections

SAMPLES (NUMBER OF OBSERVATIONS)	SPECIES	ENVIRONMENTAL VARIABLE				TSS	STANDARD DEVIATION
		BIO2	BIO16	BIO8	BIO17		
255	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	0.221052	0.289781	0.477438	0.080219	0,842109375	0,088942616453514
223	<i>Chelonoidis denticulatus</i>	0.085115	0.419115	0.225354	0.15451	0,8463281249	0,08868983332201
52	<i>Chelus fimbriata</i>	0.128552	0.589104	0.280969	0.116521	0,8016302083	0,15113470890074
298	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.109615	0.305344	0.522667	0.097771	0,8162239583	0,111461715301564
49	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.171146	0.368885	0.290813	0.291042	0,846109375	0,131079303423518
86	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.152448	0.372	0.542885	0.124948	0,772375	0,159400759390415
93	<i>Platemys platycephala</i>	0.106385	0.49274	0.220208	0.270021	0,8455416	0,136963855565033
28	<i>Podocnemis expansa</i>	0.179292	0.585354	0.235323	0.207646	0,8581614583	0,171192246649915
76	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.109333	0.740635	0.189802	0.1675	0,797890625	0,151233163194681
48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.296	0.297563	0.291583	0.241635	0,85396875	0,121273776478085

Table 2 - True Skill Statistic values (TSS) recorded for CMIP6 projections

SAMPLES (NUMBER OF OBSERVATIONS)	SPECIES	ENVIRONMENTAL VARIABLE				TSS	STANDARD DEVIATION
		BIO2	BIO16	BIO8	BIO17		
255	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	0.16739583	0.2881875	0.489802083	0.072	0,8340781249	0,09674844
223	<i>Chelonoidis denticulatus</i>	0.128552083	0.3335833	0.22478125	0.127927083	0,8519114583	0,091201448
52	<i>Chelus fimbriata</i>	0.103688	0.602073	0.293615	0.11375	0,828510416	0,1473685762
298	<i>Kinosternon scorpioides</i>	0.089823	0.490979	0.427729	0.097135	0,8048697916	0,11725333348
49	<i>Mesoclemmys gibba</i>	0.160885	0.437135	0.231438	0.292323	0,822135416	0,1489840372
86	<i>Phrynops geoffroanus</i>	0.144604	0.523698	0.156094	0.395729	0,763260416	0,1548009865
93	<i>Platemys platycephala</i>	0.154896	0.364385	0.279792	0.219875	0,8541927083	0,132261637
28	<i>Podocnemis expansa</i>	0.137385	0.478198	0.298698	0.318094	0,8214947916	0,179572791
76	<i>Podocnemis unifilis</i>	0.136552	0.633156	0.164031	0.186146	0,790552083	0,1457435436
48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0.278875	0.397771	0.272854	0.226448	0,8405885416	0,1277520195

Table 3 - Variance Inflation Factor (VIF) per environmental variable for CMIP5

SPECIES	ENVIRONMENTAL VARIABLES						
	BIO2	BIO8	BIO9	BIO10	BIO15	BIO16	BIO17
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	1.179328	1.017903	-	-	1.076965	1.123161	-
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	1.284707	1.181016	-	-	-	1.251770	1.339981
<i>Chelus fimbriata</i>	1.313421	-	1.124051	-	-	1.104169	1.310960
<i>Kinosternon scorpioides</i>	-	1.000627	-	-	1.041877	1.041356	-
<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.175430	1.102916	-	-	-	1.236583	1.123691
<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.312730	1.035452	-	-	1.447276	1.155487	-
<i>Platemys platycephala</i>	1.156989	1.224462	-	-	-	1.311680	1.167108
<i>Podocnemis expansa</i>	1.017902	1.005840	-	-	-	1.012164	-
<i>Podocnemis unifilis</i>	1.102189	1.196518	-	-	1.092987	1.144764	-
<i>Rhynoclemmys punctulata</i>	2.000326	-	-	1.521871	1.473544	1.355694	-

Table 4 - Variance Inflation Factor (VIF) per environmental variable for CMIP6

SPECIES	ENVIRONMENTAL VARIABLES						
	BIO2	BIO8	BIO9	BIO10	BIO15	BIO16	BIO17
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	1.214976	1.012035	-	-	1.135349	1.086495	-
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	1.247271	1.143853	-	-	-	1.234173	1.289914
<i>Chelus fimbriata</i>	1.571470	-	1.264605	-	-	-	1.282043
<i>Kinosternon scorpioides</i>	-	1.033014	-	-	1.094659	1.104469	-
<i>Mesoclemmys gibba</i>	1.247670	1.120148	-	-	-	1.347352	1.127510
<i>Phrynops geoffroanus</i>	1.080459	1.028300	-	-	-	1.107804	-
<i>Platemys platycephala</i>	1.155025	1.184406	-	-	-	1.327392	1.257843
<i>Podocnemis expansa</i>	1.054723	-	1.055367	-	-	-	1.005589
<i>Podocnemis unifilis</i>	1.142390	1.018332	-	-	-	-	1.130473
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	1.168770	-	-	1.250225	1.114749	1.140657	-

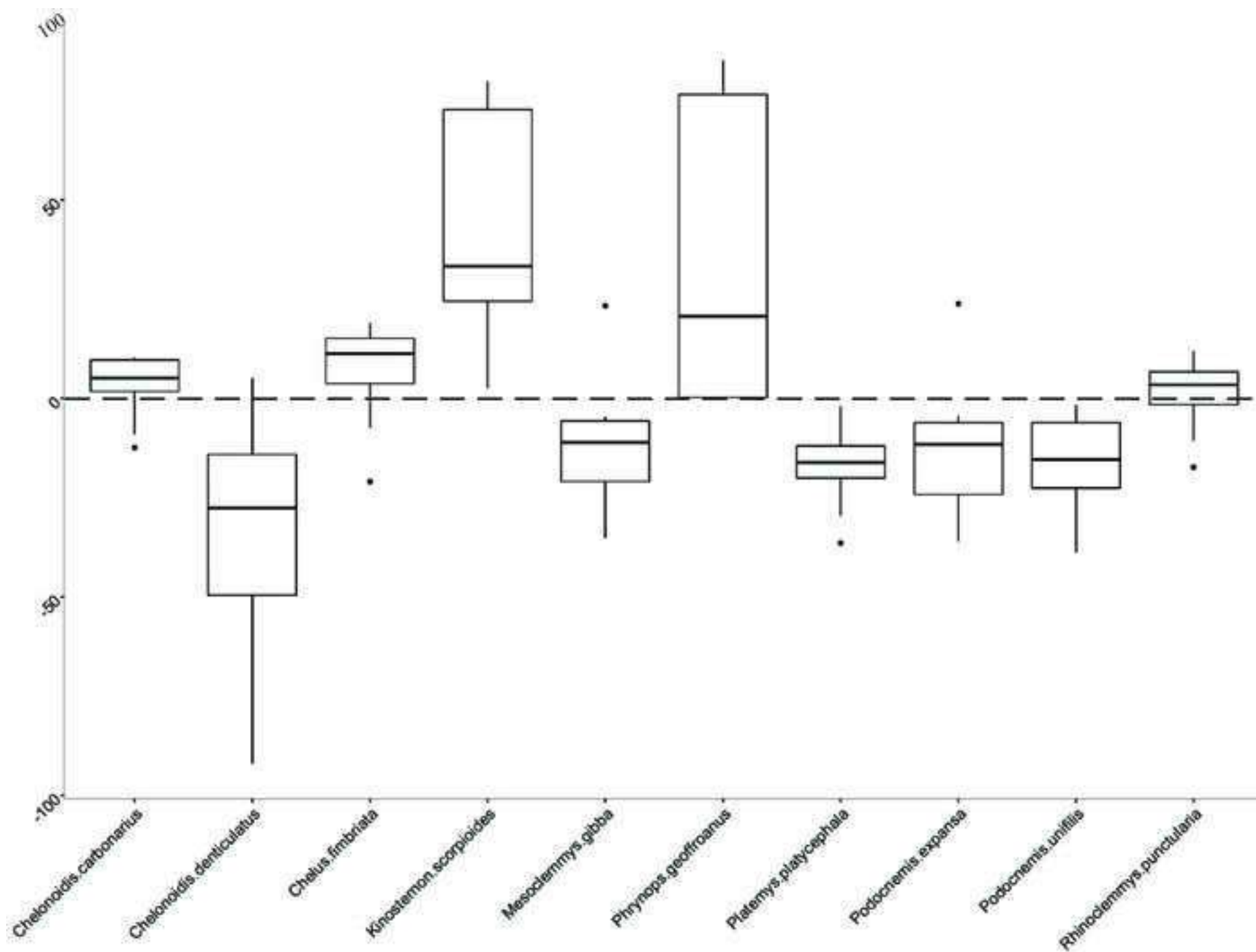
FIGURE CAPTIONS

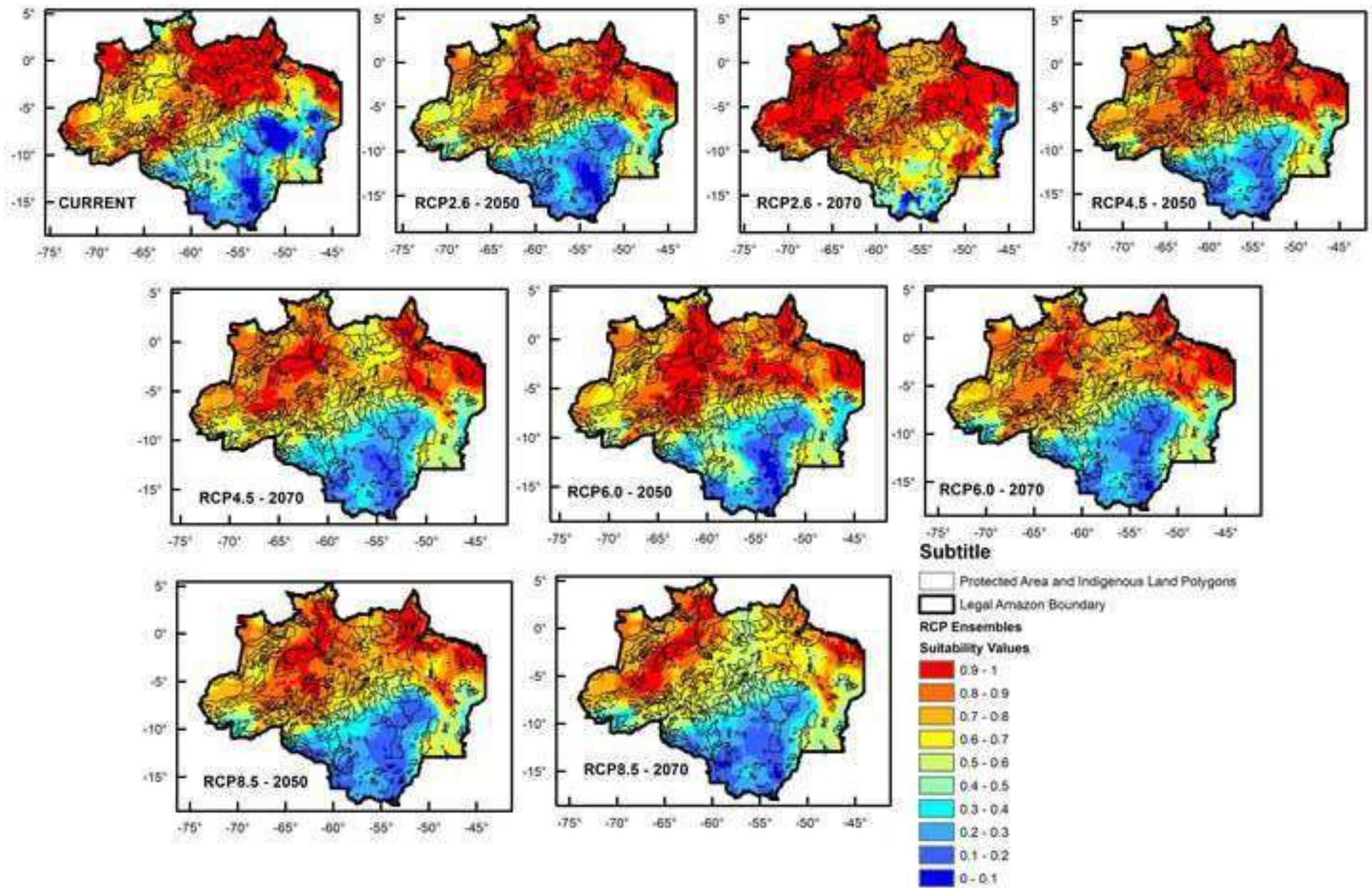
Figure 1 - Distribution percentage change of Amazonian chelonian species, considering all SSP and RCP scenarios. Dashed line delimits future positive and negative distributive trends of Continental Amazonian chelonians

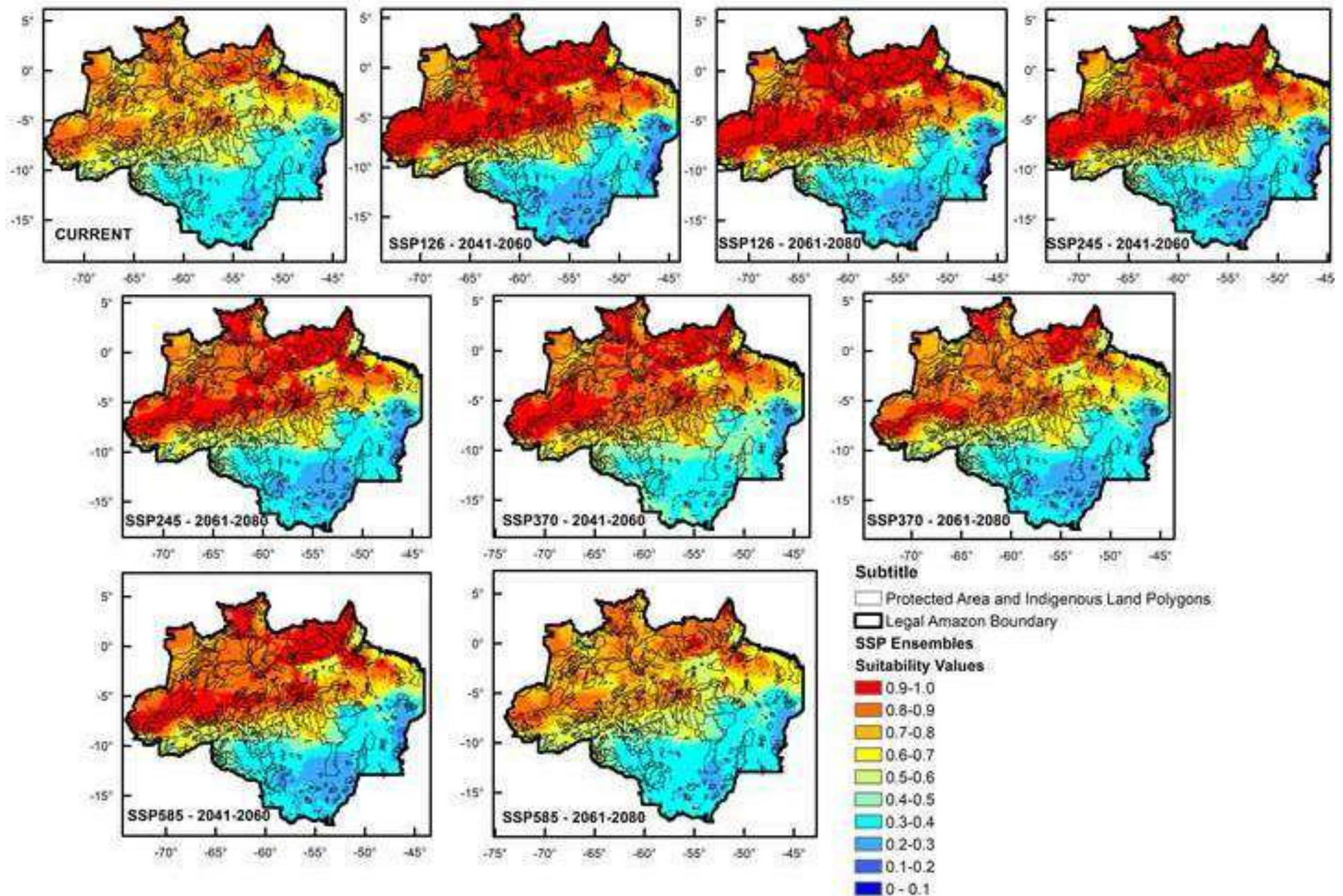
Figure 2 – Suitability index according territorial location for RCP Ensembles

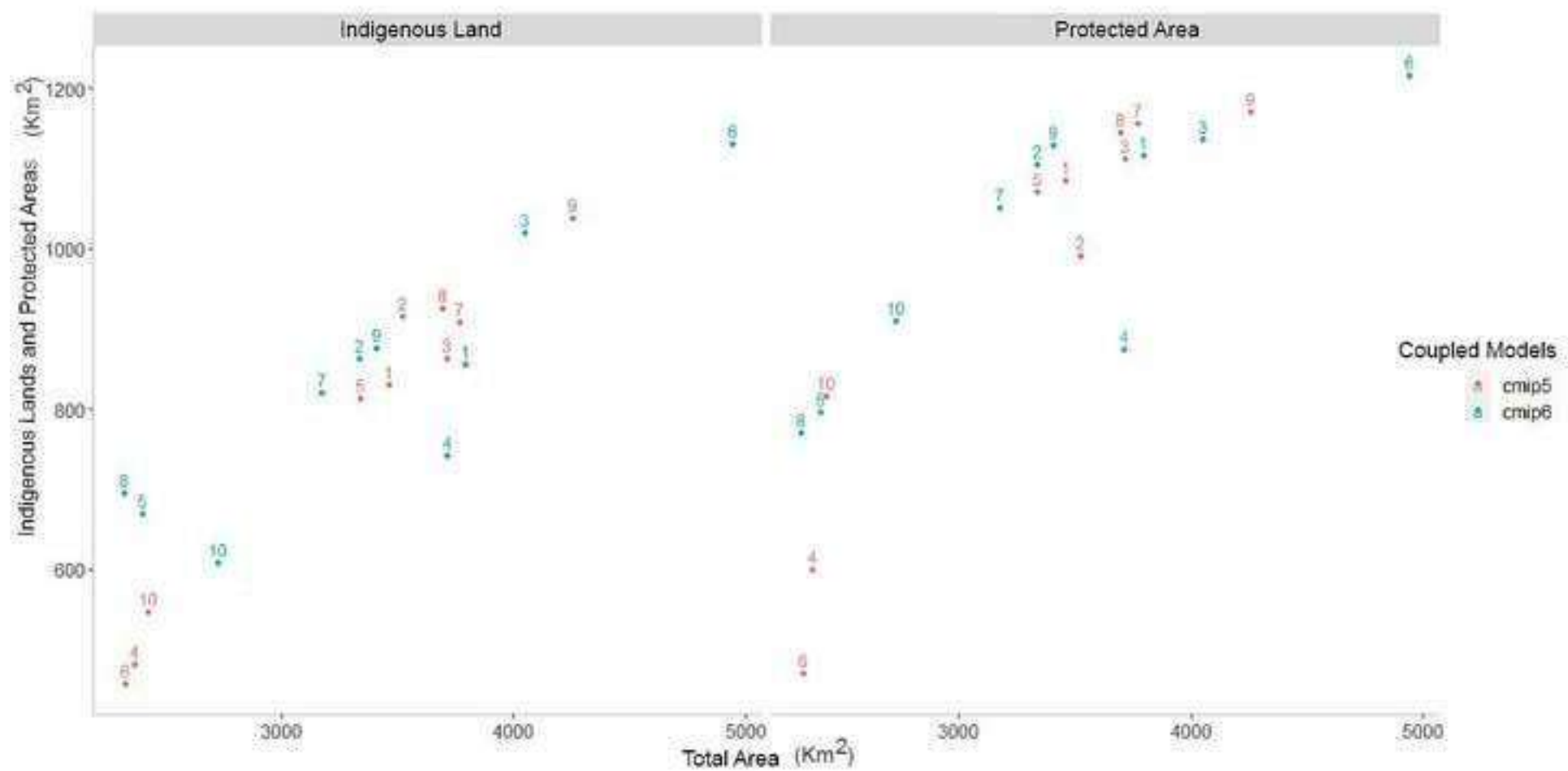
Figure 3 - Suitability index according territorial location for SSP Ensembles

Figure 4 - Extension in km² of spatial distribution of chelonian species in Indigenous Lands (IL) and Protected Areas (PAs), according CMIP5 and CMIP6. (1) *Chelonoidis carbonaria*; (2) *Chelonoidis denticulata*; (3) *Chelus fimbriata*; (4) *Kinosternon scorpioides*; (5) *Mesoclemmys gibba*; (6) *Phrynops geoffroanus*; (7) *Platemys plathycephala*; (8) *Podocnemis expansa*; (9) *Podocnemis unifilis*; (10) *Rhinoclemmys punctulata*











[Click here to access/download](#)

Online Supporting Information

Supplementary Material Guimaraes_et_al_2024.doc





[Click here to access/download](#)

Cover Letter

[Cover letter South American Journal Herpetology.doc](#)





SCHOLARONE™
Manuscripts

Anais da Academia Brasileira de Ciências

ECOLOGICAL NICHES OF BRAZILIAN CHELONIANS FROM CONTINENTAL AMAZON

Journal:	<i>Anais da Academia Brasileira de Ciências</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	de Almeida Guimarães, Livia Isadora; Federal University of Para, Geoscience Institute; Emilio Goeldi Museum of Para, Earth Sciences and Ecology Toledo, Peter; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Machado, Sauri Moreira; Emilio Goeldi Museum of Para Reis da Silva, José Francisco Berredo; Emilio Goeldi Museum of Para
Keyword:	Testudines, Ecological Niche, Legal Amazon, trophic levels, carbon isotopes, nitrogen isotopes
Classifications:	Animal Science
Note: The following files were submitted by the author for peer review, but cannot be converted to PDF. You must view these files (e.g. movies) online.	
Figure I.cdr Figure II.cdr Figure III.cdr Figure IV.cdr Figure V.cdr Figure VI.cdr Figure VII.cdr Figure VIII.cdr	

ECOLOGICAL NICHES OF BRAZILIAN CHELONIANS FROM CONTINENTAL AMAZON

Lívia Isadora de Almeida Guimarães¹, Peter Mann de Toledo², Sauri Moreira Machado³, José Francisco Berredo Reis da Silva⁴

¹Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará (IG-UFPA). *Augusto Corrêa, 01- Guamá, 66075-110 – Belém – PA – Brazil*; livia.guimaraes@ig.ufpa.br. OrCID: [0000-0002-5555-4356](https://orcid.org/0000-0002-5555-4356)

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenação Ciência do Sistema Terrestre. *Avenida do Astronautas, 1758 - Jardim da Granja, 12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil*; peter.toledo@hotmail.com. OrCID: 0000-0003-4265-2624

³Programa de Capacitação Institucional, Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia. *Avenida Perimetral, 1901 - Terra Firme, 66077-830 - Belém - PA - Brazil*; sauri.machado@gmail.com. OrCID: [0000-0001-9207-6747](https://orcid.org/0000-0001-9207-6747)

⁴Museu Paraense Emílio Goeldi, Departamento de Ciências da Terra e Ecologia, *Avenida Perimetral 1901 – Bairro do Montese (Terra-Firme) - 66077-830 – Belém – PA – Brasil*; berredo@museu-goeldi.br. OrCID: 0000-0002-2275-088

Keywords: Testudines, Isotopes, Ecological Niche, Legal Amazon

Running Title: NICHES OF BRAZILIAN CHELONIANS FROM CONTINENTAL AMAZON

Seção AABC: Ciência Animal/Ciências Ambientais/Ecologia.

Corresponding author: Lívia Isadora de Almeida Guimarães. Address: Mundurucus Street, 3736, AP.301. Fone number: 5591981762100. Email address: livia.guimaraes@ig.ufpa.br

ABSTRACT

Fourteen species of continental chelonians from Legal Amazon were analyzed according isotopic signals of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, in order to achieve inferences over isotopic niches and dietary resources, as well as preservation areas targets. This is the first paper which proposes studies with bone tissues as source for isotopic studies of Testudines in Continental Amazon. Geochemical analyses were performed at the Laboratory of Centro de Energia Nuclear na Agricultura of Universidade de São Paulo (CENA/USP). The resulted signals were statistically evaluated for possible correlations, associations and inferences over areas with great potential preservation importance. Despite significant differences among $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in familiar and specific levels, niche overlaps were appointed according to Pianka and Morisita-Horn indexes, with moderate specialization pointed by Levin index. Species characteristic of higher trophic levels demonstrate less negative $\delta^{13}\text{C}$ values, suggesting divergences in both habitat use and food sources. Differences in trophic levels (expressed in $\delta^{15}\text{N}$) were detected in certain species, which in turn use different food sources, suggesting diversity in foraging strategies.

Key-words: Isotopic niches, trophic levels, carbon isotopes, nitrogen isotopes

INTRODUCTION

Aspects related to fauna, such as spatial distribution, migratory routes and habitat use, become crucial in management decisions. Such surveys reinforce conservation initiatives for species preservation and their resources, whose inventories can be implemented in several ways. Among tools used in ecological studies, there are isotopic analyzes, characterized as atopic representations of the same chemical element, which record the same number of protons but not neutrons (Fry 2006, Koch 1998).

In particular, there is a specific category, referred to as stable isotopes, so called due absence of radiation emitted over time. Their applications are even more essential due to their interdisciplinary application, integrating principles such as those of biochemistry, physiology, ecology, geochemistry and climatology in environmental interpretations (West et al. 2006).

Among isotopic fractions most studied in environmental interpretations, there are those associated with stable isotopes of hydrogen (H), carbon (C), nitrogen (N), and oxygen (O), whose analyses are referred by the acronym SIA (Stable Isotope Analysis) (Peterson & Fry 1987, Fry 2006, Marques et al. 2014). From SIAs implemented in organic samples of a living being, a series of ecological interpretations are possible, such as types of habitat occupied, positioning in trophic levels and environmental aspects of places traveled.

Isotopic ratios are based on the isotopic compositions of a given material and present the so-called isotopic discrimination, or isotopic fractionation, which is nothing more than an enrichment or impoverishment of the heavy isotope of the sample under study (product) compared to its source (substrate) (Pereira 2007). Samples enriched in $\delta^{13}\text{C}$, for example, tend to be heavier or less negative. On the other hand, samples depleted in $\delta^{13}\text{C}$ and, therefore, with a greater influence of the $\delta^{12}\text{C}$ isotope, are lighter and more negative (Martinelli et al. 1988)

The $\delta^{13}\text{C}$ signatures are widely used in understanding metabolic processes, foraging distribution, migration distances, and habitat use, benefiting the conservation and management of endangered species (Pearson et al. 2020). Furthermore, the study of the fractions of such isotopes provides several details related to plant feeding, such as the presence of C_3 or C_4 plants in the system (Martinelli et al. 2009).

Animals whose diet is rich in C₃ carbon present $\delta^{13}\text{C}$ values of approximately -20‰ isotopic ratio. Grasses, which metabolize more carbon in their chain (C₄), present an isotopic ratio between approximately -12 and -8 ‰ (Amorim et al. 2009). Furthermore, when it comes to carbon, the most abundant stable isotope is ¹²C, making up 99% of the carbon atoms present in a substance. Then comes ¹³C, which makes up about 1% of the total (Carvalho 2008).

Plants that use the alternative metabolic pathway of crassulase acids (MAC) have the same enzymes used in the C₄ pathway, but with different enzymatic activity. These plants fix CO₂ during the night, using PEP-carboxylase with fractionation, commonly found in C₄ plants, associated with that of C₃, with its isotopic variability recorded between -10 and -28‰ (Pereira 2007).

As for nitrogen, more than 99% of the known nitrogen on or near the Earth's surface is present as atmospheric N₂ or N₂ dissolved in the ocean. Only a small amount is combined with other elements, such as C, O and H. Since nitrogen occurs in several oxidation conditions and in gaseous, dissolved and solid forms (N₂, NO³⁻, NO²⁻, NH₃, NH⁴⁺), it becomes a highly suitable element in isotopic studies (Hoefs 2009).

This massive reservoir of well-mixed N₂ has an isotopic composition that is essentially constant at 0‰. “Nitrogen in most other parts of the biosphere also has an isotopic composition close to this value, varying in a range of -10 to +10‰, mainly because the rate of nitrogen supply often limits reactions such as plant growth. Under these conditions, all available nitrogen can be consumed without isotopic fractionation. Therefore, supply rates and amounts of substrate N are important for understanding nitrogen isotopic distributions” (Peterson & Fry 1987, p.302).

The association of carbon and nitrogen isotopes represents a set of important mechanisms for biomass monitoring, allowing the recognition of metabolic pathways, primary productivity, elucidation of photosynthetic pathways, physiological processes in plants or in the determination of food sources for consumers in aquatic or terrestrial food webs (Cerling & Quade 1993, Eagle et al. 2010, Finné et al. 2017, Koch 1998, Kohn & Cerling 2008, Kohn & Law 2006, Lira et al. 2021, O’Leary 2008).

Combination of these isotopes in inferences of trophic levels and food web paradigms is strongly advocated, given functional role of organisms and energy or mass flows estimative (Post 2002). Variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ have been increasingly used

to understand the dietary composition of animals, especially vertebrates and insects (Gannes et al. 1998, Hobson 1999, Rubenstein & Hobson 2004).

Basically, $\delta^{13}\text{C}$ increases by a little less than 1‰ from one trophic level to another, while $\delta^{15}\text{N}$ increases by approximately 3‰. Therefore, in the same way that $\delta^{13}\text{C}$ values help detect different carbon sources, $\delta^{15}\text{N}$ values are useful in identifying the trophic level or trophic structure of a given organism or system of interest (Seminoff et al. 2007).

Turtle tissues investigated in the scientific community include collagen tissues, blood samples, muscles, and integumentary tissues such as claws, epidermis and shields. Their interpretations allow inferences of growth patterns (Biasatti 2004), levels of interspecific competition (Pearson et al. 2013, Polo-Cavia et al. 2010), trophic levels, with identification and correlations of areas destined for foraging or spawning (Blasi et al. 2018, Gillis et al. 2018, Godley et al. 1998, Hatase et al. 2002, Marques et al. 2011, Medeiros et al. 2019, Van Houtan & Halley 2011, Van Houtan et al. 2015, Vander Zanden 2012, Vander Zanden et al. 2013, 2015, 2005).

In studies developed by Ennen et al. (2016), a positive relationship was observed between species richness and primary productivity, driven by high diversity (mainly in freshwater and taxonomic richness in aquatic environments) and net primary productivity in the ecosystem.

However, it is noteworthy that research involving continental turtles is comparatively scarcer compared to marine turtles. Among these, studies implemented by Aresco (2005), Aresco & Gunzburger (2007), Aresco (2010), Aresco et al. (2015), with trophic inferences for turtles from Florida (USA), as well as Seminoff et al. (2007) conducted similar investigations on freshwater specimens from South Carolina. Others, such as Polo-Cavia et al. (2010), Pearson et al. (2013), investigated isotopic fractions in tissues of native and invasive species from the Manzanares River (Spain) and Philadelphia (USA), respectively.

In Brazil, studies with continental turtles tend to be more isolated. Marques et al. (2011), for example, identified similar $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic fractions in different tissues for each specimen of *Phrynops geoffroanus* (Mato Grosso), in life, seeking techniques that were minimally invasive and harmful to the physical integrity of specimens. This concern is heightened by the presence of different isotopic fractions in each type of tissue. Thus, once similar proportions of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ have been proven

in muscles and claws, for example, there is a viable and non-destructive alternative to dietary studies in *Ph. geoffroanus* using isotopes.

Lara et al. (2012) conducted studies with samples of freshwater species *Podocnemis unifilis* and *Podocnemis expansa* from the lower Araguaia, which confirmed a series of particularities regarding the type of diet in each species. Although no significant difference was reported between the taxa in relation to $\delta^{13}\text{C}$, *P. unifilis* showed higher $\delta^{15}\text{N}$ values than *P. expansa*, corroborating a possible trophic change due to the exploitation of different food resources. This factor reinforces the existence of different trophic levels, as well as sympatry between them (MARQUES et al., 2014).

Some time later, Marques et al. (2017) published results over isotopic studies in *Mesoclemmys vanderhaegei* (Mato Grosso), a relatively recent species that is not yet included in certain databases and references. Their conclusions suggest the absence of significant changes in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic signals between males and females, as well as correlation absence between body mass and isotopic signals.

More recently, Xavier et al. (2020) developed a study with $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic signals of the species *Podocnemis unifilis*, in epidermal samples of 63 specimens from Xingu, confirming intraspecific variations associated with the sex and body mass of each individual. However, it is important to consider that many isotopic studies still need to be implemented in other chelonian species from Western Amazonia. Therefore, for this work, an interpretative analysis of geochemical data is proposed, as a strategy for strengthening and comparing with correlative models, suggested in the scientific literature.

MATERIAL AND METHODS

Tissue extraction of isotopic material

Bone and dermal samples were selected from turtle shells collected within the limits of the Legal Amazon, deposited in the herpetological collections of the Museu Paraense Emílio Goeldi, in Belém, and the Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas/INPA, in Manaus, stored in a dry collection and at room temperature, according to the guidelines of Haywood et al. (2019) and Barrow et al. (2008).

Drilling was performed with a Dremel 4000 rotary tool and diamond blade to remove bone material from compact layers, with maximum apatite mineralization,
<https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo>

which enhances the preservation status of the sample (Amiot et al. 2004, 2007, 2017, Barrick et al. 1999, Matson & Fox 2008). The selected species are listed in Table 11.

Laboratory processing of isotopic material

Geochemical analyses were performed at the Laboratory of the Center for Nuclear Energy in Agriculture (CENA/USP), for both Carbon and Nitrogen. Specimens were washed with Milli-Q water to remove contaminants. Samples were treated with 2.5% NaOCl to isolate organic residues, and with 1M acetic acid buffered with calcium acetate (pH = 4.5, 2h) to remove secondary carbonates.

Carbon isotopic fractions were analyzed based on δ references from the VPDB (fossil belemnite from the Pee Dee Formation). Nitrogen was extracted from collagenous tissues, and its isotopic fractions were compared to 15N standards established by AIR (“atmospheric nitrogen”). Processings were calculated according to the following equation:

$$\delta X = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3 \text{ Where}$$

Where X is ^{13}C or ^{15}N , and R is the corresponding ratio between $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ or $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

The average value of each turtle family characteristic of the Legal Amazon was processed for $\delta^{15}\text{N}$, $\% \text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\% \text{C}$, C/N, to better clarify trophic levels and feeding area.

Statistical analysis

Statistical procedures were developed as follows: a) ANOVA, to identify significant differences in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values between families and species; b) Pearson Correlation, to explore possible dependence among isotopic values; c) boxplot graphs, to illustrate the variation in isotopic values within and among families; d) Pianka and Morisita-Horn Indexs, which verifies niche overlap among the analyzed species; e) Tukey Test, to ascertain overlap of isolated isotopic signals, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$, among species; f) Standardized Levin Index, to check niche breadth of species.

RESULTS

The isotopic signals and their respective percentages were tabulated as follows, for 14 species from the 4 families, which habitate, but are not exclude of Legal Amazon: *Chelus fimbriata*; *Mesoclemmys gibba*; *Phrynops geoffroanus*; *Platemys platycephala*; *Rhinemys rufipes*; *Podocnemis expansa*; *Podocnemis unifilis*; *Podocnemis sextuberculata*; *Podocnemis erythrocephala*; *Peltocephalus dumerilianus*; *Rhinoclemmys punctularia*; *Kinosternon scorpioides*; *Chelonoidis carbonária*; and *Chelonoidis denticulata*.

Statistical performed tests ($r=0.34$, $p=0.030$) suggest a weak but positive correlation between nitrogen and carbon isotopic values. Species characteristic of higher trophic levels demonstrate less negative $\delta^{13}\text{C}$ values, suggesting divergences in both habitat use and food sources.

Family Podocnemididae (e.g. *Podocnemis* spp.), for example, has low $\delta^{15}\text{N}$ values (Figure I), as well as comparatively more negative $\delta^{13}\text{C}$ (Figure II), consistent with a diet based on C_3 plants, characteristic of forest vegetation. Representatives of the family Chelidae (e.g. *Chelus fimbriata*) demonstrate high $\delta^{15}\text{N}$ values, reflecting a diet based on invertebrates and/or aquatic prey.

The results obtained in this study reveal a clear correlation between isotopic variations and the climate scenarios projected for the Amazon region. Key species, such as *Chelus fimbriata* and *Podocnemis expansa*, presented isotopic signatures that reflect different feeding strategies and habitat occupation, directly influenced by environmental changes. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values indicated specific adaptations related to diet and habitat use, highlighting the sensitivity of these species to changes in C_3 and C_4 vegetation and aquatic resources.

Furthermore, the analysis of adaptive capacities showed that generalist species are more resilient to moderate climate changes, while specialist species, such as *Chelus fimbriata*, face greater risk due to their dependence on specific resources. The ecological niches of these species were mapped in relation to future climate conditions, identifying priority areas for conservation.

Testudinids, on their turn, approach intermediate and extensive isotopic signals, whose mixed diet involves both herbivory and animal origin material, characteristic of drier environments, rich in C_3 and C_4 plants. Finally, the Kinosternidae family presents,

with the only representative species of the Legal Amazon, *Kinosternon scorpioides*, intermediate to high $\delta^{15}\text{N}$, corroborating a greater dependence on animal prey.

Differences in trophic levels (expressed in $\delta^{15}\text{N}$) were detected in certain species, which in turn use different food sources, suggesting diversity in foraging strategies. The $\delta^{13}\text{C}$ values indicate that some species are more associated with open areas with C_4 vegetation, while others are more restricted to forests, with C_3 vegetation.

The variation in the Carbon/Nitrogen (%) ratio suggests that species consume foods with different protein and fiber contents (Table 1), reflecting feeding strategies adapted to their habitats and ecological needs. Such observations indicate the complexity of the turtle community and its adaptations to the environment, assisting in conservation strategies that ensure the protection of specific habitats that support food and niche diversity.

From a statistical point of view, the ANOVA tests show significant differences between species for all analyzed variables ($p < 0.05$, Table II). The $\delta^{15}\text{N}$ values among species indicate variations in trophic level or diet, while $\delta^{13}\text{C}$ values reflect variable use of habitats and carbon sources. Such parameters suggest variations in metabolic strategies. Furthermore, Tukey's statistical test indicates reduced overlap of trophic levels, based on the $\delta^{15}\text{N}$ results ($p < 0.05$, Table III)

Regarding $\delta^{13}\text{C}$ values, the Tukey test identifies differences in carbon sources, as well as habitat type between species. Specifically, $\delta^{13}\text{C}$ values are related to the type of vegetation consumed (C_3 vs. C_4 plants) and the use of open or closed habitats. Thus, according to the isotopic signals provided, for the aforementioned statistical test, there is reduced sharing of habitats and/or feeding, especially for the following species ($p < 0.05$, Table IV)

Among so far explored species, *Podocnemis erythrocephala* has generated controversy. It can be observed both by the Tukey test and by the specific boxplot graph (Figure III) that the species presents more negative values of $\delta^{13}\text{C}$ compared to other species of same genus. Nevertheless, there is an overlap among the taxon with *Podocnemis unifilis*, which might be associated with similar isotopic signals of $\delta^{15}\text{N}$.

Specifically regarding the genus *Podocnemis*, the niche overlap between *P. unifilis* and *P. expansa* is not observed for the other species *P. sextuberculata* and *P. erythrocephala* (Figure IV). Last one, although sharing similar values in the isotopic

signatures of $\delta^{15}\text{N}$, displays more negative values of $\delta^{13}\text{C}$. *P. sextuberculata*, in its turn, presents a reverse trend, with higher values of $\delta^{15}\text{N}$ and overlapping with *P. expansa* for $\delta^{13}\text{C}$.

Considering data of other genera, while certain isotopic niches intersect (Figure V), others remain relatively isolated, as in the case of *Kinosternon* and *Platemys* which, which present a reduced and moderate level of correlation, respectively, with other taxa. The species *Chelonoidis denticulata* and *Chelonoidis carbonaria* display a slight overlap of isotopic niches.

It is observed that *C. denticulata* presents more restricted isotopic values (Figure VI), with carbon signatures being more negative, lower than *C. carbonaria*, which may justify the greater level of resilience of this one compared to remained species. One resource for niche overlap studies was the use of Pianka (Figure VII) and Morisita-Horn indexes (Table V). The values attributed suggest a moderate to high niche overlap between the species studied.

Species *Chelonoidis denticulata*, like the other 13 species studied in this study, demonstrated high isotopic niche overlap with other species according to the Pianka and Morisita-Horn indexes, with moderate specialization according to the Levin index (Figure VIII), and low isotopic variability. *Ch. denticulata* is the most likely to experience a reduction in distribution in future scenarios. Among the priority areas for the preservation of the species are Indigenous Lands, to mitigate habitat loss.

Second testudinid species, *Chelonoidis carbonaria*, demonstrates moderate niche breadth according to the Levin test, as well as moderate resource overlap according to the Morisita-Horn test. Protection is necessary in areas of continuous, dense forests, especially in the southern Amazon, as well as in Indigenous Lands in the Xingu basin, to preserve the species. The last representative of the testudinid taxa in the Legal Amazon, *Rhinoclemmys punctularia*, has a high overlap and moderate niche breadth. Among the priority areas for preservation are coastal and forest environments in the Northeast Amazon.

Mesoclemmys gibba, of the Chelidae family, has isotopic indices that classify it as a moderate species in relation to the breadth of explored niches. Overlaps are also moderate (Morisita-Horn) to broad (Pianka). Semi-aquatic protected zones characteristic of Indigenous Lands represent priority areas for the preservation of the

species. Another representative of the same family, *Platemys platycephala*, was classified as a specialist according to the Levin index, with moderate to high niche overlap. Preservation priority assigned to large river systems, forests of the Guiana Shield and protected areas in the Northern Amazon.

Species *Rhinemys rufipes* is specialist, with low niche overlap. Its distribution is stable in future scenarios. Priority areas for preservation of the species include the Guiana Shield and Eastern Amazon. The isotopic indexes of *Phrynops geoffroanus* predict moderate niche breadth, with high overlap. High variability in $\delta^{15}\text{N}$ values suggests high dietary flexibility. To preserve the species, investments in protected areas in the central-southern Amazon are recommended, as well as ecological corridors adjacent to the Madeira basin.

Isotopic indices of *Chelus fimbriata* demonstrate moderate trends in niche breadth, as well as high overlap with other species. However, $\delta^{15}\text{N}$ data suggest a higher trophic position, indicating a predominantly carnivorous diet. Priority areas for conservation are located in aquatic environments of low vulnerability in the endemic zones of the western and northern Amazon, Indigenous Lands of the Negro river system, and protected areas in the Juruá and Purus rivers.

The species *Kinosternon scorpioides* is a specialist species, that is, it exploits specific resources. Furthermore, characteristics such as moderate (Morisita-Horn) to high niche overlap (Pianka) are observed according to the isotopic signals. The potential vulnerability of the species would theoretically be high according to the Levin index, consequently requiring specific resources.

Among the priority areas for preservation is the Northeast Amazon, where its distribution is most significant. Among the podocnemidids, high niche overlap with other species was observed in *Podocnemis expansa*, according to the Pianka and Morisita indices, as well as moderate niche breadth according to the Levin test. Being a vulnerable species, a distributional loss is estimated without conservation measures in place, especially in protected riverside areas and nesting areas. Hence the priority of conservation in large protected river systems (e.g., Madeira and Negro rivers).

Podocnemis unifilis is shown to be a generalist species according to the Levin index, as well as moderate (Morisita-Horn) to high niche overlap (Pianka) with other species. Politics to preserve the species and associated resources become necessary,

especially areas of integration of floodplains and seasonal water bodies, as well as Protected Areas and Indigenous Lands along the Amazon River.

Species *Podocnemis erythrocephala* is generalist, with favorable preservation scenarios in protected areas. Priority preservation regions include river corridors in Western Amazonia, as well as Indigenous Lands and Protected Areas. *Podocnemis sextuberculata* displays a specialist behaviour, with losses of up to ~30% of distribution due to unfavorable environmental conditions. Priority preservation regions include protected regions near the Middle Solimões. *Peltocephalus dumerilianus* is generalist, with high niche overlap, and favorable preservation scenarios in protected areas. Characteristic of wetlands and flooded forests.

DISCUSSION

Until now, bones of continental turtles from the Legal Amazon have never been tested in carbon and nitrogen isotope studies to verify carbon sources and trophic levels. Furthermore, and according to previous studies describing the use of these proxies, nutrient absorption by tissue varies considerably and, consequently, is not the same between, for example, muscles, blood plasma, dermic scutes or epidermis (e.g. Marques et al., 2011).

The isotopic results and predictive models have profound implications for the conservation of turtle species in the Amazon. The integration of these approaches revealed that species with greater isotopic amplitude have a greater capacity to explore alternative habitats, while those with restricted niches are highly vulnerable to climate change. Chelidae and Kinosternidae present the highest $\delta^{15}\text{N}$ values, confirming more omnivorous/carnivorous diets (Vogt 2008). Podocnemididae has the lowest values, reflecting a predominantly herbivorous diet. Testudinidae occupies an intermediate position, with both herbivorous and omnivorous/carnivorous characteristics.

Species with high overlap, such as Podocnemididae, may be more vulnerable to competition for resources in degraded environments, while Chelidae species, with more diversified niches, are less prone to direct competition but require conservation of multiple habitats. Podocnemididae and Testudinidae represent the families with the largest number of species threatened with extinction in the world, according to the “TFTSG Red List”, thus requiring greater conservation initiatives (Rhodin et al. 2018).

Resilience levels vary among the analyzed species. Generalists, such as *Podocnemis expansa*, can explore new habitats and food sources, while specialists, such as *Chelus fimbriata*, are at greater risk of population decline. Climate-induced changes, such as the reduction of suitable habitats and altered trophic interactions, pose significant threats to the survival of these species.

When it comes to environmental management policies, greater targeting of monitoring and preservation measures is needed with higher rates of sharing of trophic niches and food resources, in order to preserve the greatest possible number of species. However, the distribution of species with more isolated niches, such as *Kinosternon scorpioides*, may be affected. Nevertheless, it is worth mentioning the species is not in danger of extinction, and its distribution along the Latin American Atlantic coast is wide (e.g. Rhodin 2021), which requires analyses over vulnerability situation of each studied taxon.

Despite the niche overlap verified by the Pianka and Morisita-Horn indices, the diets of continental chelonian species in the Legal Amazon can, according to the literature (e.g. Fagundes 2015, Ferrara et al. 2017, Pritchard & Trebbau 1984), vary among themselves. In the present study, it was verified that $\delta^{13}\text{C}$ values change significantly among certain species, with some showing highly negative values (e.g., *Podocnemis erythrocephala*, with around -34‰) and others less negative (e.g., *Podocnemis sextuberculata*, with around -20‰).

Therefore, highly negative values indicate a dependence on C_3 plants (e.g., trees, shrubs or forest vegetation), typical of species that live in heavily vegetated environments. While the less negative ones suggest potential contributions from C_4 plants or aquatic vegetation (Martinelli et al., 2007), common in species such as *Podocnemis sextuberculata* and *Kinosternon scorpioides*, which can inhabit mixed or open aquatic environments.

Variations in the nitrogen isotopic signals $\delta^{15}\text{N}$ imply different trophic levels, with around 6‰ (*Podocnemis unifilis*) to more than 12‰ (*Rhinemys rufipes* and *Chelus fimbriata*). Lower values, as in *Podocnemis unifilis*, indicate herbivorous diets, while higher values suggest a more carnivorous diet, as in species such as *Chelus fimbriata* and *Rhinemys rufipes* that feed mainly on invertebrates and/or small aquatic animals (e.g. Ferrara et al. 2017). As in Lara et al. (2012), a slight overlap of isotopic niches is

observed between the species *Podocnemis expansa* and *Podocnemis unifilis*. Information that reinforces the sympatry between the species.

Comparatively, the projections for *Chelonoidis denticulata* and *Chelonoidis carbonarius* corroborate their conservation status in the IUCN, so that the first species is listed as vulnerable, while *C. carbonarius* is in a situation of less concern (Rhodin 2021), a fact justified by its wider distribution, including more open habitats and forest fragments in savannah areas (Farias et al. 2007, Jerozolinski 2005).

The species *Phrynops geoffroannus* presents previous studies of isotopic analysis in muscles, carapace and claws (Marques et al. 2011). The isotopic signals of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ for the shell were considerably different. The specimen analyzed in this study presents a more negative carbon isotopic signal and a higher nitrogen isotopic signal, suggesting a diversified, omnivorous diet, predominantly based on C_3 plants, as well as small invertebrates (Vogt 2008).

Regarding species *Mesoclemmys gibba*, the literature lacks previous isotopic studies. However, research developed by Marques et al. (2017), on the species *Mesoclemmys vanderhaegei*, demonstrates similar isotopic signal values and, consequently, predominantly carnivorous diets, based on aquatic insects, aquatic plants, fruits and leaves (Brito et al. 2016). The results corroborate the need to maintain Protected Areas and Indigenous Lands, whose resilience levels tend to be more stable. Furthermore, these areas are considered less vulnerable to land use changes and more likely to maintain viable turtle populations.

Higher levels of resilience are also attributed to generalist species, such as *Podocnemis erythrocephala* and *Podocnemis unifilis*, according to the Levin index, since they are capable of exploiting diverse resources and habitats. In contrast, specialist taxa such as *Platemys platycephala*, *Rhynemis rufipes* and *Podocnemis sextuberculata* are more vulnerable due to their smaller niche range and, consequently, are at greater risk in the face of sharp environmental changes.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank to Instituto de Geociências of Universidade Federal do Pará (UFPA), Departamento de Ciências da Terra e Ecologia of Museu Paraense Emílio Goeldi for the infrastructure available. We thank to CEQUA, from Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), as well as FAPESPA/Pará-Brazil, for providing funding support to this research. Thanks to Plínio Camargo from CENA-USP (São Paulo), for providing us the laboratory resources, which were crucial to our results. We personally would like to thank to **Coaccess** and the **Proractorate of Postgraduate Studies** of UFPA, for all support attributed to development of this research.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Msa. Livia Isadora de Almeida Guimarães: data processing, interpretation and writing

Dr. Peter Mann de Toledo: data processing, graphic confeccion, supervision

Dra. Sauri Moreira Machado: data processing and writing

Dr. José Francisco Berredo Reis da Silva: geochemistry and paper supervision

REFERENCES

- AMIOT R et al. 2017. Oxygen isotope fractionation between bird bone phosphate and drinking water. *Naturwissenschaften* 104: 47.
- AMIOT R, LÉCUYER C, BUFFETAUT E, FLUTEAU F, LEGENDRE S & MARTINEAU F. 2004. Latitudinal temperature gradient during the Cretaceous Upper Campanian-Middle Maastrichtian: $\delta^{18}\text{O}$ record of continental vertebrates. *Earth Planet Sci Lett* 226: 255–272.
- AMIOT R, LÉCUYER C, ESCARGUEL G, BILLON-BRUYAT JP, BUFFETAUT E, LANGLOIS C, MARTIN S, MARTINEAU F & MAZIN JM. 2007. Oxygen isotope fractionation between crocodilian phosphate and water. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 243: 412–420.
- AMORIM MA, MOREIRA-TURCQ PF, TURCQ BJ & CORDEIRO RC. 2009. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amaz* 39: 165–171.

ARESCO MJ. 2005. Ecological Relationships of Turtles in Northern Florida Lakes: A Study of Omnivory and the Structure of a Lake Food Web. Florida State Univ 66.

ARESCO MJ. 2010. Competitive Interactions of Two Species of Freshwater Turtles, a Generalist Omnivore and an Herbivore, Under Low Resource Conditions. *Herpetologica* 66: 259–268.

ARESCO MJ & GUNZBURGER MS. 2007. Ecology and Morphology of *Chelydra serpentina* in Northwestern Florida. *Southeast Nat* 6: 435–448.

ARESCO MJ, TRAVIS J & MACRAE PSD. 2015. Trophic Interactions of Turtles in a North Florida Lake Food Web: Prevalence of Omnivory. *Copeia* 103: 343–356.

BARRICK RE, FISCHER AG & SHOWERS WJ. 1999. Isotopes Terrestrial Paleoclimates.pdf.

BARROW LM, BJORNDAL KA & REICH KJ. 2008. Effects of Preservation Method on Stable Carbon and Nitrogen Isotope Values. *Physiol Biochem Zool* 81: 688–693.

BIASATTI DM. 2004. Stable carbon isotopic profiles of sea turtle humeri: Implications for ecology and physiology. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 206: 203–216.

BLASI MF, TOMASSINI L, GELIPPI M, CAREDDU G, INSACCO G & POLUNIN NVC. 2018. Assessing resource use patterns of Mediterranean loggerhead sea turtles *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) through stable isotope analysis. *Eur Zool J* 85: 71–87.

BRITO ES, SOUZA FL & STRÜSSMANN C. 2016. Feeding habits of *Mesoclemmys vanderhaegei* (Testudines: Chelidae). *Acta Herpetol* 11: 1–13.

CARVALHO MC. 2008. Uso dos isótopos estáveis de carbono, nitrogênio e enxofre em estudos de ecologia costeira. *Oecologia Bras* 12: 694–705.

CERLING TE & QUADE J. 1993. Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Soil Carbonates. In: SWART PK et al. (Eds), *Climate Change in Continental Isotopic Records*, American Geophysical Union, p.217–231.

EAGLE RA, SCHAUBLE EA, TRIPATI AK, TUTKEN T, HULBERT RC & EILER JM. 2010. Body temperatures of modern and extinct vertebrates from ^{13}C - ^{18}O bond abundances in bioapatite. *Proc Natl Acad Sci* 107: 10377–10382.

ENNEN JR, AGHA M, MATAMOROS WA, HAZZARD SC & LOVICH JE. 2016. Using climate, energy, and spatial-based hypotheses to interpret macroecological patterns of North America chelonians. *Can J Zool* 94: 453–461.

FAGUNDES CK. 2015. Estratégias e áreas prioritárias à conservação de quelônios aquáticos e semi-aquáticos na Amazônia. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

FARIAS IP, JEROZOLIMSKI A, MELO A, DAS NEVES VIANA M, MARTINS M & DOS SANTOS MONJELÓ LA. 2007. Population genetics of the Amazonian tortoises, *Chelonoidis denticulata* and *C. carbonaria*, (Cryptodira: Testudinidae) in an area of sympatry. *Amphibia-Reptilia* 28: 357–365.

FERRARA CR, FAGUNDES CK, MORCATTY T & VOGT RC. 2017. Quelônios Amazônicos: Guia de identificação e distribuição, Manaus: Wildlife Conservation Society - Brasil PROJETO, 182 p.

FINNÉ M, HOLMGREN K, SHEN C-C, HU H-M, BOYD M & STOCKER S. 2017. Late Bronze Age climate change and the destruction of the Mycenaean Palace of Nestor at Pylos HART JP (Ed.). *PLoS One* 12: e0189447.

FRY B. 2006. Stable Isotope Ecology, Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, 316 p.

GANNES L, DEL RIO CM & KOCH PL. 1998. Natural Abundance Variations in Stable Isotopes and their Potential Uses in Animal Physiological Ecology. *Comp Biochem Physiol* 119A: 725–737.

GILLIS AJ, CERIANI SA, SEMINOFF JA & FUENTES MMPB. 2018. Foraging ecology and diet selection of juvenile green turtles in the Bahamas: insights from stable isotope analysis and prey mapping. *Mar Ecol Prog Ser* 599: 225–238.

GODLEY BJ, THOMPSON DR, WALDRON S & FURNESS RW. 1998. The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 166: 277–284.

HATASE H, TAKAI N, MATSUZAWA Y, SAKAMOTO W, OMUTA K, GOTO K, ARAI N & FUJIWARA T. 2002. <Hatase et al MEPS 2002.pdf>. 233: 273–281.

HAYWOOD JC, FULLER WJ, GODLEY BJ, SHUTLER JD, WIDDICOMBE S & BRODERICK AC. 2019. Global review and inventory: how stable isotopes are helping us understand ecology and inform conservation of marine turtles. *Mar Ecol Prog Ser* 613: 217–245.

HOBSON KA. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: A review. *Oecologia* 120: 314–326.

- HOEFS J. 2009. Stable Isotope Geochemistry, Sixth Edit ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 293 p.
- VAN HOUTAN KS & HALLEY JM. 2011. Long-term climate forcing in loggerhead sea turtle nesting. PLoS One 6.
- VAN HOUTAN KS, HALLEY JM & MARKS W. 2015. Terrestrial basking sea turtles are responding to spatio-temporal sea surface temperature patterns. Biol Lett 11: 20140744.
- JEROZOLIMSKI A. 2005. Ecologia de populações silvestres dos jabutis *Geochelone denticulata* e *G. carbonaria* (Cryptodira: Testudinidae) no território da aldeia de A'Ukre, TI Kayapó, sul do Pará. Universidade de São Paulo.
- KOCH PL. 1998. ISOTOPIC RECONSTRUCTION OF PAST CONTINENTAL ENVIRONMENTS. Annu Rev Earth Planet Sci 26: 573–613.
- KOHN MJ & CERLING TE. 2008. Stable Isotope Compositions of Biological Apatite. Rev Mineral Geochemistry 48: 455–488.
- KOHN MJ & LAW JM. 2006. Stable isotope chemistry of fossil bone as a new paleoclimate indicator. Geochim Cosmochim Acta 70: 931–946.
- LARA NRF, MARQUES TS, MONTELO KM, DE ATAÍDES ÁG, VERDADE LM, MALVÁSIO A & DE CAMARGO PB. 2012. A trophic study of the sympatric Amazonian freshwater turtles *Podocnemis unifilis* and *Podocnemis expansa* (Testudines, Podocnemidae) using carbon and nitrogen stable isotope analyses. Can J Zool 90: 1394–1401.
- LIRA KC de, DUBEUX JCB, LIRA M de A, CARVALHO FFR, SANTOS MVF, CUNHA MV, MELLO ACL, JARAMILLO DM & NETO JDP. 2021. Tracing sheep binary C3–C4 diet using stable isotope ratio ($\delta^{13}\text{C}$). Ital J Anim Sci 20: 288–294.
- MARQUES TS, BRITO ES, LARA NRF, BELOTO LM, VALADÃO RM, DE CAMARGO PB & VERDADE LM. 2017. The trophic niche of *Mesoclemmys vanderhaegei* (Testudines: Chelidae): evidence from stable isotopes. Zoologia 34: 1–6.
- MARQUES TS, LARA NRF, CAMARGO PB, VERDADE LM & MARTINELLI LA. 2014. The Use of Stable Isotopes Analysis in Wildlife Studies. In: Applied Ecology and Human Dimensions in Biological Conservation, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin

Heidelberg, p.159–174.

MARQUES TS, TASSONI-FILHO M, FERRONATO BO, GUARDIA I, VERDADE LM & CAMARGO PB de. 2011. Isotopic signatures ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of muscle carapace and claw in *Phrynops geoffroanus* (Testudines: Chelidae). Zool (Curitiba, Impresso) 28: 407–410.

MARTINELLI LA, OMETTO JP, FERRAZ ES, VICTORIA RL, DE CAMARGO PB & MOREIRA MZ. 2009. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis, São Paulo: Oficina de Textos, 144p. p.

MARTINELLI LA, VICTORIA RL, MATSUI E, FORSBERG BR & MOZETO AA. 1988. Utilização das variações naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. Acta Limnol Bras 859–889.

MATSON SD & FOX DL. 2008. Can oxygen isotopes from turtle bone be used to reconstruct paleoclimates? Palaios 23: 24–34.

MEDEIROS L, MONTEIRO DS, BOTTA S, PROIETTI MC & SECCHI ER. 2019. Origin and foraging ecology of male loggerhead sea turtles from southern Brazil revealed by genetic and stable isotope analysis. Mar Biol 166: 1–14.

O'LEARY MH. 2008. Carbon Dynamics in Plants. Carbon N Y 38: 328–336.

PEARSON RM, VAN DE MERWE JP & CONNOLLY RM. 2020. Global oxygen isoscapes for barnacle shells: Application for tracing movement in oceans. Sci Total Environ 705: 135782.

PEARSON SH, AVERY HW, KILHAM SS, VELINSKY DJ & SPOTILA JR. 2013. Stable Isotopes of C and N Reveal Habitat Dependent Dietary Overlap between Native and Introduced Turtles *Pseudemys rubriventris* and *Trachemys scripta*. PLoS One 8: 1–7.

PEREIRA A. 2007. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. Rev biociên 13: 16–27.

PETERSON BJ & FRY B. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. Annu Rev Ecol Syst 18: 293–320.

POLO-CAVIA N, LÓPEZ P & MARTÍN J. 2010. Competitive interactions during basking between native and invasive freshwater turtle species. Biol Invasions 12: 2141–2152.

POST DM. 2002. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. *Ecology* 83: 703.

PRITCHARD PCH & TREBBAU P. 1984. The Turtles of Venezuela Contributions to Herpetology, Ann Arbor, Michigan: Society for the Study of Amphibians and Reptiles, 468 p.

RHODIN AGJ et al. 2018. Global Conservation Status of Turtles and Tortoises (Order Testudines). *Chelonian Conserv Biol* 17: 135.

RHODIN AGJ. 2021. Turtles of the World: Annotated Checklist and Atlas of Taxonomy, Synonymy, Distribution, and Conservation Status (9th Ed.), Chelonian Research Foundation and Turtle Conservancy.

RUBENSTEIN DR & HOBSON KA. 2004. From birds to butterflies: Animal movement patterns and stable isotopes. *Trends Ecol Evol* 19: 256–263.

SEMINOFF JA, BJORNDAL KA & BOLTE AB. 2007. Stable Carbon and Nitrogen Isotope Discrimination and Turnover in Pond Sliders *Trachemys Scripta*: Insights for Trophic Study of Freshwater Turtles. *Copeia* 534–542.

VOGT RC. 2008. Tartarugas da Amazônia., 1 ed., Lima, Peru: Gráfica Biblos, 104 p.

WEST JB, BOWEN GJ, CERLING TE & EHLERINGER JR. 2006. Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. *Trends Ecol Evol* 21: 408–414.

XAVIER D de S, BAPTISTA NETO JA, MALVASIO A, CAMARGO PB de, ANJOS RM dos, CARDOSO RP & FELIZARDO JP de S. 2020. Estudo da ecologia trófica do quelônio *Podocnemis unifilis* da região do baixo Xingu, utilizando análise isotópica de C e N. *Rev Ibero-Americana Ciências Ambient* 11: 99–109.

VANDER ZANDEN HB. 2012. Interpreting sea turtle trophic ecology through stable isotope analysis. University of Florida.

VANDER ZANDEN HB, BJORNDAL KA & BOLTEN AB. 2013. Temporal consistency and individual specialization in resource use by green turtles in successive life stages. *Oecologia* 173: 767–777.

VANDER ZANDEN HB, TUCKER AD, HART KM, LAMONT MM, FUJISAKI I, ADDISON DS, MANSFIELD KL, PHILLIPS KF, WUNDER MB, BOWEN GJ, PAJUELO M, BOLTEN AB & BJORNDAL KA. 2015. Determining origin in a migratory marine vertebrate: a novel method to integrate stable isotopes and satellite

tracking. *Ecol Appl* 25: 320–335.

VANDER ZANDEN MJ, VADEBONCOEUR Y, DIEBEL MW & JEPPESEN E.
2005. Primary consumer stable nitrogen isotopes as indicators of nutrient source.
Environ Sci Technol 39: 7509–7515.

FIGURE CAPTIONS

Figure I- Nitrogen isotopic distribution in each chelonian family in the Legal Amazon

Figure II- Carbon isotopic distribution in each chelonian family in the Legal Amazon

Figure III- Distribution of isotopic signals per species

Figure IV- Isotopic niches of the genus *Podocnemis* from the Legal Amazon

Figure V- Isotopic niche breadth per genus

Figure VI- Isotopic niche breadth per *Chelonoidis* species

Figure VII- Niche overlap according Pianka Index

Figure VIII- Levin Index per species

TABLE CAPTIONS

Table I- Isotopic signals by occurrence and species average

Table II- Significance test of isotopic analyses

Table III- Overlap niche association, of $\delta^{15}\text{N}$ ($p < 0.05$)

Table IV- Overlap niche association, of $\delta^{13}\text{C}$ ($p < 0.05$)

Table V- Ecological data for the 14 species of continental turtles from the Legal Amazon analyzed in the research.

Table 1- Isotopic signals by occurrence and species average

FAMILY	$\delta^{15}\text{N}$	%N	$\delta^{13}\text{C}$	%C	C/N	SPECIES
Podocnemididae	6,36	4,56	-26,34	15,65	3,43	<i>Podocnemis unifilis</i>
	7,77	4,48	-26,81	16,29	3,64	<i>Podocnemis unifilis</i>
	6,68	4,73	-26,14	15,16	3,21	<i>Podocnemis unifilis</i>
	7,46	4,30	-31,99	18,07	4,20	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	6,88	4,46	-30,55	18,00	4,04	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	7,00	4,49	-34,59	16,97	3,78	<i>Podocnemis erythrocephala</i>
	6,48	4,73	-25,68	15,23	3,22	<i>Podocnemis expansa</i>
	7,01	4,89	-26,64	18,29	3,74	<i>Podocnemis expansa</i>
	8,01	4,98	-20,32	17,40	3,49	<i>Podocnemis expansa</i>
	9,90	4,29	-20,11	17,44	4,06	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,17	4,64	-22,70	17,21	3,71	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,01	4,14	-18,84	19,56	4,72	<i>Podocnemis sextuberculata</i>
	8,22	4,25	-26,22	15,73	3,70	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	10,75	4,17	-26,34	15,66	3,75	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	8,34	4,39	-25,09	15,29	3,48	<i>Peltocephalus dumerilianus</i>
	7,93	4,50	-25,89	16,80	3,74	TOTAL MEDIA
	6,94	4,59	-26,43	15,70	3,42	Media <i>Podocnemis unifilis</i>
	7,11	4,41	-32,37	17,68	4,01	Media <i>Podocnemis erythrocephala</i>
	7,16	4,87	-24,21	16,97	3,48	Media <i>Podocnemis expansa</i>
	9,36	4,36	-20,55	18,07	4,16	Media <i>Podocnemis sextuberculata</i>
	9,10	4,27	-25,88	15,56	3,64	Media <i>Peltocephalus dumerilianus</i>
Chelidae	9,28	4,83	-25,44	16,58	3,43	<i>Rhinemys rufipes</i>
	10,23	4,45	-24,58	17,09	3,84	<i>Rhinemys rufipes</i>
	12,76	4,77	-24,10	17,55	3,68	<i>Rhinemys rufipes</i>
	11,36	4,36	-26,91	13,68	3,14	<i>Chelus fimbriata</i>
	11,72	4,41	-27,66	13,91	3,15	<i>Chelus fimbriata</i>
	11,33	4,25	-28,33	13,27	3,13	<i>Chelus fimbriata</i>
	12,09	4,38	-24,84	14,09	3,22	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	8,98	4,51	-27,17	16,56	3,67	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	8,40	5,39	-26,39	17,27	3,20	<i>Mesoclemmys gibba</i>
	11,31	4,65	-23,54	14,24	3,06	<i>Platemys plathycephala</i>
	11,41	4,64	-22,93	14,24	3,07	<i>Platemys plathycephala</i>
	12,16	4,35	-23,05	13,22	3,04	<i>Platemys plathycephala</i>
	10,96	4,70	-25,63	15,60	3,31	TOTAL MEDIA
	10,76	4,68	-24,70	17,08	3,65	Media <i>Rhinemys rufipes</i>
	11,47	4,34	-27,63	13,62	3,14	Media <i>Chelus fimbriata</i>
	9,83	4,76	-26,13	15,97	3,37	Media <i>Mesoclemmys gibba</i>
	11,63	4,55	-23,17	13,90	3,06	Media <i>Platemys plathycephala</i>
	11,45	6,15	-28,24	21,08	3,43	<i>Phrynosps geoffroanus</i>

Testudinidae	11,44	4,51	-24,69	13,38	2,97	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	9,49	4,92	-26,05	14,20	2,89	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	12,26	4,46	-23,35	14,07	3,15	<i>Chelonoidis carbonaria</i>
	6,90	6,25	-27,50	21,72	3,48	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	8,92	6,01	-27,00	20,22	3,36	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	11,87	6,02	-25,18	19,77	3,28	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	8,87	4,79	-26,37	18,63	3,89	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,41	4,53	-26,29	19,30	4,26	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,82	5,67	-25,59	20,65	3,64	<i>Chelonoidis denticulata</i>
	9,89	5,24	-25,78	17,99	3,44	TOTAL MEDIA
	11,06	4,63	-24,70	13,88	3,00	Media <i>Chelonoidis carbonaria</i>
	9,23	6,09	-26,56	19,54	3,38	Media <i>Rhinoclemmys punctularia</i>
	9,37	5,00	-26,08	19,53	3,93	Media <i>Chelonoidis denticulata</i>
Kinosternidae	10,70	4,39	-23,06	15,15	3,45	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	10,25	4,57	-23,58	17,29	3,79	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	8,81	4,51	-24,25	21,37	4,74	<i>Kinosternon scorpioides</i>
	9,92	4,49	-23,63	17,94	3,99	TOTAL MEDIA

Table 2 - Significance test of isotopic analyses

	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Carbon/Nitrogen (%)
F value	4,695	10,539	4,639
p value	0,00039	$2,77 \times 10^{-7}$	0,00043

For Review Only

Table 3- Overlap niche association, of $\delta^{15}\text{N}$ ($p < 0.05$)

SPECIES	p adjusted value
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0337
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0379
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0226
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0133
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0151
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0088
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0092
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0104
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0006
<i>Podocnemis unifilis</i> X <i>Rhinemys rufipes</i>	0.0449

Table 4- Overlap niche association, of $\delta^{13}\text{C}$ ($p < 0.05$)

SPECIES	p adjusted value
<i>Chelonoidis carbonaria</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0000
<i>Chelonoidis denticulata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0008
<i>Chelonoidis denticulata</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0041
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Platemys plathycephala</i>	0.0370
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0211
<i>Chelus fimbriata</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0001
<i>Mesoclemmys gibba</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0009
<i>Mesoclemmys gibba</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0037
<i>Peltocephalus dumerilianus</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0005
<i>Peltocephalus dumerilianus</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0063
<i>Phrynops geoffroannus</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0050
<i>Platemys plathycephala</i> X <i>Podocnemis erythrocephala</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis expansa</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis sextuberculata</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0017
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Rhinemys rufipes</i>	0.0000
<i>Podocnemis erythrocephala</i> X <i>Rhinoclemmys punctuaria</i>	0.0023
<i>Podocnemis sextuberculata</i> X <i>Podocnemis unifilis</i>	0.0020
<i>Podocnemis sextuberculata</i> X <i>Rhinoclemmys punctuaria</i>	0.0015

Table 5- Ecological data for the 14 species of continental turtles from the Legal Amazon analyzed in the research.

Species	Levin (Niche breadth)	Morisita-Horn (media with other species)	Pianka (overlap with other species)
<i>Chelonoidis carbonaria</i>	0,15262195006039000	0,8987618642978380	0,9952299982809500
<i>Chelonoidis denticulata</i>	0,2086723035483500	0,9061880233362820	0,9972262974421660
<i>Chelus fimbriata</i>	0,18740680778095600	0,906077571041626	0,9964806674773760
<i>Kinosternon scorpioides</i>	0,14034398577695900	0,8945906001390960	0,9963351484235710
<i>Mesoclemmys gibba</i>	0,21196818985480800	0,9060180767950990	0,9373639516011940
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	0,22526292369920700	0,9041635640632400	0,997163737116471
<i>Phrynops geoffroanus</i>	0,1898088508185650	0,9065333338931250	0,9969099350937800
<i>Platemys plathycephala</i>	0,10576280805930600	0,8622725261514590	0,9914880684308660
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	0,4052787665962980	0,8390650395105250	0,9864802733830990
<i>Podocnemis expansa</i>	0,2831172782332680	0,888398768621518	0,9946434518828950
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	0,0936452746338465	0,8471222198384090	0,9935327985361110
<i>Podocnemis unifilis</i>	0,3403696175768810	0,8671390126617530	0,9917792402213890
<i>Rhinemys rufipes</i>	0,14347193456594300	0,8958683950544390	0,9960406807090690
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	0,2028767043256220	0,900821850282905	0,9970176726423770