



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Luisa Maria Diele Viegas Costa Silva

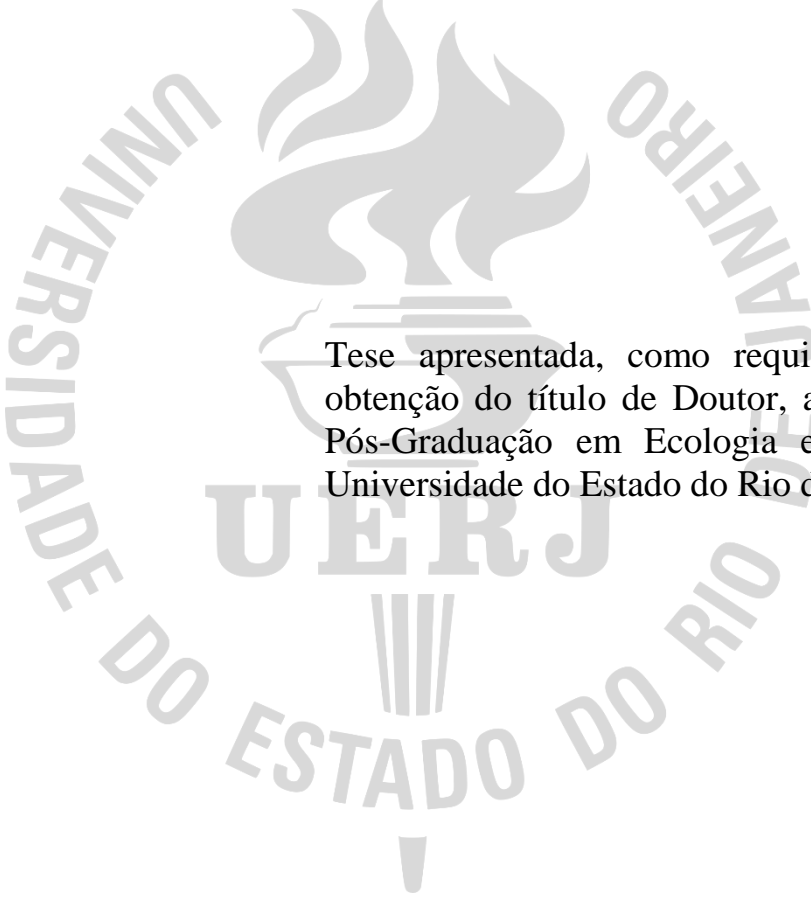
Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies

Rio de Janeiro

2019

Luisa Maria Diele Viegas Costa Silva

Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies



Tese apresentada, como requisito parcial da obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Frederico Duarte da Rocha

Coorientadora: Dra. Fernanda de Pinho Werneck

Rio de Janeiro

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/A

S586 Silva, Luisa Maria Diele Viegas Costa.
Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies. – 2019.
1050f. : il.

Orientadores: Carlos Frederico Duarte da Rocha
Fernanda Pinho Werneck

Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1. Lagarto - Teses. 2. Répteis - Teses. 3. Mudanças climáticas - Teses.
I. Rocha, Carlos Frederico Duarte da. II. Werneck, Fernanda Pinho. III.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto
Alcântara Gomes. IV. Título.

CDU 598.112

Patricia Bello Meijinhos CRB7/5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Luisa Maria Diele Viegas Costa Silva

Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies

Tese apresentada, como requisito parcial da obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 11 de março de 2019

Orientadores:

Prof. Dr. Carlos Frederico Duarte da Rocha (Orientador)

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Dra. Fernanda Pinho Werneck

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Oscar Rocha Barbosa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Mariana Moncassin Vale

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fábio Rubio Scarano

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Vanderlaine Amaral de Menezes

Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

Rio de Janeiro
2019

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todas as mulheres de luta que não aceitam o que a sociedade impõe, que não se calam frente à opressão, que vão atrás dos seus sonhos, que aprenderam a se amar, que aprenderam a voar, que se bastam e são livres. Nós resistiremos!

Ninguém solta a mão de ninguém.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Carlos Frederico Duarte da Rocha, não somente pela orientação, mas por todo o suporte, estímulo, apoio e dedicação durante esses dois intensos anos de curso. Obrigada por confiar em mim e por me estimular a dar o meu melhor desde o nosso primeiro contato. Obrigada por ser um exemplo de profissional íntegro, ético, cordial, dedicado, sempre disponível para os alunos e sempre com um sorriso no rosto. Obrigada por sua positividade e energia, seu otimismo e sua vontade de fazer as coisas darem certo. E, não menos importante, obrigada por sugerir e apoiar até o fim a decisão de fechar em dois anos uma tese de doutorado que começou com três e terminou com nove seções. Não sabendo que era impossível, a gente foi lá e fez, não é mesmo?

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, a CAPES, pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de doutorado pelo programa de excelência acadêmica (PROEX, nº 88882.182446/2018-01) e pelo programa de doutorado sanduíche no exterior (PDSE, nº 88881.188452/2018-01). Agradeço ainda ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, à Verusca Machado, a Sonia Pereira e todos os professores do PPG pelo suporte e assistência durante o curso. Também agradeço à Ohio University por me receber por seis meses e fornecer o suporte necessário para que esta tese fosse concluída durante o intercâmbio, e a Universidade da Califórnia, Santa Cruz, pelo suporte nos últimos 10 dias de intercâmbio.

Agradeço ao Dr. Fábio Rúbio Scarano, Dra. Jane C. F. de Oliveira, Dra. Maja Kajin, Dra. Mariana Vale, Dr. Oscar Barbosa, Dr. Ronaldo Fernandes e Dra. Vanderlaine Amaral de Menezes pela disponibilidade em avaliar a presente tese, seja na sua qualificação ou na sua defesa. Sua contribuição foi e será de grande importância para o aprimoramento do trabalho. À Vandy, agradeço ainda pelos 10 mais intensos e maravilhosos dias durante nossa expedição para o Arquipélago de Fernando de Noronha, que nos rendeu boas conversas, risadas e experiências. Agradeço também à Thayná Mello, coordenadora de pesquisa e manejo do ICMBio em Noronha, por todo o suporte durante a nossa estadia, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, o CNPq, pelo financiamento da expedição através do projeto “Mudanças climáticas globais e risco de extinção: alteração da tolerância, resistência e nicho térmico em lagartos de restinga endêmicos e ameaçados de extinção e anuros de altitude” (processo Nº 424473/2016-0).

Agradeço ao Dr. Donald Miles por me receber em Ohio de braços abertos. Seu suporte e apoio renderam grandes experiências, aprendizados, novas colaborações e com certeza uma amizade forte e duradoura. Obrigada por me receber como uma colaboradora e se despedir como um grande amigo. Também agradeço à Dra. Teresa Cristina Sauer de Ávila-Pires e ao Dr. Barry Sinervo, que desde 2014 me apoiam e dão suporte às minhas ideias e projetos. Ao Barry, agradeço ainda por me receber na Califórnia no final do meu intercâmbio e fazer cada segundo desses 10 dias serem de intenso aprendizado e diversão.

Agradeço a Dra. Fernanda Pinho Werneck pela co-orientação, e junto ao Dr. Guarino Rinaldi Colli, pelo suporte para a realização dos trabalhos de campo em Alta Floresta, Parque Nacional Mapinguari e Parque Nacional Campos Amazônicos. Tais experiências foram únicas e muito construtivas. Dito isso, agradeço ao Alan Filipe, Anandha Almeida, Davi Pantoja, Deborah Santos, Fabricius Domingos, Gabriela Carvalho, João Pantoja, Joseane Freitas, Júlio Alvarenga, Lídia Martins, Lucas Bandeira, Vitor Cavalcanti, e todos os pesquisadores maravilhosos que participaram destes três intensos campos. Foi incrível compartilhar esse tempo com vocês. Também agradeço a Ana Carolina e a Mariana Caldeira por me receberem em Brasília, não somente fornecendo apoio logístico, mas também garantindo bons momentos de diversão.

Agradeço ainda aos amigos que me acompanharam em campos anteriores, cujos dados também foram utilizados no desenvolvimento desta tese: Alexandre Missassi, Ana Paula Costa, André Nunes, Emerson Pontes, Gueviston Lima, Jorge Cosenza, Liriann Chrisley, Lis Franco, e todos os auxiliares de campo que facilitaram a nossa vida na selva amazônica. Vocês tornaram cada experiência única e inesquecível.

Agradeço ao Almir de Paula, Catherine Early, Donald Morgan, Eli Lee, Holly Latteman, JP, Julia Joos, Laura Zamorano, Sophie Mae Beery, Theresa Morgan, Tyler George, Wren Ingrid e todos os queridos amigos que fiz durante a minha estadia em Ohio. Também agradeço ao Gabriel Caetano, Luara Tourinho e Sofia Vámos por me receberem na Califórnia. Guardo cada um de vocês com muito carinho e espero revê-los o mais breve possível. Vocês são incríveis!

Agradeço a Izabel Cavallet pelo convite para dar uma palestra que se transformou em uma amizade maravilhosa e cheia de sinergia e suporte mútuo! E claro, não posso deixar de agradecer também ao Caio pelo nosso universo paralelo. Obrigada queridos!

Agradeço ainda aos amigos da pós, em especial a Beatriz Ferreira, Bruno Gorini, Igor Raposo e Ivy Miranda pelos melhores momentos osmóticos ao longo desses dois anos. Também agradeço aos amigos de vida, Bruno Freitas, Danillo Betbeder, Gabriel Brigatto,

Gabriela De La Rosa, Karen Sarmiento, Laís Patrícia, Mariana Oliveira, Souza Filho e Yasmin Pontual por existirem e estarem sempre presentes mesmo quando estávamos distantes fisicamente.

Agradeço a todas as mulheres do grupo Herpetólogas Brasileiras, pelo exemplo diário de força e resistência em uma sociedade patriarcal que tenta diminuir nossas conquistas e calar as nossas vozes. Em especial, agradeço à três mulheres de luta que não estão mais entre nós, mas são exemplos de força e resistência: Bertha Lutz, Marielle Franco e minha avó, Leila Diele Viegas. Que a gente continue lutando por igualdade, respeito e direitos iguais a todos. Juntas somos mais fortes!

Agradeço ao Rodrigo, por todo o suporte e companheirismo ao longo dessa caminhada. Obrigada por tornar as coisas mais leves e por apoiar minhas decisões. Também agradeço ao Calvin, a Luzi, e a família Tinoco por me receberem de braços abertos como parte da família, assim como o Daniel e a Estrella. Obrigada!

Por último, mas não menos importante, agradeço ao meu gato, Isaac Newton, pelo amor incondicional e pela companhia aconchegante e ronronante de sempre. A minha mãe, Andrea Viegas, meu pai, Sandro Costa, meu irmão, Natan Diele, minha tia, Lilia Viegas, meus avós, Néia e Ivan Soares, e (mais uma vez) à minha maior saudade, minha borboleta azul, minha força maior, minha avó, Leila Diele Viegas. Obrigada por serem meu porto seguro e minha maior fonte de inspiração e amor. Sem vocês eu não sou nada.

And if we could only step aside and trust in nature, life will find a way...

John Hammond, Jurassic Park

RESUMO

DIELE-VIEGAS, Luisa Maria. *Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies*. 2019. 1050f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

No presente trabalho, buscou-se avaliar a vulnerabilidade dos répteis Lepidosauria frente às mudanças climáticas em diferentes níveis taxonômicos e geográficos, mensurar o impacto destas em dois sistemas neotropicais, definir o papel das unidades de conservação na preservação das espécies e, a partir do conhecimento gerado, elaborar meios de sensibilizar a comunidade não-científica acerca da necessidade de se preservar estes animais e o ambiente em que estão inseridos. Desta forma, a primeira seção mostrou os principais padrões encontrados em relação aos efeitos das mudanças climáticas em Lepidosauria, com base na literatura disponível. A segunda seção visou avaliar os impactos das mudanças climáticas no Arquipélago de Fernando de Noronha, para que na terceiraseção pudesse ser mensurada a vulnerabilidade da espécie de lagarto endêmica do arquipélago, *Trachylepis atlantica*, baseada em fatores bióticos e abióticos. Da mesma forma, em umaquartaseção avaliou-se os impactos das mudanças climáticas na Amazônia, para que nas seções cinco, seis e sete a vulnerabilidade de espécies amazônicas pudesse ser avaliada através de diferentes abordagens em nível de comunidade, espécie e população. Por fim, nas seções oito e nove os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da tese foram traduzidos em uma linguagem acessível a diferentes públicos, de modo a promover a democratização da ciência.

Palavras-Chave: Risco de extinção.Lagartos.Sistemas.Exposição.Sensibilidade.Mudanças climáticas.Divulgação científica.

ABSTRACT

DIELE-VIEGAS, Luisa Maria. *Vulnerability of Squamata Reptiles to Climate Changes and the role of protected areas on the species' conservation*. 2019. 1050f. (Doutorado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

The present study aimed to evaluate the vulnerability of Lepidosauria to climate change considering different taxonomic and geographic levels, to measure the impact of climate changes in neotropical systems, to delimit the role of protected areas in species conservation and to elaborate means to sensitize the non-scientific community about the need of to preserve these species and their environments. Thus, in the first chapter the main patterns of climate change effects on Lepidosauria were showed based in the available literature. The second chapter aimed to evaluate the impacts of climate change on the Fernando de Noronha Archipelago, so that in the third chapter the vulnerability of the endemic lizard from the Archipelago, *Trachylepis atlantica*, could be measured based on biotic and abiotic factors. Similarly, in the fourth chapter the impacts of climate change on the Amazonian biome were evaluated, so that in the chapters five, six and seven the vulnerability of several Amazonian species could be evaluated through different approaches in community, species and population's level. Finally, in chapters eight and nine the results obtained in previously chapters were translated into a language more accessible to different publics, aiming to promote the science democratization.

Keywords: Extinction risk.Lizards.Systems.Exposure.Sensitivity.Climate change.Scientific communication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aspectos da biologia dos organismos terrestres impactados pelas mudanças climáticas.....	28
Figura 2 – Nuvem de palavras indicando os assuntos mais abordados relacionando mudanças climáticas e Lepidosauria	49
Figura 3 – Vulnerabilidade de Lepidosauria plotada em relação ao cladograma simplificado de PYRON et al. (2008).	50
Figura 4 – Vulnerabilidade dos táxons associada às regiões zoogeográficas do planeta.....	52
Figura 5 – Áreas potenciais para a conservação das espécies de Lepidosauria avaliadas.	54
Figura 6 – Contribuição (%) de diferentes grupos taxonômicos à pontuação do teste qui-quadrado obtido através da relação entre grupos, regiões zoogeográficas e assuntos abordados.	55
Figura 7 – Associação entre mudanças climáticas e vulnerabilidade de Lepidosauria.....	56
Figura 8 – Associação entre a distribuição dos táxons e as mudanças climáticas por regiões zoogeográficas.....	57
Figura 9 – Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha	109
Figura 10 – Limites geográficos atuais (LGA) e áreas potencialmente inundadas (API) do Arquipélago de Fernando de Noronha, considerando um aumento uniforme global de 1 m no nível do mar.....	110
Figura 11 – <i>Trachylepis atlantica</i>	121
Figura 12 – Arquipélago de Fernando de Noronha.....	123
Figura 13 – Medida de temperatura corpórea de <i>Trachylepis atlantica</i> na Baía do Sueste, Arquipélago de Fernando de Noronha.	124
Figura 14 – Testes de Temperatura preferencial e faixa de ajuste (a) e de tolerância térmica (b).	126
Figura 15 – Esteira de corrida para teste de desempenho locomotor.....	127
Figura 16 – Instalação de Onset Hobo® data loggers com modelos de PVC em ambiente potencialmente ocupado por <i>Trachylepis atlantica</i>	128
Figura 17 – Calibração de diferentes modelos de PVC para seleção do mais apropriado para reproduzir a temperatura operativa ambiental de <i>Trachylepis atlantica</i>	129
Figura 18 – Filogenia de Scincidae utilizada nos cálculos de Horas de Restrição de atividade, baseada em PEREIRA; SCHRAGO (2017).	132

Figura 19 – Distribuição atual amostrada de <i>Trachylepis atlantica</i> no arquipélago de Fernando de Noronha	133
Figura 20 – Curvas de desempenho térmico de <i>Trachylepis atlantica</i>	136
Figura 21 – Curva universal de horas de restrição (H_r) de Scincídeos.	138
Figura 22 – Previsões atual e futura de horas de restrição para <i>Trachylepis atlantica</i>	138
Figura 23 – Variação na média anual de temperatura e precipitação anual na Amazônia... 160	
Figura 24 – Sensibilidade da produtividade da vegetação da Pan–Amazônia.....	162
Figura 25 – Pontos de amostragem de de Lagartos na Amazônia	179
Figura 26 – Ocorrência de 52 espécies de lagartos nas nove localidades amostradas	184
Figura 27 – Adequabilidade térmica da Amazônia para a comunidade de lagartos	187
Figura 28 – Áreas potenciais para a conservação de Lagartos na Amazônia	188
Figura 29 – Unidades de Conservação que potencialmente abrigam mais de 20 espécies avaliadas	190
Figura 30 – <i>Ameiva ameiva</i>	201
Figura 31 – <i>Gonatodes humeralis</i>	202
Figura 32 – <i>Norops fuscoauratus</i>	203
Figura 33 – <i>Corallus hortulanus</i>	227
Figura 34 – Locais de amostragem de <i>Corallus hortulanus</i> na Floresta Amazônica.	229
Figura 35 – Dependência das Horas de restrição (H_r) e Horas de atividade (H_a) de <i>Corallus hortulanus</i> em $T_{max} - V_{tmax}$	233
Figura 36 – Distribuição potencial atual e futura de <i>Corallus hortulanus</i>	234
Figura 37 – Museu Nacional do Rio de Janeiro (a) Durante o incêndio; (b) No dia seguinte ao incêndio	253
Figura 38 – Répteis de Fernando de Noronha.....	263
Figura 39 – Limites geográficos atuais (LGA) e áreas previstas de serem potencialmente inundadas (API) no Arquipélago de Fernando de Noronha, considerando um aumento uniforme global de 1 m no nível do mar.	268
Figura 40 – Relações filogenéticas em Scincidae	269
Figura 41 – Curvas de desempenho térmico de <i>Trachylepis atlantica</i>	271
Figura 42 – Previsões atual e futura de horas de restrição para <i>Trachylepis atlantica</i>	273
Figura 43 – Variação na média anual de temperatura e precipitação anual na Pan–Amazônia.	279
Figura 44 – Sensibilidade da produtividade da vegetação da Pan–Amazônia.....	281
Figura 45 – Pontos de amostragem de de Lagartos na Amazônia	288

Figura 46 – Relações filogenéticas entre as espécies avaliadas	289
Figura 47 – <i>Copeoglossum nigropunctatum</i> (A) e <i>Kentropyx calcarata</i> (B).....	290
Figura 48 – Adequabilidade térmica da Amazônia para a comunidade de lagartos	291
Figura 49 – Áreas potenciais para a conservação de Lagartos na Amazônia	292
Figura 50 – <i>Corallus hortulanus</i>	293
Figura 51 – Distribuição potencial atual e futura de <i>Corallus hortulanus</i>	294
Figura 52 – Exemplos de negação do conhecimento científico	308
Figura 53 – Cartazes espalhados pela Ilha Grande em protesto contra o uso das redes de neblina em pesquisas científicas, com ataques diretos feitos aos pesquisadores responsáveis pela pesquisa.	309
Figura 54 – Divulgação do caso das redes de neblina.....	310
Figura 55 – Manifestações de apoio à pesquisadora da UERJ.....	310
Figura 56 – Uma herpetóloga de campo manipulando (a) uma serpente peçonhenta; (b) um filhote de jacaré; e (c) um jabuti.....	315
Figura 57 – Experimento para medir a temperatura que os répteis preferem (a) e a temperatura do ambiente em que eles são encontrados (b).....	317
Figura 58 – Uma herpetóloga de laboratório (a) fixando e (b) medindo lagartos de diferentes portes	318
Figura 59 – Exemplo de teia trófica do Jacaré	320
Figura 60 – A lagartixa de cauda azul e a <i>T. blackburniana</i>	320
Figura 61 – Grandes extinções em massa associadas à concentração de gás carbônico (CO ₂) na atmosfera	323
Figura 62 – Árvore filogenética mostrando os três grandes grupos de seres vivos	324
Figura 63 – Exemplo de interação ecológica entre espécies: predação	325
Figura 64 – Lagarto (a) em ambiente ensolarado; (b) em ambiente sombreado.....	326
Figura 65 – Exemplo de teste de fisiologia térmica em um lagarto	327
Figura 66 – Avaliação da vulnerabilidade de uma espécie de serpente frente às mudanças climáticas na América do Sul.....	328
Figura 67 – A bióloga Luisa Maria Diele–Viegas promovendo a popularização da ciência das mudanças climáticas para público leigo em Fernando de Noronha, Pernambuco	329
Figura 68 – Gases da Atmosfera	333
Figura 69 – O Efeito Estufa	334
Figura 70 – A Escala Geológica de Tempo	335

Figura 71 – Relação entre as extinções em massa e o CO ₂	335
Figura 72 – Trilobita e Placodermo	335
Figura 73 – Extinção Permo–Triássica	336
Figura 74 – Labirintodonte.....	336
Figura 75 – Extinção do K–Pg.....	337
Figura 76 – Relação entre a concentração de CO ₂ e a mudança da temperatura nos últimos 400.000 anos.....	337
Figura 77 – Geleira de Upsala, Argentina.....	339
Figura 78 – Espécies migratórias	339
Figura 79 – Filhotes de tartaruga no ninho	340
Figura 80 – O sapo dourado da Costa Rica, extinto por conta das mudanças climáticas ...	340
Figura 81 – Roedor australiano extinto por conta das mudanças climáticas	340
Figura 82 – Cenários de emissão de gases do efeito estufa	341
Figura 83 – Animais ectotérmicos	343
Figura 84 – Répteis	344
Figura 85 – Exemplo de cadeia trófica do Jacaré	345
Figura 86 – Extração de peçonha de uma serpente	348
Figura 87 – Fotossíntese.....	349
Figura 88 – E ai, posso contar com vocês?	352
Figura 89 – Então vem comigo!.....	355
Figura 90 – Árvore filogenética de parte da família Scincidae.....	356
Figura 91 – Mabuia termorregulando ao sol	357
Figura 92 – Mudanças climáticas? O que é isso?	358
Figura 93 – Socorro!	359
Figura 94 – Esquema da fotossíntese	360
Figura 95 – Consumo de energia	360
Figura 96 – Alimentos orgânicos	361
Figura 97 – Reciclagem	361
Figura 98 – Posso contar com vocês?	361
Figura 99 – Aquecimento global: Uma ameaça aos répteis tropicais. Palestra. Projeto TAMAR, Fernando de Noronha, Pernambuco. Julho/2018.....	364
Figura 100 – Bertha Lutz	379
Figura 101 – Número de mestres formados por idade	380
Figura 102 – Número de doutores formados por idade.....	380

Figura 103 – Número de Pós-graduandos formados por área de atuação entre 2000 e 2015	380
Figura 104 – Número de profissionais se formando mestres ou doutores entre 2000 e 2015	380
Figura 105 – Marielle Franco e representação iconográfica do movimento Marielle Presente (Reprodução).....	383
Figura 106 – A bióloga Luisa Maria Diele-Viegas em trabalho de campo tido como inadequado para mulheres.....	384
Figura S1 – Coordenadas das espécies avaliadas nos artigos revisados.	389
Figura S2 – Horas de restrição de atividade críticas para os scincídeos do Novo Mundo. .	390
Figura S3 – Horas de restrição de atividade críticas para os <i>Trachylepis</i> da África.....	391
Figura S4 – Adequabilidade térmica da Amazônia por espécie	392
Figura S5 – Distribuição bayesiana posterior para os índices de tolerância calculados.	404

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de espécies de répteis Lepidosauria avaliadas por táxon e por região zoogeográfica do mundo em termos de suas potenciais respostas às mudanças climáticas globais e à sua vulnerabilidade	51
Tabela 2 – Sumário dos efeitos potenciais das mudanças climáticas em diferentes parâmetros da ecologia/história natural e biologia geral de Lepidosauria.	72
Tabela 3 – Comparação dos resultados dos modelos de circulação global HADGEM2–ES e MIROC–ESM para as diferentes variáveis bioclimáticas avaliadas.	111
Tabela 4 – Variação climática prevista para 2070 no arquipélago de Fernando de Noronha, considerando 19 variáveis.	112
Tabela 5 – Exposição do arquipélago de Fernando de Noronha à variação mensal da precipitação (Prec), média de temperatura mínima (Tmin) e média de temperatura máxima (Tmax)	113
Tabela 6 – Fisiologia térmica de <i>Trachylepis atlantica</i> e resultados da Anova One Way comparando os sexos.	135
Tabela 7 – Previsões atuais e para o futuro de temperatura operativa ambiental (Toa) por hora de atividade de <i>Trachylepis atlantica</i> , margem de segurança térmica (MST), Qualidade térmica do ambiente (\bar{a}_e) e eficiência de termorregulação (E).	137
Tabela 8 – Exposição dos fatores climáticos na Pan–Amazônia	161
Tabela 9 – Exposição e sensibilidade da vegetação Pan–Amazônia, suas Unidades de Conservação	164
Tabela 10 – Matriz de espécies x locais amostrados.	181
Tabela 11 – Acurácia de T_c (\bar{a}_b), qualidade térmica (\bar{a}_e) e eficácia de termorregulação (E) das espécies de lagartos da Amazônia.	186
Tabela 12 – Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas	189
Tabela 13 – Tabela de vida das populações analisadas.	210
Tabela 14 – Intervalos de confiança para as taxas de crescimento populacional.	211
Tabela 15 – Sensibilidade e elasticidade das características vitais das populações avaliadas, com simulação de 10% da variação relativa no crescimento populacional em relação às taxas atuais.	212

Tabela 16 – Dados de fisiologia térmica das populações de <i>Corallus hortulanus</i> avaliadas	232
Tabela 17 – Temperatura operativa ambiental experimentada por <i>Corallus hortulanus</i> em três localidades da Amazônia brasileira.	232
Tabela 18 – Área de ocorrência potencial atual (AOPA) e futura (AOPF) de <i>Corallus hortulanus</i> dentro das Unidades de Conservação e potencial alteração na probabilidade de ocorrência da espécie (PAPO).....	235
Tabela 19 – Grau de <i>Exposição</i> do arquipélago de Fernando de Noronha às diferentes variáveis bioclimáticas.	266
Tabela 20 – Grau de <i>Exposição</i> do arquipélago de Fernando de Noronha à variação mensal da precipitação (Prec), média de temperatura mínima (Tmin) e média de temperatura máxima (Tmax).....	267
Tabela 21 – Fisiologia térmica de <i>Trachylepis atlantica</i> e resultados da Anova One Way comparando os sexos.....	270
Tabela 22 – Exposição dos fatores climáticos na Pan–Amazônia	280
Tabela 23 – Exposição, sensibilidade da vegetação e capacidade adaptativa da Pan– Amazônia, suas Unidades de Conservação	283
Tabela 24 – Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas	296
Tabela S1– Dados brutos dos artigos com enfoque nos efeitos das mudanças climáticas em Lepidosauria.	407
Tabela S2 – Coordenadas das espécies avaliadas.	510
Tabela S3 – Medidas estatísticas extraídas dos artigos avaliados e equivalente r de Pearson	582
Tabela S4 – Valores reais das horas de restrição críticas ($H_{r\text{ crítica}}$) por espécie.....	610
Tabela S5 – Dados brutos extraídos do WorldClim para a Pan–Amazônia e suas Unidades de Conservação.....	611

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	23
	OBJETIVOS	31
	REFERÊNCIAS	33
1	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E LEPIDOSAURIA: UMA AVALIAÇÃO GLOBAL	39
1.1	Introdução	43
1.2	Métodos	46
1.2.1	<u>Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE)</u>	47
1.2.2	<u>Meta-análises</u>	47
1.2.3	<u>Panbiogeografia</u>	48
1.3	Resultados e Discussão	49
1.4	Conclusões	75
1.5	Referências	77
2	O DESTINO DA ILHA: O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA	104
2.1	Introdução	107
2.2	Materiais e Métodos	108
2.3	Resultados e Discussão	110
2.4	Referências	114
3	IMPLICAÇÕES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FISIOLOGIA TÉRMICA E VULNERABILIDADE DE <i>TRACHYLEPIS ATLANTICA</i>, ESPÉCIE ENDÊMICA DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA	117
3.1	Introdução	120
3.2	Materiais e Métodos	123
3.2.1	<u>Dados de campo</u>	123
3.2.2	<u>Testes de fisiologia térmica</u>	124
3.2.3	<u>Análises</u>	129
3.3	Resultados	135
3.4	Discussão	139
3.5	Referências	143

4	MUDANÇAS CLIMÁTICAS, INSTABILIDADE POLÍTICA NO BRASIL E PERSPECTIVAS DA VULNERABILIDADE DA PAN-AMAZÔNIA	152
4.1	Introdução	154
4.2	Materiais e Métodos	157
4.3	Resultados e Discussão	159
4.3.1	<u>Mudanças climáticas</u>	159
4.3.2	<u>Perspectivas políticas no Brasil: de mal a pior, se as ações não forem revertidas</u>	167
4.4	Conclusões	169
4.5	Referências	170
5	VULNERABILIDADE NO NÍVEL DE COMUNIDADE: LAGARTOS DA AMAZÔNIA	174
5.1	Introdução	177
5.2	Materiais e Métodos	179
5.2.1	<u>Análises</u>	180
5.3	Resultados	184
5.4	Discussão	191
5.5	Referências	193
6	EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DINÂMICA POPULACIONAL DE TRÊS ESPÉCIES DE LAGARTOS AMAZÔNICOS	196
6.1	Introdução	198
6.2	Materiais e Métodos	201
6.2.1	<u>Espécies alvo</u>	201
6.2.2	<u>Tabela de vida</u>	203
6.2.3	<u>Dados de campo</u>	205
6.2.4	<u>Análise dos dados</u>	206
6.3	Resultados	209
6.4	Discussão	213
6.5	Referências	216
7	BIOLOGIA TÉRMICA E O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS POPULAÇÕES AMAZÔNICAS DE <i>CORALLUS HORTULANUS</i> (SQUAMATA: BOIDAE)	222
7.1	Introdução	225

7.2	 Materiais e Métodos	228
7.2.1	<u>Dados de campo</u>	228
7.2.2	<u>Análises</u>	230
7.3	 Resultados	232
7.4	 Discussão	239
7.5	 Referências	241
	 DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	244
	 CONTEXTUALIZAÇÃO	244
	 REFERÊNCIAS	246
8	 CONSERVAÇÃO EM FOCO	247
8.1	 Introdução	251
8.2	 Metodologia	257
8.3	 Resultados	258
8.3.1	<u>Documento 1</u>	261
8.3.2	<u>Documento 2</u>	275
8.4	 Referências	299
9	 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA COMO FERRAMENTA PARA A CONSERVAÇÃO AMBIENTAL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	304
9.1	 Introdução	307
9.1.1	<u>A importância da divulgação científica</u>	307
9.1.2	<u>A divulgação científica no âmbito das mudanças climáticas</u>	312
9.2	 Metodologia	313
9.3	 Resultados	314
9.3.1	<u>Por que precisamos conservar os répteis?</u>	314
9.3.2	<u>O biólogo na ciência das mudanças climáticas</u>	322
9.3.3	<u>O aquecimento global, a Amazônia e... os Lagartos?</u>	330
9.3.4	<u>Será que os répteis aguentam as mudanças climáticas?</u>	332
9.3.5	<u>As donas da ilha: Uma história real sobre as Mabuias de Noronha</u>	355
9.3.6	<u>Divulgação falada</u>	362
9.4	 Referências	365
	 CONCLUSÕES GERAIS	367
	 ANEXO A – Artigos Submetidos e/ou publicados em revistas indexadas ...	370
	 ANEXO B – Produtos para divulgação científica	376

ANEXO C – Figuras suplementares.....	389
ANEXO D – Tabelas suplementares (Somente na versão online).....	407
ANEXO E – Script das análises efetuadas no ambiente R (R CORE TEAM 2018; Somente na versão online).	905

INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas são definidas como qualquer mudança na média e/ou na variabilidade das propriedades climáticas que persistem por um período de tempo, podendo ser atribuídas a processos naturais ou mudanças antropogênicas na composição atmosférica e uso da terra (CUBASCH et al., 2013). A temperatura média da superfície da Terra aumentou de 3° a 8°C desde a última era do gelo (cerca de 10 mil anos atrás), flutuando por taxas máximas de mudança entre 1°C/kyr⁻¹ e 1,5°C/kyr⁻¹ (MASSON-DELMOTTE, et al., 2013). Diversas linhas de evidências têm mostrado que é extremamente provável que os fatores antropogênicos sejam a causa dominante da ampla extensão de mudanças ocorridas no clima do planeta desde meados do século XX (CUBASCH et al., 2013), alcançando um aumento de 0,85°C na temperatura média do ar entre 1901 e 2012 (HARTMANN et al., 2013). Portanto, o entendimento das mudanças históricas na temperatura da Terra é crucial para que sejam fornecidas melhores estimativas para o futuro da Terra, em um cenário de mudanças climáticas antropogênicas.

Passado

As informações paleoclimáticas documentam transições entre diferentes climas e escalas temporais e espaciais, informando acerca da variabilidade climática ao longo de séculos e milênios, contra as quais as mudanças climáticas recentes podem ser comparadas para se verificar se as mesmas são ou não incomuns ou inesperadas (MASSON-DELMOTTE, et al., 2013). As mudanças climáticas do Cenozóico contêm informação quantitativa relevante para se definir os efeitos no clima causados pelo homem, e períodos interglaciais anteriores, mais quentes que o Holoceno, podem ter um papel crucial para que se possa definir os níveis mais perigosos das mudanças climáticas (HANSEN; SATO, 2012).

A principal causa da variação climática ao longo do Cenozóico, bem como em outras eras geológicas, tem sido a concentração total de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, oceanos e solo, ou seja, na biosfera como um todo, que muda ao longo de milhões de anos devido ao desequilíbrio da fonte vulcânica e ao intemperismo (HANSEN; SATO, 2012). As alterações na temperatura global na primeira metade do Cenozóico (65,5 a 35 milhões de anos) foram consistentes com os efeitos esperados da deriva continental no CO₂ atmosférico (HANSEN; SATO, 2012). As oscilações de Milankovitch, ou variação orbital terrestre que faz com que a radiação solar atinja os hemisférios de maneira diferente, foram perceptíveis ao longo do Plioceno e Pleistoceno (5,33ma - presente) e alteraram a distribuição da insolação na

superfície da Terra (BERGER, 1978, MILANKOVITCH, 1941). Estas perturbações variaram lentamente, e as oscilações climáticas ocorreram na mesma frequência (HAYS; IMBRIE; SHACKLETON, 1976), demonstrando a sensibilidade do clima à uma força orbital fraca em escalas temporais milenares. Portanto, maiores mudanças climáticas devem ser esperadas em resposta à outras forças fracas e ao ruído climático (HANSEN; SATO, 2012).

Flutuações climáticas durante o Quaternário (2,58ma até o presente) promoveram consequências globais para a biota do passado e do presente (FORDHAM et al., 2017). São utilizadas estimativas de magnitude e frequência das mudanças paleoclimáticas desde o último glacial máximo (26,5 a 19ka) para testar teorias ecológicas e identificar como a dinâmica da biodiversidade foi moldada pelas alterações climáticas no passado (SVENNING et al., 2015). O Pleistoceno Superior (12,6 a 11,7ka) foi caracterizado por oscilações climáticas rápidas e intensas em nível regional, com variações de temperatura alcançando 16°C (COOPER et al., 2015). Essas flutuações rápidas e extremas, associadas a mudanças na paisagem, foram fatores importantes tanto na diversificação quanto na extinção de várias linhagens, além de estruturar processos de metapopulações em escala mais ampla (por exemplo, dispersão de longa distância e refúgio) envolvidos na manutenção da estabilidade do ecossistema (COOPER et al., 2015). Desta forma, a importância da velocidade das mudanças climáticas para um grupo depende da capacidade de dispersão de sua espécie (SANDEL et al., 2011).

Os padrões de diversidade e endemismo dos Tetrapoda (anfíbios, répteis, aves e mamíferos) também estão associados à velocidade com que as mudanças climáticas ocorreram no passado (ARAÚJO et al., 2008, SANDEL et al., 2011). Mudanças mais aceleradas estiveram associadas a maiores amplitudes de distribuição e baixa variação entre assembleias, enquanto mudanças mais lentas estavam associadas com altas taxas de endemismo e baixa capacidade de dispersão (SANDEL et al., 2011). Para os répteis e os anfíbios, espécies amplamente distribuídas tem suas distribuições atuais limitadas pelas mudanças climáticas recentes, enquanto espécies mais restritas tiveram sua distribuição limitada pelas condições climáticas do passado (JANSSON, 2003). Desta forma, espécies com distribuições mais restritas são ao menos parcialmente restritas devido à sua baixa habilidade de rastrear as mudanças climáticas (JANSSON, 2003).

Presente

A emissão antropogênica de gases do efeito estufa aumentou significativamente desde a era pré-industrial, devido ao avanço econômico e crescimento populacional. Entre 1750 e

2011, a concentração de CO₂ emitido acumulado superou os últimos 800 mil anos (STOCKER et al., 2013). Ao menos metade dessas emissões ocorreram entre 1970 e 2010, com aumento absoluto entre 2000 e 2010, apesar do crescente número de políticas aplicadas com o objetivo de se mitigar os efeitos das mudanças climáticas (FIELD et al., 2014).

As alterações na concentração de gases do efeito estufa na atmosfera já tiveram alguns efeitos importantes no sistema físico da Terra. O período de 1983 a 2012 foi considerado o período mais quente nos últimos 800 anos no hemisfério Norte, e a média global de temperatura da superfície da Terra e do oceano demonstrou um aquecimento de 0,85°C de 1880 a 2012 (STOCKER et al., 2013). Além disso, os oceanos aqueceram cerca de 0,11°C por década de 1971 a 2010, apresentando ainda uma diminuição no pH de 8,2 para 8,1 desde 1765 (CUBASCH et al., 2013). Houve uma perda de aproximadamente 49% do gelo marinho em nível global, considerando a média dos anos de 1979 e 2000, em comparação ao ano de 2012, sendo 18% considerando somente os registros de 2007 (HAAS et al., 2008, KWOK et al., 2009). Isso se deve principalmente ao aumento da expansão térmica e à contribuição do gelo terrestre, o que levou ainda a um aumento do nível do mar de $1,7 \pm 0,2$ mm/yr⁻¹ para $3,2 \pm 0,4$ mm/yr⁻¹ desde 1990 (CHURCH; WHITE, 2011, STOCKER et al., 2013).

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas vêm causando impactos em sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos (PINCEBOURDE et al., 2016). Mudanças nos regimes de precipitação e derretimento da neve e do gelo estão associadas a alterações em sistemas hidrológicos, afetando o escoamento e recursos aquáticos (FIELD et al., 2014). Eventos extremos se tornaram mais frequentes, tais quais alterações na intensidade dos extremos diários de temperatura, mortalidade e morbidade na América do Norte e Europa devido a eventos de aquecimento extremos, ocorrência de ondas de calor, secas, inundações, ciclones e focos de fogo selvagem (CADENHEAD et al., 2016, CUBASCH et al., 2013), o que apresenta impactos significativos nos ecossistemas naturais, biodiversidade e até sistemas humanos. Existem ainda indicativos de impactos dramáticos das mudanças climáticas em nível sistêmico, particularmente no ártico e para sistemas de recifes de corais (MOONEY et al., 2009).

Foram observadas alterações na fenologia de diversas espécies de plantas e animais, assim como a antecipação de eventos de primavera, tais quais o encerramento da hibernação, a floração das plantas e migração (e.g., COOK, et al., 2012; PEÑUELAS, et al., 2013; PRIMACK, et al., 2009). Muitas espécies também alteraram sua distribuição geográfica, atividades sazonais, abundância e interação em resposta às mudanças climáticas atuais (MCCARTY, 2001). Alguns efeitos do aumento da temperatura podem apresentar desafios

inesperados à conservação, como é o caso do desenvolvimento sexual dos embriões de tartarugas, onde o sexo é determinado pela temperatura do ambiente (BULL, 1980). Além disso, as mudanças climáticas recentes já levaram à extinção de algumas espécies, tais como o sapo dourado da Costa Rica, *Bufo periglenes* (Amphibia: Anura; POUNDS; CRUMP, 1994, POUNDS; FOGDEN; CAMPBELL, 1999), e o roedor australiano *Melomys rubicola* (Mammalia: Rodentia; GYNTHNER; WALLER; LEUNG, 2016).

Futuro

Projeções futuras são incertas devido a diversos fatores. No caso das projeções referentes às mudanças climáticas, esta incerteza se dá devido à dificuldade em definir cenários futuros das forças determinantes naturais e antropogênicas, a imprecisão de modelos acerca do sistema climático e a existência de variabilidade climática em escala local (COLLINS et al., 2013). Modelos climáticos, tais como os Modelos de Circulação Global (*General Circulation Models*, GMCs), são utilizados como representações de processos importantes no sistema climático da Terra, simulando diversos aspectos climáticos (FLATO et al., 2013). Os GMCs utilizam informações de diferentes cenários de poluentes do ar, emissões de gases do efeito estufa, ciclos biogeoquímicos e padrões de uso da terra para obter as projeções climáticas (FLATO et al., 2013). Tais cenários são chamados de vias de concentração representativas (*Representative Concentration Pathways*, RCPs) e são desenvolvidos utilizando-se diferentes alvos em termos de força radioativa para 2100, com gases do efeito estufa e emissões de aerossol consistentes com esses alvos (MOSS, et al., 2010). Quatro destes cenários foram considerados viáveis no último relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC), em 2014: RCP 2,6, que recupera os menores valores de concentração representativa, estimando uma redução da força radioativa de $0,4 \text{ Wm}^{-2}$, alcançando $2,6 \text{ Wm}^{-2}$ até o final do século XXI; RCP 4,5, que recupera valores médios-baixos e prevê uma estabilização em $4,5 \text{ Wm}^{-2}$; RCP 6,0, que recupera valores médios-altos e prevê uma estabilização em $6,0 \text{ Wm}^{-2}$, e RCP 8,5, que recupera valores altos e prevê uma força radioativa de $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ para 2100 e um aumento gradual após essa data (FIELD et al., 2014; VAN VUUREN et al., 2014). O primeiro cenário já foi descartado, enquanto o último é atualmente considerado como realista, uma vez que representa o “business-as-usual”, ou seja, a manutenção do padrão atual de emissões de gases, sem nenhuma redução em curto e médio prazo (IPCC, 2018).

O cenário “business-as-usual” (RCP 8,5) prevê que haverá um aumento na temperatura média global de até $4,8^\circ\text{C}$ ao final do século XXI em relação ao período entre

1850-1900 (COLLINS et al., 2013). Em altas latitudes e no Pacífico Equatorial, é previsto um aumento na precipitação média anual, enquanto que em latitudes médias e em regiões subtropicais secas prevê-se o oposto (COLLINS et al., 2013). Além disso, os oceanos se tornarão mais quentes, principalmente em regiões subtropicais do Hemisfério Norte, e mais ácidos, com uma diminuição de 0,06 a 0,32 no seu pH, além de ser previsto um aumento do nível do mar a uma taxa de 8 a 16 mm/ano (CHURCH et al., 2013).

Prever o risco potencial futuro causado pelas mudanças climáticas à biodiversidade se tornou uma linha de pesquisa bastante ativa nos últimos anos (BELLARD et al., 2012), e alguns estudos sugerem que as mudanças climáticas possam ser a maior ameaça à biodiversidade global nas próximas décadas (CAHILL, 2013). Além disso, é esperado que ocorram mudanças substanciais na estrutura e funcionamento dos ecossistemas marinhos e terrestres em um cenário de mudanças climáticas (FISCHLIN et al., 2007). As interações entre as mudanças previstas e a vulnerabilidade e exposição dos sistemas naturais e humanos irá aumentar o risco de impactos negativos intensos, severos e, em alguns casos, irreversíveis (FIELD et al., 2014). O conhecimento integrado acerca da fisiologia térmica dos organismos, comportamento, interações interespecíficas, plasticidade e informação genética pode ser crucial para acessar sua vulnerabilidade (e.g., BUCKLEY; HUEY, 2016, HUEY et al., 2012, ROMERO-DIAZ; BREEDVELD; FITZE, 2017) e potenciais impactos das mudanças climáticas sobre os diferentes níveis biológicos, fornecendo assim uma base para identificar, propor e estabelecer políticas conservacionistas.

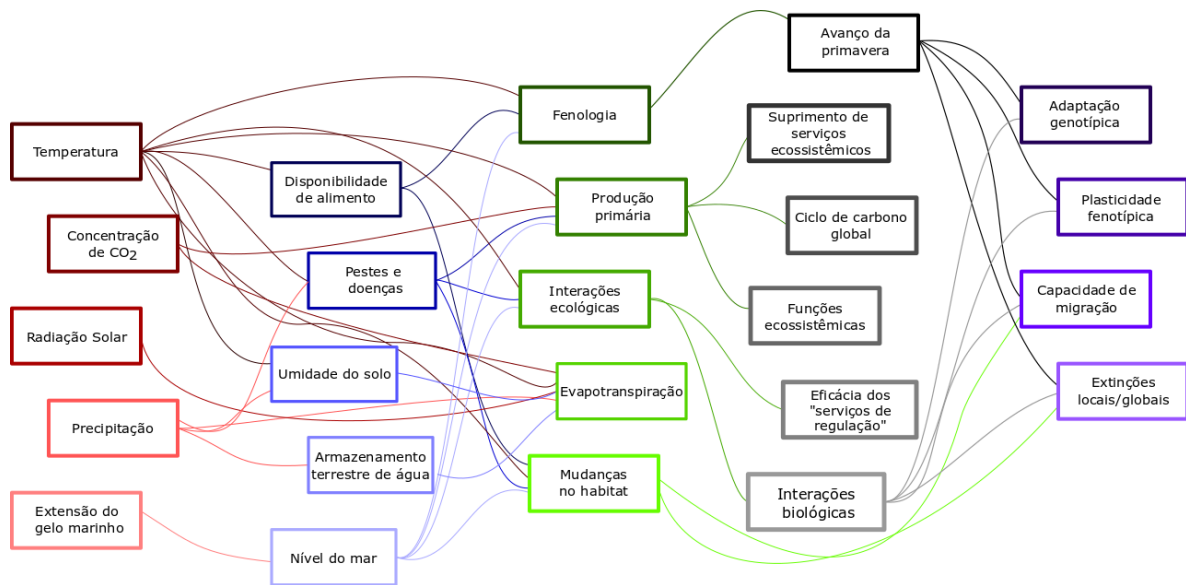
Vulnerabilidade

A vulnerabilidade biológica devido às mudanças climáticas é determinada pela interação entre a magnitude e a frequência das mudanças no clima aos quais o sistema é exposto, a sensibilidade do sistema à exposição que sofre e a resistência do sistema em manter sua estrutura, composição e funcionamento na presença dessas mudanças (DAWSON et al., 2011; OFORI et al., 2017; SMALL-LORENZ et al., 2013). Alterações nas funções e serviços ecossistêmicos são desencadeadas por mudanças abruptas no regime de perturbações, ou conjunto dos diferentes tipos de eventos de perturbações em um sistema (SETTELE et al., 2014). Essas mudanças podem influenciar mais as alterações na distribuição e abundância das espécies que a tolerância fisiológica às condições térmicas (THONICKE et al., 2001).

Diferentes aspectos da biologia dos organismos terrestres são importantes para delimitar os impactos do clima em seu funcionamento e sua vulnerabilidade às mudanças climáticas (Figura 1; SETTELE et al., 2014). Fenologia é um dos aspectos mais

documentados, com diferentes estudos focando na ocorrência antecipada de eventos da primavera devido às alterações climáticas, tais como reprodução, encerramento da hibernação e floração (e.g., COOK, et al., 2012; PARMESAN, 2007; PRODON et al., 2017).

Figura 1- Aspectos da biologia dos organismos terrestres impactados pelas mudanças climáticas.



Legenda: Componentes das mudanças climáticas estão em caixas vermelho/salmão; componentes indiretos em caixas azuis; aspectos biológicos impactados em caixas verdes; consequências do impacto em caixas pretas/cinzas; e respostas das espécies em caixas roxas.

A produção primária, bem como a produção de madeira e celulose, é sensível à maioria dos aspectos das mudanças do clima e também é indiretamente afetada pelos efeitos do clima em pragas e doenças (SEDDON et al., 2016; SETTELE et al., 2014). Nas plantas, a evapotranspiração pode ser afetada por fatores como temperatura, umidade e radiação solar e térmica (LUO, et al., 2008), enquanto que a transpiração pode ser afetada pela concentração de CO₂ (SETTELE et al., 2014). Considerando as interações ecológicas, a dieta de herbívoros, quantidade de presas para predadores, redes de polinizadores e abundância de espécies de pragas são também passíveis de sofrerem alterações (SCHWEIGER, et al., 2012; TYLIANAKIS, et al., 2008), assim como o habitat das espécies, devido à mudanças em sua qualidade e distribuição e/ou na distribuição das espécies (DULLINGER, et al., 2012; URBAN; TEWKSBURY; SHELDON, 2012).

A resposta de um sistema às mudanças climáticas pode ser avaliada pela sua capacidade de adaptar-se às alterações que sofreu (LINDNER et al., 2010). Áreas protegidas, como as unidades de conservação (UCs), apresentam de maneira geral um efeito inibidor no desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2010). Desta forma, podem ser bons indicadores para definir a capacidade adaptativa inerente a uma determinada área, sendo cruciais para a conservação deste ambiente e das espécies ali inseridas (SOARES-FILHO. et al., 2010). Apesar de sua importância, pouco se sabe acerca da relação entre as áreas protegidas, a vulnerabilidade do sistema em que estão inseridas e a vulnerabilidade dos organismos locais.

As respostas das espécies às alterações causadas pelas mudanças climáticas são principalmente conduzidas por adaptação, plasticidade e a capacidade de dispersão. Caso nenhuma dessas seja possível, as espécies irão provavelmente se extinguir local ou globalmente (e.g., BELLARD et al., 2012; PEÑUELAS, et al., 2013; SINERVO et al., 2010). A adaptação genotípica depende de mecanismos como a seleção de genes existentes e genótipos, hibridização e epigenética, e, se as pressões seletivas forem fortes o suficiente, podem ocorrer em poucas gerações (SETTELE et al., 2014). Portanto, espécies com ciclos de vida mais rápidos podem ter maior capacidade de apresentarem respostas adaptativas às mudanças climáticas (SETTELE et al., 2014). Alta plasticidade fenotípica pode aumentar as chances de adaptação caso haja baixos custos fisiológicos, porém se os custos forem altos, esse aumento será modesto (CHEVIN; LANDE; MACE, 2010). A eficácia da habilidade de movimentação das espécies depende da sua taxa de dispersão, o que para muitas espécies é mais lenta que a movimentação do envelope climático e pode ser afetada por alterações nas interações ecossistêmicas e pela criação de barreiras como a fragmentação do habitat, estradas, assentamentos humanos e represas (SETTELE et al., 2014) .

Devido à ectotermia, os répteis são particularmente sensíveis às mudanças na temperatura ambiental e insolação, uma vez que sua temperatura corpórea varia de acordo com a temperatura do ambiente e influencia todos os seus processos comportamentais e fisiológicos (HUEY, 1982). A relação entre diferentes aspectos da fisiologia térmica das espécies, tais como a temperatura preferencial, performance em diferentes temperaturas e limites térmicos, pode representar uma boa medida para entender os efeitos das mudanças climáticas na distribuição das espécies (e.g., DIELE-VIEGAS et al., 2018; KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016; SINERVO et al., 2010). Por exemplo,

preferências térmicas e curvas de performance mais amplas podem não permitir uma resposta evolutiva rápida às mudanças climáticas, o que pode ser um indicativo acerca da vulnerabilidade das espécies (DIELE-VIEGAS *et al.* 2018). Além disso, algumas espécies já vivem sob temperaturas corpóreas acima de seus ótimos fisiológicos em florestas tropicais (DIELE-VIEGAS *et al.*, 2018; HUEY *et al.*, 2009).

Muitos estudos têm focado em determinar possíveis impactos das mudanças climáticas nos répteis, especialmente nos Lepidosauria, a nível global, regional e local. Alguns deles também buscaram avaliar sua capacidade adaptativa, tendo a maioria deles sido publicada na última década. Apesar disso, nenhum estudo traz uma abordagem abrangente acerca da vulnerabilidade dessas espécies, buscando padrões em diferentes regiões geográficas ou níveis taxonômicos.

No Brasil, existe ainda um grande déficit de informação acerca da vulnerabilidade destes animais frente às mudanças climáticas. Apenas três trabalhos com foco exclusivamente em lagartos ou serpentes brasileiras estão disponíveis na literatura, tendo sido publicados nos últimos três anos (CATEN *et al.*, 2017; PONTES-DA-SILVA *et al.*, 2018; PRATES *et al.*, 2016). Essa falta de informação científica na temática se reflete no desconhecimento por parte da comunidade não científica brasileira acerca da importância da preservação das nossas florestas e dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade. O discurso da necessidade de se preservar o ambiente vem perdendo força nos últimos anos, devido a diversas políticas públicas que vão de encontro às questões ambientais (BARLOW *et al.*, 2012; ROCHEDO *et al.*, 2018). Por isso, é importante sensibilizar a população além do meio acadêmico, de modo que seja possível retomar o discurso da preservação do meio ambiente e a sua biodiversidade e ressaltar o papel da sociedade na viabilização dessa preservação.

OBJETIVOS

Desta forma, no presente estudo buscou-se avaliara vulnerabilidade dos répteis Lepidosauria em diferentes níveis taxonômicos e geográficos frente às mudanças climáticas, mensurar o impacto destas em dois sistemas neotropicais com diferentes características climáticas, definir o papel das unidades de conservação na preservação das espécies e, a partir do conhecimento gerado, elaborarmeios de sensibilizar a comunidade não-científica acerca da necessidade de se preservar estes animais e o ambiente em que estão inseridos. Para isso, a tese foividivida em nove seções organizadas em três partes, a saber:

1. Mudanças Climáticas e Lepidosauria: Uma avaliação global, cujo objetivo foi identificar potenciais tendências ou padrões em relação aos efeitos das mudanças climáticas neste grupo de animais ao redor do mundo, através de uma abordagem macroecológica com base na literatura disponível;

Parte I. Arquipélago de Fernando de Noronha

2. O destino da ilha: O impacto das mudanças climáticas no Arquipélago de Fernando de Noronha, cujo objetivo foi estimar o grau em que o arquipélago de Fernando de Noronha pode ser susceptível aos efeitos adversos das mudanças climáticas, considerando sua exposição às alterações no clima e aumento do nível do mar;

3. Implicações das mudanças climáticas na fisiologia térmica e vulnerabilidade de *Trachylepis atlantica*, espécie endêmica do arquipélago de Fernando de Noronha, cujo objetivo foi quantificar a habilidade da espécie em rastrear as mudanças climáticas e mensurar o risco de extinção associado, avaliando a sua biologia térmica.

Parte II. Amazônia

4. Mudanças climáticas, instabilidade política no Brasil e perspectivas da vulnerabilidade da Pan-Amazônia, cujo objetivo foi avaliar a vulnerabilidade do bioma amazônico frente às mudanças climáticas mensurando a sua exposição à diversos fatores climáticos e a sensibilidade da vegetação a essa exposição, além de avaliar as possíveis consequências das perspectivas políticas do Brasil para a conservação do bioma, após as eleições presidenciais de 2018;

5. Vulnerabilidade no nível de comunidades: Lagartos da Amazônia, onde o objetivo foi definir a adequabilidade térmica do ambiente para 40 espécies de lagartos da Amazônia, com enfoque nas Unidades de Conservação, de modo a quantificar a probabilidade de persistência das espécies nestes locais e determinar as principais áreas para a conservação destas espécies;

6. Efeitos das mudanças climáticas na dinâmica populacional de três espécies de lagartos amazônicos, cujo objetivo foi avaliar a influência das mudanças climáticas nas taxas de reprodução e de sobrevivência de três espécies de lagartos (*Ameiva ameiva*, *Gonatodes humeralis* e *Norops fuscoauratus*) em duas localidades da Amazônia brasileira;

7. Biologia térmica e o impacto das mudanças climáticas nas populações amazônicas de *Corallus hortulanus* (Squamata: Boidae), cujo o objetivo foi avaliar a qualidade térmica do bioma amazônico para a espécie, além de modelar a sua persistência em um cenário de mudanças climáticas considerando as unidades de conservação em que ela potencialmente ocorre.

Parte III. Divulgação científica

8. Unidades de Conservação em foco, com o objetivo de subsidiar os gestores das UCs da Amazônia e do arquipélago de Fernando de Noronha em termos dos potenciais impactos das mudanças climáticas e a vulnerabilidade das espécies de lagartos que lá ocorrem facilitando a promoção de ações mitigatórias;

9. Conhecer para preservar: a ciência é para todos, com o objetivo de divulgar os resultados obtidos durante a elaboração do presente estudo em linguagem acessível para diferentes públicos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. B. et al. **Quaternary climate changes explain diversity among reptiles and amphibians.** *Ecography*, [s.l.], v. 31, n° 1, p. 8–15, 2008. ISBN: 0906-7590, ISSN: 09067590, DOI: 10.1111/j.2007.0906-7590.05318.x.
- BARLOW, J. et al. **Brazil's environmental leadership at risk.** *Science*, [s.l.], v. 346, n° 6210, p. 706–707, 2012. ISBN: 1095-9203 (Electronic)r0036-8075 (Linking), ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1260194.
- BELLARD, C. et al. **Impacts of climate change on the future of biodiversity.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 15, n° 4, p. 365–377, 2012. ISBN: 0471142905, ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.
- BERGER, A. L. **Long term variations of daily insolation and quaternary climate changes.** *Journal of the Atmospheric Sciences*, [s.l.], v. 35, p. 2362–2367, 1978.
- BUCKLEY, L. B.; HUEY, R. B. **Temperature extremes: geographic patterns, recent changes, and implications for organismal vulnerabilities.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 22, n° 12, p. 3829–3842, 2016. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13313.
- BULL, J. J. **Sex determination in reptiles.** *Quarterly Review of Biology*, [s.l.], v. 55, p. 3–21, 1980.
- CADENHEAD, N. C. R. et al. **Climate and Fire Scenario Uncertainty Dominate the Evaluation of Options for Conserving the Great Desert Skink.** *Conservation Letters*, [s.l.], v. 9, n° 3, p. 181–190, 2016. ISBN: 1755-263X, ISSN: 1755263X, DOI: 10.1111/conl.12202.
- CAHILL, A. **How does climate change cause extinction? ... of the Royal ...**, [s.l.], 2013a. ISSN: 1471-2954, DOI: 10.1098/rspb.2012.1890.
- CATEN, C. T. et al. **Evaluating the Effectiveness of Brazilian Protected Areas Under Climate Change.** *Tropical Conservation Science*, [s.l.], v. 10, p. 194008291772202, 2017. ISSN: 1940-0829, DOI: 10.1177/1940082917722027.
- CHEVIN, L. M.; LANDE, R.; MACE, G. M. **Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: Towards a predictive theory.** *PLoS Biology*, [s.l.], v. 8, n° 4, 2010. ISBN: 0028-646Xn1469-8137, ISSN: 15449173, DOI: 10.1371/journal.pbio.1000357.
- CHURCH, J. A., WHITE, N. J. **Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century.** *Surveys in Geophysics*, [s.l.], v. 32, p. 582–602, 2011.
- CHURCH, J. A. et al. **Chapter 13 - Sea level change.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 1137–1216, 2013. ISBN: ISBN 978-1-107-66182-0, ISSN: 0074-6142, DOI: 10.1017/CB09781107415315.026.
- COLLINS, M. et al. **Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,

[s.l.], p. 1029–1136, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 9781107415324, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.024.

COOK, B.I. et al. **Sensitivity of spring phenology to warming across temporal and spatial climate gradients in two independent databases.** *Ecosystems*, [s.l.], v. 15, n° 8, p. 1283–1294., 2012.

COOPER, A. et al. **Abrupt warming events drove Late Pleistocene Holarctic megafaunal turnover.** *Science*, [s.l.], v. 349, n° 6248, p. 602–606, 2015. ISBN: 0036-8075, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.aac4315.

CUBASCH, U. et al. **Introduction in Climate Change 2013.** *Intergovernmental Panel on Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 119–158, 2013. ISBN: ISBN 978-1-107-66182-0, ISSN: 1476-4687, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.007.

DAWSON, T. P. et al. **Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6025, p. 53–58, 2011. ISBN: 1095-9203 (Electronic)n0036-8075 (Linking), ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1200303.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, 2018. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

DULLINGER, S. et al. **Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first century climate change.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 2, n° (8), p. 619–622., 2012.

FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.

FISCHLIN, A. et al. **Ecosystems, their properties, goods, and services.** In: **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, M.L. Parry, O.F. Canziani,. *Cambridge University Press, Cambridge*, [s.l.], p. 211–272, 2007.

FLATO, G. et al. **Evaluation of Climate Models.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 741–866, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 1476-4687, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.

FORDHAM, D. A. et al. **PaleoView: a tool for generating continuous climate projections spanning the last 21 000 years at regional and global scales.** *Ecography*, [s.l.], v. 40, n° 11, p. 1348–1358, 2017. ISBN: 6503251521, ISSN: 16000587, DOI: 10.1111/ecog.03031.

GYNTHER, I.; WALLER, N.; LEUNG, L. K. **Confirmation of the extinction of the Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* on Bramble Cay , Torres Strait: results and conclusions from a comprehensive survey in August–September 2014.** *Unpublished report to the Department of Environment and Heritage Protection, Queensland Government, Brisbane*, [s.l.], n° September 2014, p. 59, 2016.

HAAS, C. et al. **Reduced ice thickness in Arctic Transpolar Drift favors rapid ice retreat.** *Geophysical Research Letters*, [s.l.], v. 35, p. L17501, 2008.

HANSEN, J. E.; SATO, M. **Paleoclimate Implications for Climate Sensitivity and Human-Made Climate Change.** [s.l.], v. 14, p. 11899, 2012. ISBN: 978-3-7091-0973-1, DOI: 10.1007/978-3-7091-0973-1.

HARTMANN, D. L. et al. **Observations: Atmosphere and surface.** *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], v. 9781107057, p. 159–254, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.008.

HAYS, J.D., IMBRIE J., SHACKLETON, N. J. **Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages.** *Science*, [s.l.], v. 194, p. 1121–1132, 1976.

HUEY, R. B. **Temperature, physiology, and the ecology of reptiles.** *Biology of the Reptilia Vol. 12. Physiology C. Physiological Ecology*, [s.l.], v. 12, p. 25–91, 1982. ISBN: 0122746120, ISSN: 09670637, DOI: 10.1016/j.dsr.2014.07.003.

HUEY, R. B. et al. **Predicting organismal vulnerability to climate warming: Roles of behaviour, physiology and adaptation.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 367, n° 1596, p. 1665–1679, 2012. ISBN: 0962-8436, ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rstb.2012.0005.

HUEY, R. B. et al. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–48, 2009. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers.** [s.l.], n° October 2018, 2018.

JANSSON, R. **Global patterns in endemism explained by past climatic change.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 270, n° 1515, p. 583–590, 2003. ISBN: 0962-8452 (Print), ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.2002.2283.

KUBISCH, E. L.; FERNÁNDEZ, J. B.; IBARGÜENGOYTÍA, N. R. **Vulnerability to climate warming of *Liolaemus pictus* (Squamata, Liolaemidae), a lizard from the cold temperate climate in Patagonia, Argentina.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 186, n° 2, p. 243–253, 2016. ISBN: 1432-136X (Electronic)0174-1578 (Linking), ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-015-0952-2.

KWOK, R. et al. **Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, [s.l.], v. 114, p. C07005., 2009.

LINDNER, M. et al. **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems.** *Forest Ecology and Management*, [s.l.], v. 259, n° 4, p. 698–709, 2010. ISBN: 0378-1127, ISSN: 03781127, DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023.

LUO, Y.Q. et al. **Modeled interactive effects of precipitation, temperature, and CO₂ on ecosystem carbon and water dynamics in different climatic zones.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 14, n° (9), p. 1986–1999, 2008.

MASSON-DELMOTTE, V. et al. **Information from Paleoclimate Archives.** [s.l.], p. 383–464, 2013. ISBN: 9781107057999, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.013.

MCCARTY, J. **Ecological consequences of recent climate change.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 15, n° 2, p. 320–331, 2001. ISBN: 253, ISSN: 0888-8892, DOI: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x.

MILANKOVITCH, M. **Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem.** *Royal Serbian Academy, Section of Mathematical and Natural Sciences*, [s.l.], v. 33, 1941.

MOONEY, H. et al. **Biodiversity, climate change, and ecosystem services.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, [s.l.], v. 1, n° 1, p. 46–54, 2009. ISBN: 1877-3435, ISSN: 18773435, DOI: 10.1016/j.cosust.2009.07.006.

MOSS, R. H. et al. **The next generation of scenarios for climate change research and assessment.** *Nature*, [s.l.], v. 463, p. 747–756, 2010.

OFORI, B. Y. et al. **Influence of adaptive capacity on the outcome of climate change vulnerability assessment.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n° 1, 2017. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-017-13245-y.

PARMESAN, C. **Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 13, n° (9), p. 1860–1872, 2007.

PEÑUELAS, J. et al. **Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 8, n° 2303–2338, 2013.

PINCEBOURDE, S. et al. **Fine-scale microclimatic variation can shape the responses of organisms to global change in both natural and urban environments.** *Integrative and Comparative Biology*, [s.l.], v. 56, n° 1, p. 45–61, 2016. ISSN: 15577023, DOI: 10.1093/icb/icw016.

PONTES-DA-SILVA, E. et al. **Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, 2018. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.013.

POUNDS, J. A., CRUMP, M. L. **Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 8, p. 72–85, 1994.

POUNDS, J. A.; FOGDEN, M. P. L.; CAMPBELL, J. H. **letters to nature Biological response to climate change on a tropical mountain.** [s.l.], v. 398, n° April, p. 611–615, 1999.

PRATES, I. et al. **Inferring responses to climate dynamics from historical demography in neotropical forest lizards.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 113, n° 29, p. 7978–7985, 2016. ISBN: 1601063113, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1601063113.

PRIMACK, R.B. et al. **Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 142, n° 11, p. 2569–2577, 2009.

PRODON, R. et al. **A reversal of the shift towards earlier spring phenology in several Mediterranean reptiles and amphibians during the 1998–2013 warming slowdown.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 23, n° 12, p. 5481–5491, 2017. ISBN: 4955139574, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13812.

ROCHEDO, P. R. R. et al. **The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 8, n° 8, p. 695–698, 2018. ISSN: 17586798, DOI: 10.1038/s41558-018-0213-y.

ROMERO-DIAZ, C.; BREEDVELD, M. C.; FITZE, P. S. **Climate Effects on Growth, Body Condition, and Survival Depend on the Genetic Characteristics of the Population.** *The American Naturalist*, [s.l.], v. 190, n° 5, p. 000–000, 2017. ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/693780.

SANDEL, B. et al. **The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism.** *Science*, [s.l.], v. 334, n° 6056, p. 660–664, 2011. ISBN: 0036807510959203, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1210173.

SCHWEIGER, O. et al. **Increasing range mismatching of interacting species under global change is related to their ecological characteristics.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 21, n° (1), p. 88–99, 2012.

SEDDON, A. W. et al. **Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability.** *Nature*, [s.l.], v. 531, n° 7593, p. 229–232, 2016. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature16986.

SETTELE, J. et al. **Chapter 4 - Terrestrial and inland water systems.** *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 271–359, 2014. ISBN: 1102700991936, ISSN: 15372537, DOI: 31 March 2014.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

SMALL–LORENZ, S. L. et al. **Blind spot in climate change vulnerability assessments.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 3, p. 91–93, 2013.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n° 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

STOCKER, T. F. et al. **Technical Summary.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 33–115, 2013. ISBN: 9781107661820, ISSN: 1476-4687, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.005.

SVENNING, J.C. et al. **The Influence of Paleoclimate on Present–Day Patterns in Biodiversity and Ecosystems.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, [s.l.], v. 46, p. 551–572, 2015.

THONICKE, K. et al. **The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a Dynamic Global Vegetation Model.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 10, p. 661–667, 2001.

TYLIANAKIS, J. M. et al. **Global change and species interactions in terrestrial ecosystems.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 11, n^o (12), p. 1351–1363, 2008.

URBAN, M.C., TEWKSBURY, J. J. AND SHELDON, K. S. **On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change.** *Proceedings of the Royal Society B*, [s.l.], v. 279, n^o (1735), p. 2072–2080, 2012.

VAN VUUREN, D. P. et al. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n^o 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E LEPIDOSAURIA: UMA AVALIAÇÃO GLOBAL

Artigo publicado:

Diele-Viegas, L. M. e Rocha, C. F. D., 2018. Unraveling the influences of Climate Change in Lepidosauria (Reptilia). *Journal of Thermal Biology*, 78, 401-414. Doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.005

Artigo em revisão:

Diele-Viegas, L. M., Figueroa, R. T. e Rocha, C. F. D. Are reptiles toast? A worldwide evaluation of the Lepidosaurians vulnerability to climate change. *Em revisão (Ecography)*.

RESUMO

Nas últimas décadas, as alterações climáticas vêm causando impactos em sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos, e muitas espécies já apresentaram mudanças na sua distribuição geográfica, atividade sazonal, padrões de migração, abundância e interações como resposta. Projeções acerca das mudanças climáticas para o futuro são incertas, mas o aquecimento global é passível de exceder 4,8°C até o final do século XXI. Prever o potencial risco para a biodiversidade causado pelas mudanças climáticas tem se tornado uma linha de pesquisa bastante ativa, e muitos estudos nas últimas duas décadas tem focado em determinar os possíveis impactos causados nos Lepidosauria, em uma escala global, regional e local. Nesta seção foi conduzida uma revisão sistemática de estudos publicados buscando avaliar a extensão em que o conhecimento acumulado permite identificar possíveis tendências e padrões a respeito dos efeitos das mudanças climáticas em lagartos, serpentes, anfisbenas e tuatara. Os efeitos das mudanças climáticas nos Lepidosauria ao redor do mundo foram avaliados de modo a determinar padrões gerais em regiões zoogeográficas e ao longo dos táxons do grupo, além de identificar as potenciais áreas para conservação das espécies avaliadas. Foi conduzida uma busca pela literatura e recuperados 255 artigos focando nos efeitos das mudanças climáticas nas espécies de Lepidosauria. A maioria dos estudos focou nos efeitos na distribuição das espécies, seguido pela biologia térmica, biologia reprodutiva, comportamento e genética. A maioria das regiões zoogeográficas não foram amostradas homoganeamente, faltando estudos focando em diversas áreas, além de muitas áreas terem sido subamostradas em relação à diversidade local conhecida. A vulnerabilidade destes animais foi quantificada em associação à parcimônia de endemismo, e mostrou que a maioria

das regiões zoogeográficas apresentou pelo menos três táxons com mais de 50% das espécies avaliadas consideradas como vulneráveis às mudanças climáticas. Foi visto ainda que as mudanças climáticas estão afetando a distribuição dos táxons globalmente. Além disso, há uma possível relação entre filogenia e vulnerabilidade no grupo, que apresentou um aumento na vulnerabilidade em clados mais derivados. Por fim, espécies de diferentes ambientes com diferentes características climáticas são igualmente vulneráveis, indicando que a vulnerabilidade das espécies não corresponde com as condições climáticas relacionadas a biogeografia local. As regiões Neotropical, Afrotropical, Australiana e Neártica apresentaram o maior número de áreas potenciais para a conservação das espécies. Porém, áreas com alto potencial de conservação devido à alta concentração espacial da diversidade também apresentaram altas taxas de vulnerabilidade de espécies. Esses padrões globais de vulnerabilidade indicam a necessidade de esforços para a conservação em pequena escala nestas regiões, com enfoque em regiões especialmente diversas, de modo a suportar uma grande abundância de espécies. Uma abordagem integrativa incluindo variáveis biológicas, bioclimáticas e ambientais pode levar a estratégias consistentes e efetivas para a conservação das espécies, visando amenizar os efeitos das mudanças climáticas neste grupo de répteis.

Palavras-Chave: Squamata. Rhynchocephalia. Mudanças Climáticas. Revisão. Biologia térmica. Genética. Biologia reprodutiva. Distribuição de Espécies. Regiões Zoogeográficas.

ABSTRACT

In recent decades, changes in climate have caused impacts on natural and human systems on all continents and across the oceans and many species have shifted their geographic ranges, seasonal activities, migration patterns, abundances and interactions in response. Projections of future climate change are uncertain, but the Earth's warming is likely to exceed 4.8°C by the end of 21st century. Predicting the potential future risks to biodiversity caused by climate change has become an extremely active field of research, and several studies in the last two decades had focused on determining possible impacts of climate change on Lepidosaurians, at a global, regional and local level. In this chapter a systematic review of published studies was conducted in order to seek to what extent the accumulated knowledge currently allow us to identify potential trends or patterns regarding climate change effects on lizards, snakes, amphisbaenians and tuatara. The climate change effects on Lepidosauria around the world were evaluated in order to determine general trends on zoogeographical realms and taxa, and the potential areas for conservation of the evaluated species. A literature search was conducted and recorded 255 articles focusing on the effects of climate change on Lepidosauria species. Most of the studies focused on species distribution, followed by thermal biology, reproductive biology, behavior and genetics. Most of zoogeographical realms were not sampled homogeneously, lacking studies focusing on species from several areas, and some are subsampled in relation to the known local diversity. The vulnerability of these animals associated to parsimony of endemism was quantified and showed that most of the zoogeographical realms presented at least three taxa with more than 50% of the evaluated species considered as vulnerable to global warming. Also, climate change is affecting globally the taxa geographical distribution, and there is a possible relationship between phylogeny and vulnerability among Lepidosaurians, which presented an increase in vulnerability towards more derived clades. Finally, species from environments with different climatic features are equally vulnerable, indicating that the species' vulnerability does not correspond with biogeographic-related climatic conditions. Neotropical, Afrotropical, Australian and Nearctic realms embrace the highest number of potential areas for conservation of these species. Areas with higher potential for conservation due to the high spatial concentration of diversity also presented high ratios of species vulnerability. These global vulnerability patterns indicate a paramount need for conservation efforts at a small scale on these realms, focusing on especially diverse areas, prompt to support many species in abundance. An integrative approach including both biological, bioclimatic and environmental variables may lead to

consistent and truly effective strategies for species conservation, aiming to buffer the climate change effects on this group of reptiles.

Keywords: Squamata. Rhynchocephalia. Climate Change. Review. Thermal biology. Genetics. Reproductive biology. Behavior. Species distributions. Zoogeographical realms.

1.1 Introdução

As mudanças climáticas são definidas como qualquer mudança na média ou variabilidade das propriedades climáticas que persiste ao longo de um determinado período de tempo, causadas por processos naturais ou mudanças antropogênicas na composição da atmosfera e uso da terra (CUBASCH et al., 2013). Durante o Quaternário (2,58 Ma até o presente), as flutuações climáticas promoveram consequências na biota do passado e do presente em todo o planeta (FORDHAM et al., 2017). As flutuações de temperatura mais extremas associadas com mudanças no ambiente foram fatores importantes na extinção de muitas linhagens (COOPER et al., 2015). Apesar disso, a importância da velocidade das mudanças climáticas para um determinado grupo de organismos depende da sua capacidade de dispersão, uma vez que as estruturas e processos das meta-populações estão envolvidos em manter a estabilidade do ecossistema durante as repetidas fases das mudanças climáticas (COOPER et al., 2015).

A velocidade das mudanças climáticas do passado também está relacionada aos padrões de endemismo em diversos grupos, como para os Tetrapoda (GIOVANELLI et al., 2008; SANDEL et al., 2011). Para anfíbios e répteis, as distribuições atuais de espécies amplamente distribuídas são mais restringidas pelas mudanças climáticas atuais, enquanto a distribuição de espécies mais restritas é restringida pelas condições climáticas do passado (JANSSON, 2003). Portanto, espécies com distribuição restrita são, pelo menos em parte, restringidas pela inabilidade de rastrear as mudanças climáticas (JANSSON, 2003).

As causas dominantes das tendências climáticas a longo prazo no Cenozóico, assim como em outras eras geológicas, foram o acúmulo total de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, oceano, solo e biosfera, com mudanças ao longo de milhões de anos devido ao desequilíbrio da fonte vulcânica e intemperismo (HANSEN; SATO, 2012). Desde a era pré-industrial, as emissões dos gases do efeito estufa aumentaram exponencialmente devido ao crescimento econômico e populacional (BINDOFF et al., 2013). Isso levou à uma replicação acelerada dos padrões naturais do passado, sendo a principal causa do aumento de $0,85^\circ\text{C}$ observado nos últimos anos (CUBASCH et al., 2013; HARTMANN et al., 2013).

As projeções acerca das mudanças climáticas futuras são incertas devido à falta de um entendimento mais robusto acerca do sistema climático e à existência de variabilidade climática interna (COLLINS et al., 2013). Apesar disso, os modelos simulam muitos aspectos com um certo grau de robustez, prevendo para o final do século XXI um aumento de $4,8^\circ\text{C}$ na temperatura média global, além de um aumento na precipitação média anual em altas latitudes

e no Pacífico equatorial e uma diminuição da precipitação para as regiões de latitudes médias e subtropicais secas (COLLINS et al., 2013; FLATO et al., 2013).

As mudanças climáticas vêm causando impactos nos sistemas naturais e humanos ao redor do mundo, sendo presumidamente os principais responsáveis pela atual crise global da biodiversidade (GARCIA et al., 2014; VALENZUELA-CEBALLOS et al., 2015). A vulnerabilidade de um organismo depende de um panorama integrativo, que inclui a sensibilidade de um organismo às mudanças ambientais, sua exposição a essas mudanças, a habilidade de recuperar-se de perturbações e o potencial para adaptar-se às mudanças (WILLIAMS et al., 2012). Prever o risco futuro potencial causado à biodiversidade pelas mudanças climáticas se tornou um campo de pesquisa bastante ativo nos últimos anos, e alguns estudos sugerem que as mudanças climáticas podem ser uma grande ameaça à biodiversidade nas próximas décadas, considerando inclusive estarmos frente à ocorrência da sexta extinção em massa (BELLARD et al., 2012; CAHILL, 2013; PEREIRA et al., 2010)

Os Lepidosauria, grupo que inclui lagartos, serpentes, anfisbênias e o tuatara da Nova Zelândia, apresentam uma grande diversidade morfológica, fisiológica e ecológica, com a maioria da diversidade ao nível de espécies localizada nos trópicos e subtropicais (JETZ; FINE, 2012). Devido à ectotermia, esse grupo é particularmente sensível à alterações na temperatura do ambiente e insolação, e algumas espécies já experimentam temperaturas corporais acima de seu ótimo fisiológico nas florestas tropicais (DIELE-VIEGAS et al., 2018; HUEY 1982; HUEY et al., 2009). As respostas das espécies às mudanças climáticas são sobretudo guiadas pela adaptação genotípica, plasticidade fenotípica e a habilidade de mover-se ao longo de diferentes habitats termicamente adequados. Se nenhuma dessas opções é viável, a espécie irá provavelmente se extinguir localmente ou globalmente (BELLARD et al., 2012; OVASKAINEN et al., 2013; SINERVO et al., 2010).

Muitos estudos têm focado em determinar possíveis impactos das mudanças climáticas nos Lepidosauria, a nível global, regional ou local (e.g., CABRELLI; STOW; HUGHES, 2014; KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016; SINERVO et al., 2010). Alguns deles também incorporaram a avaliação da capacidade adaptativa, tendo sido a maioria deles publicada na última década (e.g., CALDWELL et al., 2015; LÓPEZ-ALCAIDE et al., 2017). O presente estudo buscou avaliar em que extensão o estado atual do conhecimento permite a identificação de potenciais padrões e tendências acerca do impacto das mudanças climáticas nos Lepidosauria. Desta forma, foram identificadas diversas características biológicas destes organismos que podem ser diretamente influenciadas pelas mudanças nas condições ambientais. Além disso, buscou-se determinar se o aquecimento

global está de fato influenciando negativamente este grupo de répteis, além de avaliar se os efeitos das mudanças climáticas ao redor do mundo seguem um padrão geral filogenético ou biogeográfico. A primeira hipótese aponta para conservantismo filogenético, indicando que alguns grupos tenderiam a ser mais vulneráveis que outros, independente da sua área de ocorrência, enquanto que a segunda hipótese indica que a vulnerabilidade das espécies responde às condições climáticas de acordo com a biogeografia. Desta forma, buscou-se ainda determinar a região mais vulnerável, o táxon mais vulnerável, as tendências gerais em relação à distribuição das espécies e as áreas potenciais para conservação destas ao redor do mundo.

1.2 Métodos

Foi feita uma busca na literatura por artigos com foco na influência das mudanças climáticas em Lepidosauria, através das seguintes bases de dados: Periódicos CAPES, PubMed, Scholar Google, SciELO, Scopus, Web of Science e Wiley online Library. Eu utilizei como palavras chave: [Climate Change OR Global Warming OR Climate Warming] AND [Lizard* OR Snake* OR Sphenodon OR Tuatara OR Lepidosauria OR Squamata OR Serpente*]. Também foram incluídos estudos encontrados durante o processo de contatar autores e estudos listados nas seções de referências dos artigos obtidos e que não foram capturados pela busca nos catálogos mencionados acima. Foram excluídos artigos que focaram em mudanças paleoclimáticas, uma vez que o foco do trabalho foi o de analisar os efeitos das mudanças climáticas atuais e futuras.

Foram recuperados um total de 255 artigos publicados entre 1999 e janeiro de 2018, dos quais foram extraídas as seguintes informações: palavras chave, local da pesquisa (por região zoogeográfica, de acordo com HOLT et al., 2013, Tabela S1), nível taxonômico investigado, principal assunto, impacto sofrido analisado (positivo, negativo ou neutro; Tabela S1), coordenadas de ocorrência das espécies (Tabela S2, Figura S1), e valores dos resultados de análises estatísticas (regressões, análises de variância, qui-quadrado, teste t e áreas sob a curva). Em seguida, foi feito um teste de qui-quadrado e gerada uma matriz de correlação para avaliar uma possível relação entre estes caracteres, utilizando o pacote corrplot (WEI; SIMKO, 2017), do ambiente estatístico R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018).

Para avaliar os padrões filogenéticos dos efeitos das mudanças climáticas em Lepidosauria, as espécies foram classificadas como Sphenodontia, Gekkota, Iguania, Anguimorpha, Lacertoidea, Scincoidea, e Serpentes de acordo com PYRON; BURBRINK; WIENS (2013). Para avaliar os padrões biogeográficos ao longo dos táxons analisados, a sua distribuição foi categorizada considerando a mais recente classificação de regiões zoogeográficas (HOLT et al., 2013).

Uma espécie foi considerada como vulnerável quando o estudo indicava efeitos negativos das mudanças climáticas naquela espécie (e.g., contrações na distribuição, inabilidade de adaptar-se genética, comportamental ou fisiologicamente às mudanças climáticas). Logo, as espécies consideradas como não vulneráveis foram aquelas cujos estudos indicavam efeitos neutros ou positivos das mudanças climáticas. Uma família ou táxon foi considerado como vulnerável quando mais de 50% das espécies avaliadas naquele grupo foram consideradas vulneráveis. Quando menos de 50% das espécies foram

consideradas não vulnerável, o grupo foi considerado não vulnerável, e quando exatamente 50% das espécies foram consideradas vulneráveis pelos estudos, o grupo foi considerado como podendo ou não ser vulnerável. As inferências foram baseadas na proporção de espécies analisadas por família. Para testar a hipótese filogenética, a vulnerabilidade por táxon foi plotada com base no cladograma de Lepidosauria adaptado de PYRON et al. (2013).

1.2.1 Análise de Parcimônia de Endemismo (PAE)

Foi feita uma análise de parcimônia de endemismo para identificar os padrões de vulnerabilidade de Lepidosauria ao redor do mundo, de modo a determinar os táxons e regiões mais vulneráveis e testar a hipótese biogeográfica. Para corroborar esta hipótese, os resultados da PAE devem indicar um padrão na vulnerabilidade dos táxons a respeito das condições climáticas da região zoogeográfica em que ele ocorre.

Considerando que a PAE depende da presença de espécies compartilhadas entre as áreas predeterminadas, primeiro associou-se a presença/ausência das famílias nas regiões zoogeográficas, através de uma matriz de presença (1) e ausência (0) gerada no Mesquite (MADDISON; MADDISON, 2018). Em seguida, foi gerada uma árvore de PAE, utilizando o algoritmo de enumeração implícita no TNT (GOLOBOFF; FARRIS; NIXON, 2008).

Para associar a vulnerabilidade dos táxons com a parcimônia de endemismo, a vulnerabilidade das famílias nas regiões zoogeográficas foi calculada através de uma matriz binária considerando famílias vulneráveis (1) e não vulneráveis (0). Quando a família foi considerada como “vulnerável ou não” (50% de espécies vulneráveis), ela entrou na matriz como (01). Então, foi feita uma nova PAE, considerando os grupos aos quais as famílias pertencem.

1.2.2 Meta-análises

Dois meta-análises foram efetuadas com os seguintes objetivos: Analisar se a literatura concorda estatisticamente com a premissa de que 1) o aquecimento global está afetando os Lepidosauria, seja esse efeito positivo, negativo ou neutro; e 2) se os Lepidosauria tenderão a ter uma contração na sua distribuição geográfica por conta das mudanças climáticas. Para ambas, foi utilizado o pacote estatístico metafor (VIECHTBAUER, 2010), no ambiente R.

Os valores de AUC, F, R^2 , T e χ^2 recuperados dos artigos avaliados foram convertidos para R de Pearson, com base em BORENSTEIN, et al. (2011), LANE (2018), LIPSEY e MARK (2001) e SALGADO (2018). Após a conversão, para responder a primeira questão os

resultados foram agrupados por efeito avaliado (positivo, negativo e neutro) e, o tamanho da amostra foi considerado como o número de medidas para cada efeito (Tabela S3). Para responder à segunda questão, foram utilizados somente os valores de r de Pearson convertidos a partir de AUCs, e os resultados foram agrupados por táxons, regiões zoogeográficas e vulnerabilidade (vulnerável x não vulnerável). Em seguida, a média do r foi calculada para cada grupo e o tamanho da amostra foi considerado como o número de espécies avaliadas em cada grupo, uma vez que a maioria dos estudos não fornece o tamanho da amostra utilizado para mensurar o AUC.

O r médio foi considerado como o tamanho do efeito fixo (positivo/negativo/neutro ou vulnerável/não vulnerável). Desta forma, a heterogeneidade do tamanho do efeito (Q) foi quantificada para avaliar a variação do efeito e a medida da proporção da variação verdadeira entre os grupos (I^2), considerando a seguinte equação (HIGGINS; THOMPSON, 2012):

$$I^2 = \left(\frac{Q - df}{Q} \right) \times 100$$

1.2.3 Panbiogeografia

Uma análise panbiogeográfica foi feita para delimitar as áreas potenciais para a conservação das espécies avaliadas nos artigos revisados e identificar áreas com baixa amostragem, através do software Croizat 2.1.0 (CAVALCANTI, 2009). Traços generalizados e nós representam áreas potenciais de distribuição – em um senso histórico – de grupos de espécies (HEADS, 2004). Desta forma, estas características podem ser posicionadas em localidades onde não há ocorrência da espécie reportada.

Para a análise, considerou-se a distribuição dos maiores clados ao invés de gêneros/espécies, e os resultados foram utilizados para determinar se os traços de distribuição coincidente (traços generalizados) dos clados se sobrepõe ou cruzam, formando as regiões de convergência biótica, ou áreas potenciais para a conservação das espécies. Os traços generalizados foram calculados considerando as coordenadas dadas pelos estudos, considerando-se um valor de congruência igual a 1.0, o que indica uma congruência total entre a distribuição das espécies. Então, as regiões de convergência biótica foram definidas como as localidades onde dois ou mais traços generalizados se sobrepõe (ECHEVERRÍA-LONDOÑO; MIRANDA-ESQUIVEL, 2011; MORRONE, 2004).

1.3 Resultados e Discussão

A maioria dos estudos avaliados focou na distribuição das espécies (N=86, 33,72%), seguido por estudos sobre fisiologia térmica (N=74, 29,02%), biologia reprodutiva (N=34, 13,33%), comportamento (N=19, 7,45%) e genética (N=10, 3,92%; Figura 2). Foram analisados ainda 32 estudos (12,54%) que abordaram aspectos gerais e revisões nesta temática. Um total de 1918 espécies distribuídas em 49 famílias foi avaliado entre os estudos, o equivalente a 18,55% da diversidade de Lepidosauria no mundo (UETZ et al. 2018; Tabela S1).

Figura 2 - Nuvem de palavras indicando os assuntos mais abordados relacionando mudanças climáticas e Lepidosauria.

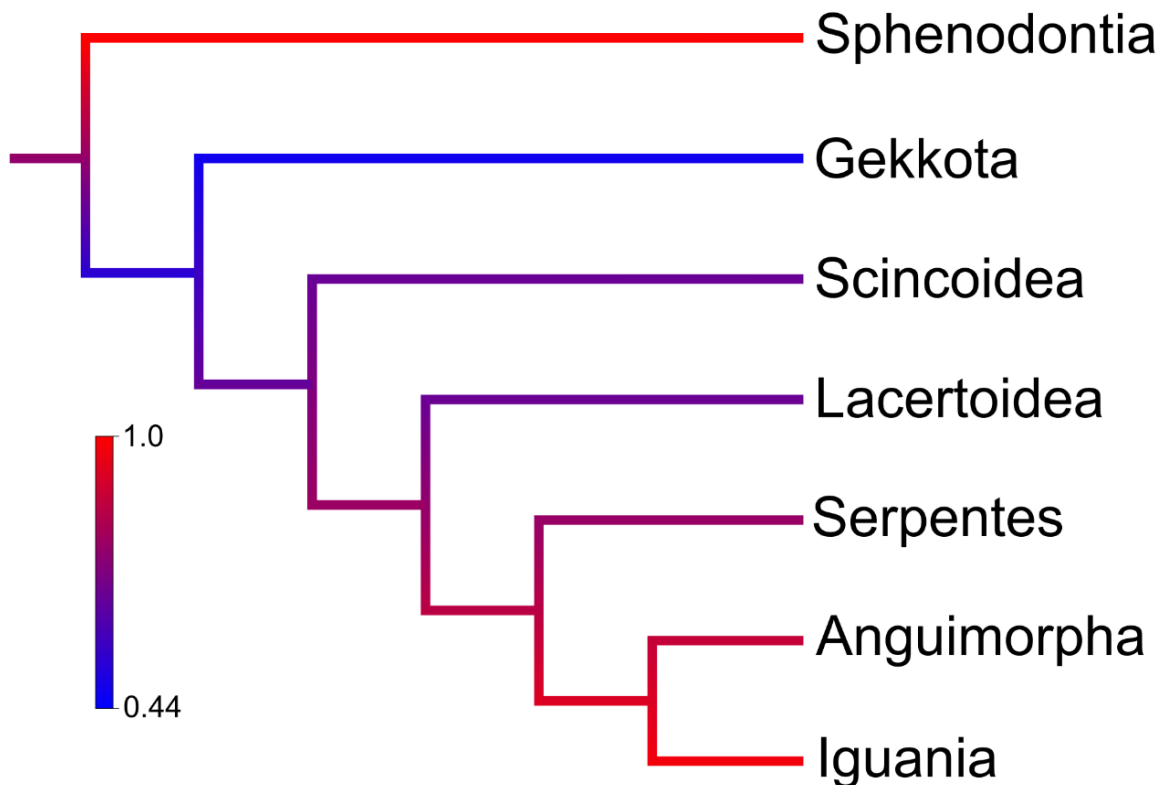


Legenda: Os assuntos estão listados com tamanho da fonte proporcional ao número de vezes em que a categoria foi acessada em comparação às demais.

A família mais representativa foi Scincidae, com 474 espécies avaliadas. *Zootoca vivípara* foi a espécie mais bem documentada, tendo sido abordada em 20 artigos, seguida por *Sceloporus undulatus*, abordada em 12 artigos. *Zootoca vivípara* é uma espécie amplamente distribuída que habita turfas e terras mais quentes no norte da Eurásia (DUPOUÉ et al., 2017), enquanto *S. undulatus* é uma espécie norte americana, também amplamente distribuída, que vem sendo utilizada como sistema modelo para o entendimento da fisiologia térmica e sua influência na dinâmica populacional e limites de distribuição (BUCKLEY; EHRENBERGER; ANGILLETTA, 2015).

A maioria dos estudos (N=158) apontaram efeitos negativos das mudanças climáticas nas espécies avaliadas, 31 apontam para efeitos positivos, 39 apontam para efeitos neutros e 27 não avaliaram essa influência de fato. Entre os táxons, Sphenodontia teve a maior proporção de espécies vulneráveis, seguido por Anguimorpha, Iguania, Serpentes, Scincoidea, Lacertoidea e Gekkota (Figura 3).

Figura 3 – Vulnerabilidade de Lepidosauria plotada em relação ao cladograma simplificado de PYRON et al. (2008).



Legenda: A coloração dos ramos representa a proporção de espécies vulneráveis por clado, variando de 0,44 (azul) a 1,00 (vermelho).

A vulnerabilidade de Lepidosauria ao redor do mundo

Com exceção das regiões Australiana, Neotropical e Panamaniana, as demais regiões não foram amostradas por estudos de forma homogênea em toda a sua extensão (Figura S1). Nas regiões Neártica e Paleártica, faltam estudos focados nas espécies do norte, principalmente no Canadá, Rússia, Casaquistão e Mongólia. Na região Afrotropical, faltam estudos na África central, principalmente em Angola, Congo e Zâmbia. Na região Saaro-Arábica, faltam estudos na Argélia e na maior parte do Oriente Médio, com exceção da Arábia Saudita, e na região Oriental faltam estudos nas ilhas Indo-Pacíficas. Finalmente, na região Sino-Japonesa faltam estudos na China oriental e no Japão.

Apesar da falta de estudos nas regiões mencionada acima, os estudos disponíveis hoje abrangem espécies de todas as regiões zoogeográficas. Depois da região Australiana, as regiões Neotropical e Neártica foram as que mais tiveram espécies avaliadas, enquanto as regiões Madagascana e Oceaniana foram as regiões menos amostradas (Tabela1). Estas últimas são exemplos de regiões subamostradas em relação à biodiversidade local conhecida: A região Madagascana apresenta uma diversidade excepcional de espécies endêmicas,

abrigoando cerca de 420 espécies de répteis Squamata, sendo mais de 90% delas endêmicas no nível específico e, por vezes, genérico (GLAW; VENCES, 2007; RAXWORTHY et al., 2003; UETZ et al., 2018). Não obstante, apenas 29 espécies foram avaliadas nos estudos analisados. Já a região Oceaniana engloba a herpetofauna da Papua Nova Guiné, que possui cerca de 264 espécies de Squamata (UETZ et al., 2018), mas apenas 13 dessas espécies foram estudadas nos artigos avaliados.

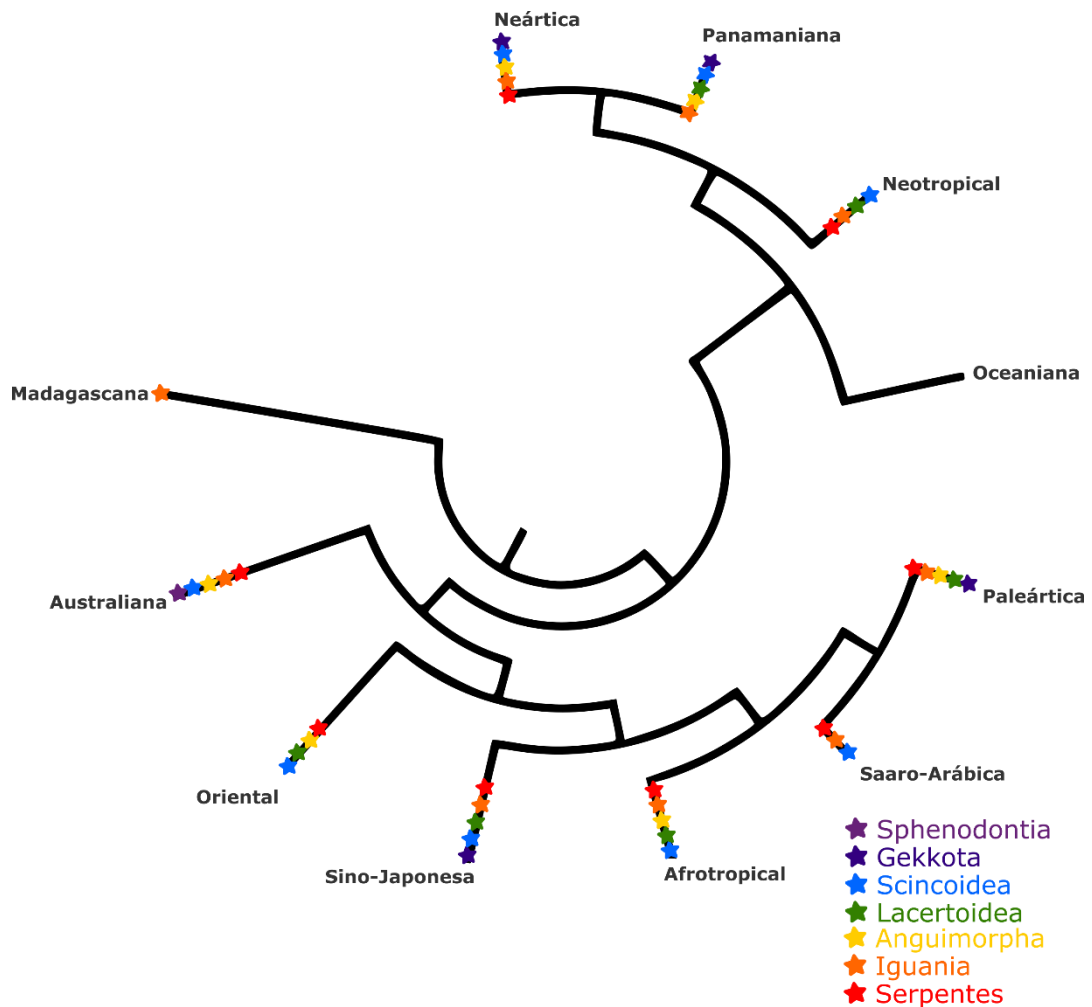
Tabela 1 - Número de espécies de répteis Lepidosauria avaliadas por táxon e por região zoogeográfica do mundo em termos de suas potenciais respostas às mudanças climáticas globais e à sua vulnerabilidade.

Região Zoogeográfica	Táxon	Anguimorpha	Gekkota	Iguania	Lacertoidea	Scincoidea	Serpentes	Sphenodontia	Todos
Afrotropical	N	4	22	36	19	30	28	0	139
	V	4	8	30	17	23	20	0	102
	%	100.00	36.36	83.33	89.47	76.67	71.43	0	73.38
Australiana	N	13	38	45	0	343	92	1	532
	V	13	18	24	0	218	61	1	335
	%	100.00	47.37	53.33	0.00	63.56	66.30	100.00	62.97
Madagascana	N	0	4	24	0	0	1	0	29
	V	0	1	12	0	0	0	0	13
	%	0.00	25.00	50.00	0.00	0.00	0.00	0	44.83
Neártica	N	12	8	113	33	29	81	0	276
	V	10	6	85	13	23	57	0	194
	%	83.33	75.00	75.22	39.39	79.31	70.37	0	70.29
Neotropical	N	4	23	259	51	9	56	0	402
	V	1	1	206	30	5	28	0	271
	%	25.00	4.35	79.54	58.82	55.56	50.00	0	67.41
Oceaniana	N	0	1	1	0	9	2	0	13
	V	0	0	0	0	2	0	0	2
	%	0.00	0.00	0.00	0.00	22.22	0.00	0	15.38
Oriental	N	4	8	14	5	14	12	0	57
	V	3	2	4	5	9	10	0	33
	%	75.00	25.00	28.57	100.00	64.29	83.33	0	57.89
Paleártica	N	5	8	10	67	13	39	0	142
	V	4	4	8	45	5	33	0	99
	%	80.00	50.00	80.00	67.16	38.46	84.62	0	69.72
Panamaniana	N	2	16	91	14	5	0	0	128
	V	1	9	49	11	3	0	0	73
	%	50.00	56.25	53.85	78.57	60.00	0.00	0	57.03
Saaro-Arábica	N	4	33	23	33	20	31	0	144
	V	1	16	13	16	10	16	0	72
	%	25.00	48.48	56.52	48.48	50.00	51.61	0	50.00
Sino-Japonesa	N	3	7	9	5	16	28	0	68
	V	1	5	8	5	14	19	0	52
	%	33.33	71.43	88.89	100.00	87.50	67.86	0	76.47
Todas	N	51	169	625	227	488	370	1	1931
	V	38	70	439	142	312	244	1	1246
	%	74.51	41.42	70.24	62.56	63.93	65.95	100	64.53

Legenda: N = Número total de espécies avaliadas; V = Número total de espécies consideradas vulneráveis; % = Percentual de espécies vulneráveis em relação ao total de espécies avaliadas.

Todas as regiões tiveram ao menos três táxons vulneráveis, com exceção das duas regiões subamostradas, Oceaniana e Madagascana (Figura 4). Isso implica que as mudanças climáticas irão afetar negativamente ao menos 9% dos Lepidosauria do mundo nas próximas décadas. Essa sensibilidade às mudanças na temperatura ambiental é principalmente associada à dependência destes animais em relação às temperaturas externas para regular a temperatura corpórea (HUEY, 1982), o que pode levar estes animais a superaquecerem quando a temperatura ambiental ultrapassa seus limites térmicos (SINERVO, et al., 2010). Além disso, a maior parte da literatura recente focou em investigar diferentes aspectos da biologia dos Lepidosauria que poderiam ser influenciados pelas mudanças ambientais, tais como plasticidade genotípica e fenotípica, hereditariedade e variação nos perfis hormonais (DUPOUÉ et al., 2018; LOGAN et al., 2018; RODRÍGUEZ et al., 2017).

Figura 4 - Vulnerabilidade dos táxons associada às regiões zoogeográficas do planeta.



Legenda: As estrelas mostram os locais onde os diferentes táxons são considerados vulneráveis.

Considerando a filogenia proposta por PYRON et al. (2008), foi possível identificar uma relação entre filogenia e vulnerabilidade de Lepidosauria frente às mudanças climáticas.

Há um aumento na vulnerabilidade em direção a clados mais derivados (i.e., Anguimorpha + Iguania). Gekkota, o grupo irmão de todos os outros Squamata, aparece como o grupo menos vulnerável, enquanto Scincoidea, Lacertoidea e Serpentes apresentam valores intermediários de vulnerabilidade (Figura 2). A exceção a esse padrão é o clado Sphenodontia, que apresenta 100% de vulnerabilidade. Entretanto, isso pode ser devido a baixa diversidade do clado, considerando que há somente uma espécie vivente. Considerando que Gekkota é um grupo majoritariamente noturno, sua baixa vulnerabilidade em comparação aos outros táxons pode indicar que espécies noturnas não irão experimentar, de maneira geral, uma variação climática suficiente para afetar sua sobrevivência. Desta forma, mesmo sendo termoconformadoras, o que normalmente implica em alta vulnerabilidade às mudanças climáticas (HUEY et al., 2009), estas espécies podem não ser afetadas pelo aumento de temperatura previsto da mesma forma que os outros táxons.

A relação de espécies vulneráveis foi maior na região Sino-Japonesa, seguida pela região Afrotropical, Neártica e Paleártica (Tabela 1). Estas três regiões possuem características climáticas completamente diferentes, sendo a região Afrotropical uma região tropical e as demais, estão localizadas em regiões subtropicais e temperadas. Isso refuta a hipótese de que ectotérmicos de florestas tropicais seriam mais impactados pelo aquecimento do que as espécies de altas latitudes, pelo menos em relação aos Lepidosauria (HUEY et al., 2012; TEWKSBURY; HUEY; DEUTSCH, 2008).

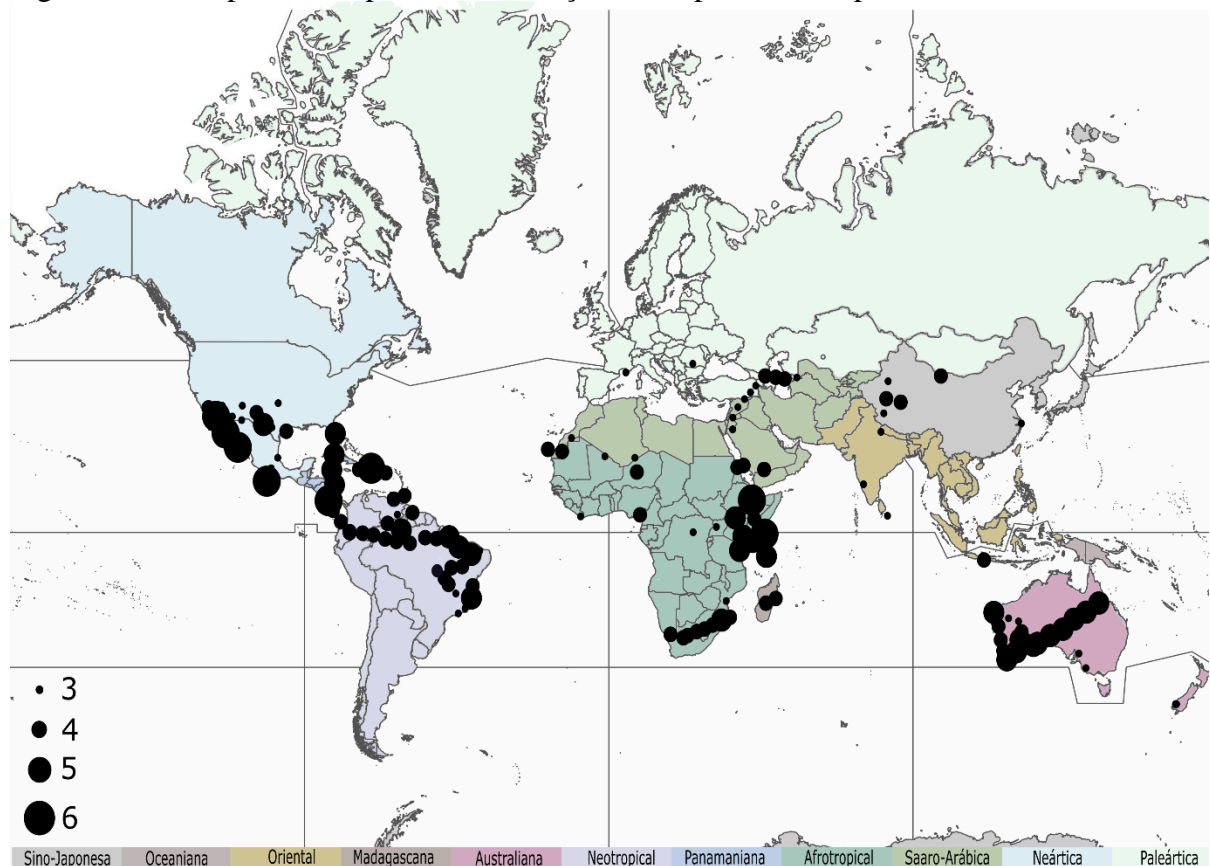
As duas regiões menos vulneráveis são também as duas regiões com menor amostragem, Oceaniana e Madagascana. Sabe-se que espécies endêmicas com distribuição restrita, como as endêmicas de ilhas, são normalmente consideradas altamente vulneráveis às mudanças climáticas, uma vez que alterações regionais ou locais podem impactar toda a sua distribuição (e.g., BONINO et al., 2015; DAVIS et al., 2015; PARMESAN, 2006). Considerando que ambas as regiões constituem ambientes insulares, e que apresentam uma grande diversidade de Squamata, eu acredito que a vulnerabilidade dos Lepidosauria destes ambientes estaria subestimada.

Potenciais áreas de conservação das espécies avaliadas

As regiões Neotropical, Afrotropical, Australiana e Neártica abrangem o maior número de potenciais áreas para a conservação dos Lepidosauria, enquanto as regiões Oriental, Oceaniana, Saaro-arábica e Sino-Japonesa apresentaram as menores zonas de convergência biótica, com a maioria de seus nós abrangendo apenas um táxon (Figura 5). Esse representa o primeiro esforço para determinar as áreas prioritárias para a conservação de

Lepidosauria em larga escala, considerando sua vulnerabilidade ao aquecimento global. É necessário planejar políticas e estratégias de gestão para a conservação destas espécies para preservar o habitat das espécies ameaçadas (MARTÍNEZ-FREIRÍA et al., 2013). Apesar disso, o processo de tomada de decisão focando em mitigar os efeitos das mudanças climáticas nas populações naturais demanda que outros fatores além da vulnerabilidade das espécies sejam considerados (GUISAN et al., 2013).

Figura 5 - Áreas potenciais para a conservação das espécies de Lepidosauria avaliadas.



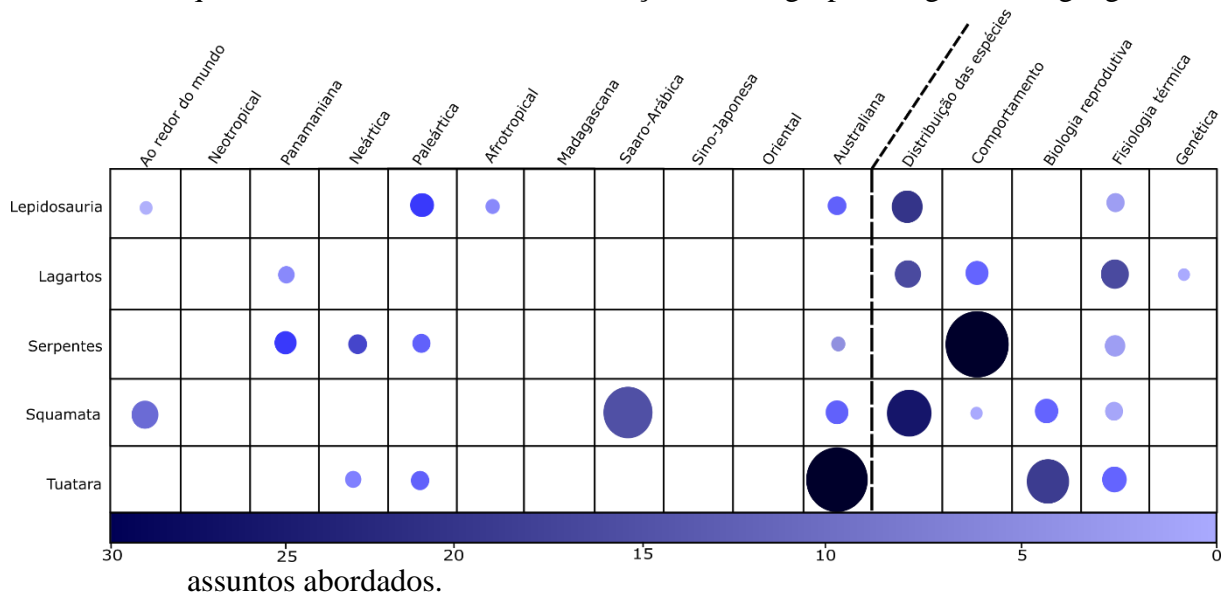
Legenda: Tamanho dos círculos relacionado ao número de táxons encontrados nos nós. Regiões zoogeográficas estão identificadas por cores (adaptado de HOLT et al., 2013).

POPESCU et al. (2013) utilizaram uma abordagem de modelagem para identificar uma área prioritária de conservação para a herpetofauna da Romênia, baseado na dinâmica de distribuição das espécies em um cenário de mudanças climáticas. MARTÍNEZ-FREIRÍA et al. (2013) identificaram altitude e latitude como fatores geográficos relacionados à riqueza de espécies em um cenário de mudanças climáticas e concluíram que altas altitudes e/ou latitudes são mais ricas em espécies considerando os répteis endêmicos de Marrocos. Ambos os estudos focaram em uma escala local.

Respostas dos Lepidosauria às mudanças climáticas recentes

O nível taxonômico está fortemente associado com o enfoque da avaliação feita nos artigos ($\chi^2_{(20)} = 57.83$, $p < 0,001$), e o local em que a pesquisa foi conduzida ($\chi^2_{(40)} = 75.33$, $p < 0,001$). A distribuição das espécies (27,48% da pontuação total do teste de qui quadrado) e a região zoogeográfica Australiana (37,74% da pontuação total do teste de qui quadrado) foram responsáveis pelas maiores diferenças entre os valores esperados e os obtidos (Figura 6). A relevância da distribuição das espécies para o teste de qui-quadrado é justificada devido ao fato deste ser o tópico mais abordado entre os artigos. Isto se dá pois a distribuição é na verdade o resultado de todos os outros tópicos abordados quando considerado o conceito de risco de extinção, ou o risco das taxas de mortalidade (e emigração) serem maiores que as taxas de nascimento (e imigração) por um tempo suficientemente longo para que o tamanho da população atinja zero (MACE et al., 2008). Além disso, a restrição da distribuição da espécie de tuatara à região Australiana pode justificar a relevância dessa região zoogeográfica no resultado do teste, bem como o fato desta região ter apresentado o maior número de espécies avaliadas (Tabela 1).

Figura 6 - Contribuição (%) de diferentes grupos taxonômicos à pontuação do teste qui-quadrado obtido através da relação entre grupos, regiões zoogeográficas e

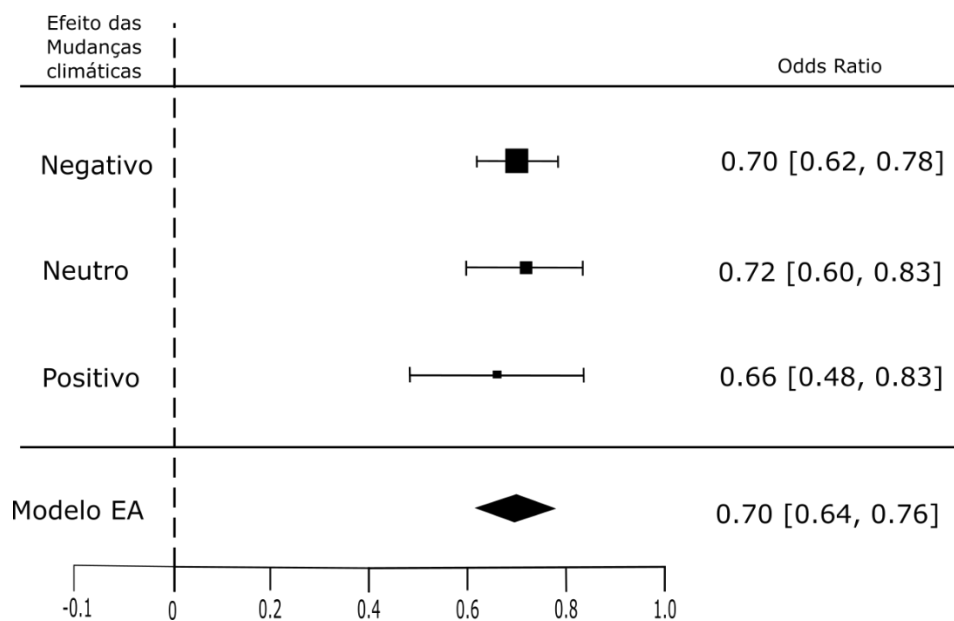


Legenda: O tamanho do círculo e grau de transparência da cor é proporcional à contribuição da célula para o resultado do teste.

As meta-análises demonstraram a força dos efeitos das mudanças climáticas nos Lepidosauria ($I^2=0$, $p < 0,0001$; Figura 7), e na sua distribuição ($I^2=0$, $p < 0,001$, Figura 8), sem

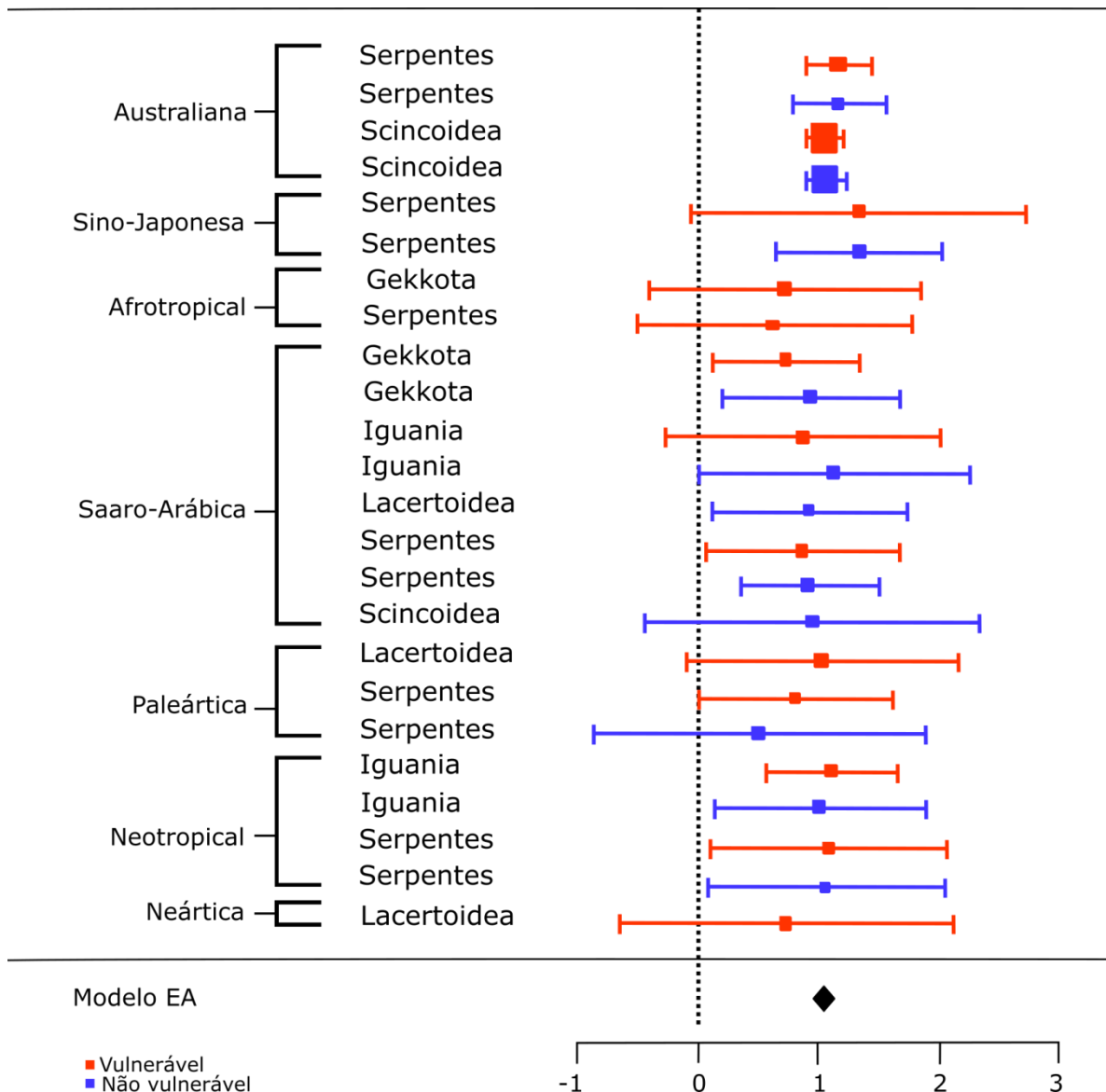
haver heterogeneidade ($Q(df) = 0,2866, p=0,866$ e $Q(df) = 5,645, p=0,99$, respectivamente). Esses resultados indicaram que a literatura apresenta análises precisas e robustas que corroboram estatisticamente a existência de efeitos positivos, negativos e neutros das mudanças climáticas em Lepidosauria. Além disso, os resultados da segunda meta-análise corroboraram o encontrado por SINERVO et al. (2010), que derivou projeções de extinções globais para um grande conjunto de dados ao redor do mundo. Atualmente, a maioria dos estudos que abordam expansões ou contrações da distribuição das espécies foca em um restrito número de espécies (e.g., KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016; PARK et al., 2017; PONTES-DA-SILVA et al., 2018), ou em uma área restrita (e.g., ARAGÓN et al., 2010; CABRELLI; STOW; HUGHES, 2014; EL-GABBAS et al., 2016). Esses estudos também reforçam os resultados da abordagem mundial desenvolvida por SINERVO et al. (2010). Além disso, os estudos mais recentes estão utilizando modelos mais complexos, como previsto por (HUEY; LOSOS; MORITZ, 2010). Esses novos modelos incluem parâmetros ambientais, biológicos e ecológicos para aumentar o grau de refinamento e confiabilidade das previsões (CARLO et al., 2018; DUPOUÉ et al., 2017; FLESCHE; ROSEN; HOLM, 2017).

Figura 7 - Associação entre mudanças climáticas e vulnerabilidade de Lepidosauria.



Legenda: Modelo EA = Efeito aleatório. O eixo x representa a estatística absoluta da meta-análise, variando de -0,1 (baixa acurácia do efeito das mudanças climáticas) a +1,0 (alta acurácia do efeito das mudanças climáticas). A linha pontilhada vertical representa o efeito nulo. O tamanho dos quadrados representa o tamanho do efeito do grupo na análise.

Figura 8 - Associação entre a distribuição dos táxons e as mudanças climáticas por regiões zoogeográficas.



Legenda: Modelo EA = Efeito aleatório. O eixo x representa a estatística absoluta da meta-análise, variando de -0,1 (baixa mudança significativa na distribuição das espécies) a +1,0 (alta mudança significativa na distribuição das espécies). A linha pontilhada vertical representa o efeito nulo. O tamanho dos quadrados representa o tamanho do efeito do grupo na análise.

Os Scincoidea da região Australiana tiveram o efeito mais significativo na análise, seguido pelas Serpentes vulneráveis da região Australiana e os Lacertoidea da região Paleártica (Figura 8). Isso pode ser devido ao grande número de espécies avaliados em um único artigo (164 vulneráveis, 146 não vulneráveis; CABRELLI; HUGHES, 2015), o que implica em baixa divergência entre os métodos utilizados para calcular o AUC. Isso também explica o tamanho do efeito de ambos os Scincoidea vulneráveis e não vulneráveis da região

na análise. Três táxons não vulneráveis e sete táxons vulneráveis apresentaram intervalos de confiança alcançando o efeito nulo da análise (Figura 8). Isto indica que tamanho da informação para estes grupos é muito pequeno para demonstrar ou descartar os efeitos das mudanças climáticas na distribuição das espécies. Apesar disso, a maioria dos grupos apresenta análises precisas e robustas que corroboram estatisticamente que a distribuição das espécies está mudando devido ao aquecimento global, para ambos os táxons vulneráveis e não vulneráveis.

Os efeitos dos táxons vulneráveis e não vulneráveis na meta-análise diferiram marcadamente ao longo das regiões zoogeográficas. Isso pode ser devido às diferenças substanciais entre o número de espécies avaliadas para cada táxon e região pelos diferentes estudos (e.g., CABRELLI; HUGHES, 2015; SRINIVASULU; SRINIVASLU, 2016). Além disso, o nível de significância dos táxons vulneráveis foi geralmente menor do que aqueles obtido para as espécies não vulneráveis, o que pode ser um indicativo de que o grau de vulnerabilidade das espécies pode ser melhor avaliado e interpretado com cautela.

A análise do conjunto de informações nos artigos publicados permitiu destacar diferentes características biológicas dos Lepidosauria que podem ser diretamente afetadas pelas mudanças nas condições ambientais, e pelo estado do conhecimento em relação às possíveis respostas a essa influência. As características biológicas dos Lepidosauria que seriam diretamente ou indiretamente influenciadas pelas mudanças climáticas e as possíveis respostas levantadas pelos estudos foram resumidas na Tabela 2. Cada uma dessas características está descrita a seguir.

1. Distribuição das espécies

Para rastrear seu nicho climático, as espécies podem mudar sua faixa de distribuição, dispersando-se de ambientes mais frios quando sua temperatura preferencial é alta e de ambientes mais quentes quando sua temperatura preferencial é baixa (BESTION; CLOBERT; COTE, 2015). Isso significa que as mudanças climáticas podem ter efeitos ambos positivo e negativo para uma determinada espécie em particular, aumentando ou diminuindo a disponibilidade de ambientes termicamente adequados e assim expandindo ou contraindo a distribuição da espécie (ALVAREZ et al., 2017; BEZENG; TEFAMICHAEL; DAYANANDA, 2017; YUAN et al., 2018). Para espécies com distribuição restrita, esse pode ser o limiar entre sobrevivência e extinção (BONINO et al., 2015; DAVIS et al., 2015). Habitats adequados podem mudar sua condição ao longo de gradientes altitudinais, latitudinais e longitudinais. Algumas espécies podem precisar migrar de um ambiente plano

para altas elevações (BARROWS, 2011; NASRABADI et al., 2018), outras podem precisar mover-se por longas distâncias para alcançar novos habitats adequados, o que iria depender da capacidade de dispersão da espécie (ARAÚJO et al., 2005; OFORI et al., 2017). Serpentes marinhas também estariam dispersando para além da sua distribuição típica por conta do aquecimento dos oceanos devido às mudanças climáticas, utilizando-se de correntes marinhas para alcançarem uma dispersão relativamente longa (PARK et al., 2017). Essas dispersões forçadas pelo clima, devido à ausência de habitats climaticamente adequados na distribuição atual das espécies, poderia levar algumas espécies a sobreporem seu nicho climático no novo ambiente ocupado, o que pode aumentar a competição interespecífica (BOMBLET et al., 2011). Isso pode ser crítico quando tal espécie se torna uma espécie invasora com previsão de expandir sua distribuição ao longo do local invadido, como no caso da píton *Python molurus bivittatus* nos Estados Unidos (RODDA; JARNEVICH; REED, 2009).

As transformações de habitat causadas pelo homem podem afetar a distribuição e o padrão de dispersão das espécies, uma vez que a paisagem antropogênica pode causar fragmentação do habitat das espécies e funcionar como uma barreira para a dispersão da mesma (BALLESTEROS-BARRERA; MARTÍNEZ-MEYER; GADSDEN, 2007; GADSDEN et al., 2012; MUNGUIA-VEGA et al., 2013). As características biológicas das espécies também podem influenciar as alterações na sua distribuição. Para espécies com sexo determinado por temperatura em que nascem machos cujos ovos desenvolveram sob temperaturas ambientais mais quentes, as fêmeas se tornam o sexo raro conforme a temperatura aumentaria, e se a dispersão das fêmeas ocorrer, o sucesso reprodutivo poderia ser dificultado, o que pode levar a tendências agressivas entre os machos por competirem pelas fêmeas (BOYLE et al., 2016). Esse efeito é especialmente aumentado para o tuatara, cujas fêmeas atingem a maturidade sexual tardiamente e, em geral, colocam ovos a cada quatro anos. Nestes casos, a dispersão foi observada somente em uma instância para levar a uma expansão da distribuição notável (BOYLE et al., 2016). A evolução da viviparidade na maioria dos répteis é associada a ambientes mais frios, e as projeções de mudanças climáticas prevêem que, sob aquecimento persistente, alguns vivíparos podem experimentar muitas contrações em suas distribuições, seguidas por eventos de extinção maiores nas próximas décadas, considerando a evidência de irreversibilidade do modo de reprodução (PINCHEIRA-DONOSO et al., 2013).

Modelos paleoclimáticos são ferramentas úteis para estimar as respostas de espécies ou linhagens às mudanças climáticas no passado e para comparar as previsões do passado, presente e futuro. Tais modelos permitem buscar padrões de alterações na distribuição das espécies para prever respostas mais acuradas das espécies no cenário futuro de mudanças

climáticas (e.g., BARROWS; FISHER, 2014; YOUSEFKHANI et al., 2017; LAWING; POLLY, 2011). Para as previsões atuais e futuras, modelos correlativos usualmente consideram variáveis bioclimáticas, tais quais a média anual de temperatura, sazonalidade e média anual de precipitação, como variáveis informativas para prever alterações futuras na adequabilidade dos habitats das espécies (e.g., YOUSEFKHANI et al., 2017; HOUNIET; THUILLER; TOLLEY, 2009; NASRABADI et al., 2018). Modelos mecanicistas também incluem história natural e características ecofisiológicas, tolerância térmica, preferência térmica, período de atividade e temperatura operativa (e.g., BONINO et al., 2015; SINERVO et al., 2010; 2018). Para lagartos, esse tipo de modelo prevê extinções locais em 34 famílias ao redor do mundo até 2070, considerando as horas de restrição em refúgios térmicos, o que limita o forrageio e constringe funções metabólicas custosas (SINERVO et al., 2010). Modelos mecanicistas funcionam como um complemento aos modelos correlativos para prever a dinâmica de distribuição dos répteis, uma vez que sua performance aumenta quando incorporados fatores adicionais em comparação aos métodos correlativos (BUCKLEY, 2010). Serapilheira, evapotranspiração e bioenergética são alguns fatores passíveis de serem incorporados nos modelos mecanicistas que podem aumentar a performance do modelo (BUCKLEY, 2008; WHITFIELD et al., 2005).

Modelos de distribuição de espécies podem ainda ser utilizados para determinar o grau de vulnerabilidade das espécies em diferentes biomas e ambientes, e ainda avaliar a relação entre hotspots de vulnerabilidade às mudanças climáticas e hotspots de riqueza de espécies ameaçadas, de modo a complementar as avaliações da IUCN Red List ressaltando as espécies que podem se tornar altamente vulneráveis ao longo do tempo (BÖHM et al., 2016). Áreas de proteção podem ter um importante papel na mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas nas populações de répteis (e.g., BEZENG; TESFAMICHAEL; DAYANANDA, 2017; BOMBI et al., 2011; POPESCU et al., 2013). Espécies com previsão de diminuição de habitats termicamente adequados podem usar as áreas de proteção como corredores ecológicos, permitindo sua dispersão (CATEN et al., 2017). Apesar disso, algumas espécies podem apresentar boa cobertura e conectividade entre a rede de proteção existente, mas ainda assim sofrer a perda de variabilidade genética como um efeito do aquecimento global, o que demonstra que a manutenção das áreas de proteção deve considerar todos os processos que ameaçam as espécies para otimizar uma perspectiva de conservação bem-sucedida (RÖDDER; SCHULTE, 2010).

Translocações induzidas pelo homem de populações mais sensíveis para ambientes termicamente adequados, ou colonização assistida, pode ser uma estratégia viável para

amenizar os efeitos das mudanças climáticas nas espécies com distribuição restrita e baixa capacidade de dispersão (FORDHAM et al., 2012), e é comumente aplicada em populações de tuatara (JARVIE et al., 2014; MILLER et al., 2012). Neste caso, é importante analisar diferentes resultados além da adequabilidade térmica para a espécie focal, tais quais a possibilidade da espécie colonizar os locais de introdução naturalmente, o desempenho dos indivíduos translocados no novo ambiente e as consequências da introdução da espécie na biodiversidade local (BESSON; CREE, 2011; ROUT et al., 2013). As mudanças na distribuição dos répteis devido às mudanças climáticas podem ainda ser um assunto de preocupação para populações humanas, uma vez que projeções futuras indicam possíveis deslocamentos de serpentes venenosas para áreas de ocupação humana, aumentando a taxa de contato, o que pode aumentar a taxa de envenenamento por picadas a luz das mudanças climáticas (NORI; CARRASCO; LEYNAUD, 2014).

2. *Fisiologia térmica*

Um princípio fundamental na fisiologia ecológica é que populações expostas a alterações no ambiente podem colapsar quando a maioria dos indivíduos deteriora, e que há o declínio individual quando alcançam um estado fisiológico que os impede de manter a homeostase (NAYA et al., 2011). O assunto em geral mais abordado entre os estudos de ecofisiologia focando em mudanças climáticas e Lepidosauria é se as temperaturas ambientais irão exceder a tolerância térmica das espécies, e quais as possíveis respostas as espécies poderiam desenvolver. A hipótese do *trade-off* prevê que organismos com tolerância térmica inerente apresentarão baixa plasticidade, o que pode significar que espécies com alta tolerância térmica podem ser mais vulneráveis às mudanças climáticas caso essas mudanças excedam seus limites de tolerância (GUNDERSON; STILLMAN, 2015). Essa previsão contra intuitiva foi testada em diferentes estudos a respeito de capacidade termorregulatória, desempenho térmico e plasticidade comportamental, sendo corroborada, ao menos em parte, por alguns (e.g., AUBRET; SHINE, 2010; BRUSCH; TAYLOR; WHITFIELD, 2016; KIRCHHOF et al., 2017) e rejeitada por outros (e.g., AGUADO; BRAÑA, 2014; LI et al., 2017; LOGAN et al., 2013).

A termorregulação comportamental pode mudar ao longo de gradientes de condições climáticas e resultar em uma variação contra-gradual nas características fisiológicas (LLEWELYN et al., 2016), mas quais fatores poderiam influenciar sua otimização e seu grau de estabilidade evolutiva ainda é incerto (e.g., ARTACHO et al., 2017; GOLLER; GOLLER; FRENCH, 2014; KEARNEY; SHINE; PORTER, 2009). O grau de cobertura vegetal é um destes fatores, uma vez que o aumento do dossel gradualmente esfriaria os microclimas, e

consequentemente diminuiria a temperatura corpórea dos ectotérmicos (HUANG et al., 2014), enquanto a perda de microhabitats sombreados aumentaria o impacto das mudanças climáticas (e.g., ACKLEY et al., 2015; GRIMM-SEYFARTH; MIHOUB; HENLE, 2017; KEARNEY, 2013). A velocidade do vento e o fluxo e balanço de água também são fatores importantes, uma vez que afetam os custos e benefícios da termorregulação ao reduzir a atividade diária, tendem a dificultar a caça às presas ou a aumentar o grau de dessecação (DUPOUÉ et al., 2017; ORTEGA; MENCÍA; PÉREZ-MELLADO, 2017a; PINTOR; SCHWARZKOPF; KROCKENBERGER, 2016).

Algumas medidas na precisão da termorregulação são normalmente acessadas para avaliar a qualidade térmica do ambiente, acurácia de termorregulação e eficácia de termorregulação (HERTZ et al., 1993). Em um ambiente desafiador, o comportamento de termorregulação ativa representa a maior parte da energia consumida, mais até que a locomoção, uma vez que os animais precisam fazer mais esforço para termorregular, limitando o acesso aos recursos distribuídos no espaço (BASSON et al., 2017). O gasto energético segue padrões espaciais na oportunidade térmica, e os répteis devem gastar mais energia com as mudanças climáticas para a manutenção das altas temperaturas corporais e mantendo-se em atividade por mais tempo (LEVY et al., 2017). Espécies que ocorrem em elevada abundância em ambientes termicamente menos favoráveis podem priorizar habitats com refúgios adequados para evitar predadores e condições ambientais adversas, ou com presas e comida disponíveis, ao invés de manter uma termorregulação constante (MEDINA et al., 2016; VALENZUELA-CEBALLOS et al., 2015). Além disso, espécies vivíparas podem experimentar pressões seletivas fortes para fêmeas que termorregulam ativamente em altas temperaturas, devido a necessidade de restaurar a reserva energética após o parto, e essa condição pode colocar estas espécies em risco comparativamente mais alto de extinção devido às mudanças climáticas (e.g., LÓPEZ-ALCAIDE et al., 2017; PARANJPE et al., 2013; WANG et al., 2017).

Temperaturas ambientais são melhores preditores da variação da história natural que as temperaturas corporais, apesar de altas temperaturas corporais em ambientes com restrições térmicas terem a capacidade de permitir ciclos de vida mais rápidos (ARTACHO et al., 2017; MEIRI et al., 2013). Alguns componentes de desempenho influenciados pelo fitness estão mais relacionados à variação da temperatura e precipitação que a média das condições térmicas, o que pode indicar que essas características ambientais têm uma influência bem forte na evolução do desempenho dos ectotérmicos (CLUSELLA-TRULLAS; BLACKBURN; CHOWN, 2011). A relação entre ambiente térmico e temperatura corpórea é, portanto, o que acaba influenciando a fisiologia do organismo (BRISCHOUX et al., 2016;

FERRI-YÁÑEZ; ARAÚJO, 2015), apesar das taxas de atividade serem possivelmente mais sensíveis à temperatura do que as características fisiológicas em algumas espécies (GUNDERSON; LEAL, 2015, 2016)

Alguns répteis terrestres podem experimentar uma elevada pressão de seleção natural em micro-habitats mais quentes, o que pode levar a mudanças nas estratégias termorregulatórias associadas a mudanças na fisiologia térmica (LOGAN; COX; CALSBEEK, 2014). Apesar disso, espécies submetidas a restrições ambientais similares podem divergir nas estratégias termorregulatórias devido à coadaptação entre as características (ANGILLETTA et al., 2006), e portanto podem possuir diferentes necessidades energéticas, modos de forrageio e uso de habitats, além de ocorrerem sob diferentes características demográficas e possuírem sensibilidade às condições ambientais (LELIÈVRE et al., 2013). Falhar em termorregular pode expor os animais a temperaturas que selecionam para limites maiores de críticos térmicos, melhores desempenhos e preferências térmicas mais quentes (BUCKLEY; EHRENBERGER; ANGILLETTA, 2015; ORTEGA; MENCÍA; PÉREZ-MELLADO, 2016a). Evitar comportamentalmente microhabitats expostos e ensolarados durante os períodos mais quentes do dia poderia amenizar as pressões seletivas impostas pelos microambientes mais quentes (GILBERT; MILES, 2017; SINERVO et al., 2010). Portanto, características do habitat, tais quais disponibilidade de ambientes sombreados e locais de refúgio, são essenciais para permitir que esse comportamento aconteça (KEARNEY; SHINE; PORTER, 2009). Além disso, eventuais mudanças na tolerância térmica das espécies tropicais podem ocorrer relativamente rápido, ao longo de poucas gerações, o que pode ser um indicativo de que a fisiologia térmica nestas espécies é mais instável que normalmente é inferido (LEAL; GUNDERSON, 2012).

A qualidade térmica do ambiente deve influenciar a estratégia termorregulatória dos répteis (HUEY; SLATKIN, 1976; SCHEFFERS et al., 2014), uma vez que isso pode afetar o tempo e energia gastos para manter temperaturas corpóreas “ótimas” (WEATHERHEAD et al., 2012). Curvas de performance térmica constituem uma ferramenta útil para medir a zona de tolerância e temperatura ótima de performance para os répteis, e portanto avaliar se a fisiologia térmica está subordinada à seleção natural (CLUSELLA-TRULLAS; CHOWN, 2014; SINCLAIR et al., 2016). As características de performance relacionadas a velocidade, como *sprint* e *endurance*, são altamente dependentes da temperatura, enquanto características relacionadas à força, como força de mordedura, cauda, e mão, são menos dependentes da temperatura (SEGALL et al., 2013). Desta forma, a maioria dos estudos relacionados a performance térmica e mudanças climáticas focam em características relacionadas a

velocidade (e.g., GILBERT; MILES, 2017; KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016; LOGAN; COX; CALSBEEK, 2014).

Gradientes latitudinais e altitudinais também são relevantes para a biologia térmica das espécies. Espécies de zonas temperadas usualmente termorregulam ativamente e são restritas a habitats abertos com temperaturas operativas altas e heterogêneas, enquanto espécies tropicais e subtropicais possuem um comportamento termorregulatório variável, uma vez que suas paisagens fornecem uma heterogeneidade térmica entre locais suficiente para que hajam especializações na fisiologia térmica bem demarcadas (HUEY, 2009; MUÑOZ-MENDOZA et al., 2017; PIANTONI et al., 2016). Ao menos no curto prazo, espécies de ambientes temperados são previstas de se beneficiarem com o aumento da temperatura, enquanto seria previsto uma diminuição na atividade de espécies tropicais (CALDWELL et al., 2015; HUEY et al., 2009). Apesar disso, no presente estudo eu ressalto que as espécies de ambientes temperados se encontram tão ameaçadas quanto as espécies de ambientes tropicais e subtropicais como resultado dos efeitos das mudanças climáticas.

Espécies de montanhas especialistas em ambientes mais frios são previstas de serem as mais vulneráveis frente às mudanças climáticas dentre os répteis, devido à sua norma de reação térmica, na qual conforme a temperatura for diminuindo em relação ao ótimo térmico, sua sobrevivência vai diminuindo devagar, porém isso acontece rapidamente quando a temperatura ultrapassa o ótimo (HUEY, 2012; ORTEGA; MENCÍA; PÉREZ-MELLADO, 2016b, 2017b). Apesar disso, estes animais poderiam ter maior habilidade de lidar com condições de hipóxia que poderiam causar uma redução drástica no ponto de ajuste da temperatura em répteis (DUBOIS et al., 2017).

3. *Biologia reprodutiva*

A vulnerabilidade das espécies depende da sensibilidade de cada estágio do ciclo de vida (LEVY et al., 2016). A fisiologia térmica dos embriões e a ontogenia são adaptadas a padrões ambientais em larga escala, e variações nas condições climáticas podem levar a um grande impacto das mudanças climáticas nessas características (ANDREWS; SCHWARZKOPF, 2012; GILBERT; LATTANZIO, 2016). A variação climática também afeta o tempo reprodutivo, com o emparelhamento tendendo a começar antes e a persistir por um grande período de tempo (BULL; BURZACOTT, 2002; LJUNGSTRÖM; WAPSTRA; OLSSON, 2015; PRODON et al., 2017), com o desempenho, afetando o sucesso dos filhotes, características morfológicas e crescimento (MONASTERIO et al., 2013).

Algumas espécies de ambientes temperados poderiam se beneficiar com as noites mais quentes, tais quais *Uta stansburiana*, que apresenta como um efeito positivo no fitness o aumento da sua taxa de desenvolvimento e o avanço da fenologia reprodutiva (CLARKE; ZANI, 2012). Apesar disso, temperaturas de incubação mais quentes usualmente diminuem o período de incubação nos répteis, e pode influenciar diversas características fenotípicas, tais quais morfologia, desenvolvimento, performance, comportamento, fisiologia e sobrevivência, sendo as três últimas as mais afetadas entre os Squamata (NOBLE; STENHOUSE; SCHWANZ, 2018; e.g., CARLO et al., 2018).

As mudanças climáticas contemporâneas também têm o potencial de alterar a localização e a disponibilidade de locais ideais para os ninhos, o que pode influenciar tanto na aptidão materna quanto na da prole (HUANG; PIKE, 2011). Com as alterações previstas na temperatura do ambiente, as fêmeas devem preferir construir ninhos em ambientes mais sombreados, nos quais as temperaturas não iriam aumentar suficientemente para ameaçar os embriões (LEVY et al., 2015). Apesar desta necessidade, algumas espécies podem apresentar baixa plasticidade na seleção materna dos locais de postura, tais como espécies com ninhos comunais, o que pode aumentar os impactos das mudanças climáticas na sobrevivência da prole se eles ocuparem ambientes termicamente desafiadores (DAYANANDA et al., 2016).

O sucesso do desenvolvimento embrionário está usualmente ligado ao período de incubação, que é passível de ser restringido pelas condições térmicas disponíveis para diversas espécies, demonstrando os efeitos negativos das altas temperaturas (LU et al., 2013; MONASTERIO et al., 2013). A exposição à temperaturas estressantes, mas não letais, durante o desenvolvimento pode influenciar a morfologia o volume e tamanho absoluto do cérebro dos filhotes, o que sugere um efeito tecido-específico no cérebro (AMIEL; BAO; SHINE, 2017; SIMONIELLO et al., 2016). Ninhos mais quentes podem ainda influenciar no desempenho locomotor e na aprendizagem dos filhotes, o que pode consequentemente influenciar suas taxas de dispersão e de sobrevivência (AMIEL; SHINE, 2012; BELL et al., 2010; DAYANANDA; MURRAY; WEBB, 2017).

Um aumento na variação interanual na temperatura do ambiente pode levar a uma flutuação significativa na proporção entre machos e fêmeas, o que pode ter um efeito importante na dinâmica populacional caso leve ao viés da razão entre os sexos em adultos (MITCHELL et al., 2010; WAPSTRA et al., 2009). Estocasticidade demográfica, sobrevivência diferenciada entre os sexos e condições ambientais são algumas causas do viés da razão entre os sexos, que pode ser reconhecido como um problema para a conservação das espécies (GRAYSON et al., 2014). Alguns répteis, como os tuatara, possuem a determinação

do sexo dependente da temperatura (TSD), onde a temperatura de incubação durante um período específico do desenvolvimento embrionário determina o sexo do embrião (BULL, 1980). Algumas populações de tuatara já estão experimentando um aumento no viés de machos, o que pode levar à extinção destas populações, considerando o aumento na competição entre machos e a produção de poucos filhotes (GRAYSON et al., 2014). Além disso, previsões para o futuro sugerem que, sem adaptação, as mudanças climáticas vão produzir ninhadas só de machos de rápido desenvolvimento, aumentando o risco de extinção destas populações (MITCHELL et al., 2008). Um clima mais quente durante a construção dos ninhos pode ainda resultar em estações de ninhadas menores, e a postura de ovos mais cedo na estação pode resultar em temperaturas de ninho mais elevadas, o que pode justificar a condição enviesada para o sexo masculino da população (NELSON et al., 2004). Além disso, a ausência de quaisquer ajustes da temperatura pivotal pode levar à redução no recrutamento como resultado das temperaturas letais nos ninhos. Tanto a modificação do comportamento de postura de ovos quanto as respostas adaptativas da temperatura pivotal podem modificar rápido o bastante as taxas sexuais de tuatara, então uma boa ferramenta para amenizar os efeitos das mudanças climáticas na sua fenologia seria a translocação para ambientes mais frios, o que é melhor que intervenções periódicas, que por sua vez seriam mais custosas (MITCHELL et al., 2010).

Além dos tuatara, outros Lepidosauria também possuem determinação do sexo pelo ambiente, e para estes, as evidências sugerem que as diferenças climáticas podem ser compensadas pelo comportamento materno e fenologia da postura de ovos (DOODY et al., 2006). Algumas espécies já ajustaram tanto a profundidade do ninho quanto a sazonalidade do tempo de oviposição em resposta ao aumento de temperatura do ambiente, apesar de terem sido incapazes de compensar completamente as mudanças climáticas, o que resultou em uma média de temperatura de incubação maior que os limites térmicos onde a temperatura afeta o sexo dos filhotes (TELEMECO; ELPHICK; SHINE, 2009). Alguns lagartos vivíparos apresentam períodos de gestação dependentes da temperatura, bem como efeitos específicos da temperatura nas populações (CUNNINGHAM; WHILE; WAPSTRA, 2017). Ao contrário dos tuatara, as populações de lagartos mais afetadas pelos ambientes mais quentes apresentarão um viés de fêmeas, o que pode não ter um efeito negativo na taxa de crescimento populacional, uma vez que esta é geralmente determinada pelo número de fêmeas, particularmente em espécies onde os machos se reproduzem com múltiplas fêmeas (CUNNINGHAM; WHILE; WAPSTRA, 2017).

O regime de chuvas constitui outro fator relevante para determinar a performance reprodutiva, uma vez que algumas espécies vivendo sob maiores taxas de precipitação durante a gestação produziram neonatos menores com maior taxa de sobrevivência, enquanto fêmeas vivendo sob chuvas mais pesadas produziram neonatos maiores, porém em menor quantidade (MARQUIS; MASSOT; GALLIARD, 2008). Uma baixa precipitação e um aumento da extensão das secas também pode afetar a sobrevivência das espécies, e um ambiente mais seco e quente pode afetar negativamente o período gestacional, o resultado da reprodução e a taxa entre os sexos (WANG et al., 2016; WESTPHAL et al., 2016). Uma estratégia utilizada por algumas espécies como consequência de viver em ambientes mais quentes é o acasalamento com machos adicionais, o que aumentaria a viabilidade dos filhotes através da competição pelo esperma e aumentaria a sobrevivência dos filhotes no primeiro ano de vida (OLSSON et al., 2011).

Para espécies vivíparas, as condições térmicas durante diferentes estágios da gestação podem afetar diferentes aspectos da reprodução, tais quais viabilidade do embrião, o comprimento da gestação e o fenótipo dos filhotes (LOURDAIS et al., 2004). Quando expostos a maiores oportunidades de termorregulação ativa por dia, algumas espécies podem dar à luz antes do tempo previsto como comum de gestação à filhotes menores, que crescem mais rápido nas primeiras semanas de vida, o que é sugestivo de uma possível resiliência pelas espécies em um ambiente mais quente (DUBEY; SHINE, 2011). Uma maior cobertura de nuvens pode levar a um crescimento lento dos filhotes, além de produzir filhotes comparativamente menores, mostrando a sua potencial influência a longo prazo na dinâmica populacional (HARE; CREE, 2010). As fêmeas expostas a estressores térmicos durante a reprodução podem alterar os fenótipos por manipulação hormonal dos embriões (MEYLAN; MILES; CLOBERT, 2012). A variação na exposição aos hormônios durante o desenvolvimento influencia tanto a propensão à dispersão quanto a dinâmica populacional, afetando o recrutamento da população e as subseqüentes características de história de vida da prole (MEYLAN; MILES; CLOBERT, 2012).

4. Comportamento

Apesar de ser mais difícil de prever, as mudanças nas relações intra e interespecíficas causadas pelas alterações climáticas podem ter efeitos ecológicos bem profundos (DEGREGORIO et al., 2015). O grau das interações entre as espécies e como elas podem ser alteradas pelas mudanças climáticas pode ser estimado pelas características das espécies, e em resposta à essas mudanças podem haver alterações na abundância e na distribuição das

espécies (OVASKAINEN et al., 2013). Tais estimativas estão ainda cercadas por incertezas e demandam uma interpretação cautelosa dos padrões observados (COX; THOMPSON; REIDY, 2013).

BUCKLEY (2013) focou na competição dos *Anolis* caribenhos para avaliar a influência das mudanças climáticas nas interações entre espécies. Ele observou que a competição é mais intensa sob condições abióticas estressantes, podendo acentuar a abundância das espécies e alterações na distribuição, uma vez que a espécie de floresta *Anolis gundlachi* pode apresentar um deslocamento competitivo devido à movimentação do habitante de áreas abertas, *A. cristatellus*, para seu micro-habitat preferido (BUCKLEY, 2013).

RABOSKY et al. (2012), por sua vez, focou em acessar a influência das mudanças climáticas na agregação social de *Xantusia vigilis*, um lagarto noturno da porção ocidental do Deserto Mojave. Eles observaram que a agregação social pode amenizar os efeitos e reduzir eventuais custos metabólicos causados pelas mudanças climáticas (RABOSKY et al., 2012).

BESTION et al. (2017) avaliou a simbiose entre hospedeiros animais e a comunidade bacteriana que habita seus intestinos. Essa relação é marcada pelos hospedeiros fornecendo imunidade e metabolismo, e a microbiota do intestino fornecendo a otimização de funções essenciais para os hospedeiros, como a digestão (BESTION et al., 2017). Alterações na temperatura do ambiente podem levar a alterações na microbiota do intestino, o que por sua vez pode levar a uma potencial dissimbiose, com possíveis consequências negativas para a sobrevivência do hospedeiro (BESTION et al., 2017).

Apesar dos estudos mencionados anteriormente, a maioria dos que estão relacionados a interações ecológicas de Lepidosauria e as mudanças climáticas focou em predação. O aumento da temperatura e umidade relativa permite que predadores de ninhos se tornem mais ativos mais cedo no ano, o que pode levar a um aumento da predação de ninhos em estações mais quentes (COX; THOMPSON; REIDY, 2013; DEGREGORIO et al., 2015; GEORGE; THOMPSON; FAABORG, 2015). A heterogeneidade da cobertura vegetal e as perturbações em uma escala local também podem influenciar a seleção de recursos pelos predadores (GEORGE et al., 2017; RUGIERO et al., 2012). As alterações na migração sazonal de presas devido às mudanças climáticas podem levar predadores inflexíveis a serem indiretamente mais vulneráveis ao aquecimento global, uma vez que estas espécies rastreiam as presas que são sazonalmente migratórias através da resposta a atributos do habitat ao invés de utilizarem pistas próximas que sinalizam a presença das presas (UJVARI; SHINE; MADSEN, 2011). Além disso, espécies termofílicas podem ser favorecidas pelo aumento da temperatura

ambiental média, uma vez que elas podem otimizar seu desempenho de forrageio e, conseqüentemente, a frequência com que se alimentam (CAPULA et al., 2016).

4.1. *Metabolismo e Energética*

As tendências filogenéticas, o metabolismo e a energética também fornecem explicações fisiológicas úteis para as taxas de extinções causadas pelo clima atuais e previstas para o futuro (DUPOUÉ; BRISCHOUX; LOURDAIS, 2017; LOGAN; FERNANDEZ; CALSBEEK, 2015; MEDINA et al., 2016). Dada a importância da temperatura para as reações bioquímicas, os impactos fisiológicos do clima e temperatura são passíveis de se manifestar na maioria das funções fisiológicas. Por exemplo, secreções femorais, sinais químicos sexuais chave para a interação intersexual, são negativamente impactados pelo aumento da temperatura no lagarto de montanha *Iberolacerta cyreni* (MARTÍN; LÓPEZ, 2013). Além disso, funções imunes inatas apresentaram redução devido a ondas locais de calor na cobra de milharal *Pantherophis guttatus* (STAHLSCHEMIDT et al., 2017).

As espécies podem apresentar compensação fisiológica, plasticidade e aclimação como mecanismos suplementares para compensar desafios térmicos (PUTMAN; CLARK, 2017; THEISINGER; BERG; DAUSMANN, 2017). Temperaturas ambientais estressantes podem aumentar os custos energéticos da manutenção do metabolismo durante a dormência ou inatividade noturna, ou reduzir a qualidade do refúgio de termorregulação de baixa temperatura (FLESCHE; ROSEN; HOLM, 2017; LELIÈVRE et al., 2013). As condições climáticas adversas podem levar algumas espécies à diminuição da sua tolerância ao calor, possivelmente devido ao aumento das proteínas de choque térmico (HSPs), que aparentemente apresentam esse efeito nos organismos quando são reguladas por altas temperaturas (DAYANANDA; MURRAY; WEBB, 2017). Além disso, elas podem reduzir a secreção de corticosteroides em lagartos, desregulando os níveis de atividade dos indivíduos para evitar perda d'água (DUPOUÉ et al., 2018).

Para alguns lagartos, alterações no morfotipo e tamanho corpóreo estão relacionadas à capacidade de termorregulação (HUANG et al., 2014; KUBISCH et al., 2012; LEPETZ et al., 2009). Lagartos maiores podem sobreviver mais tempo no inverno apesar das baixas temperaturas, e maiores estações de crescimento podem compensar as perdas por permitir um crescimento adicional e armazenamento de energia (ZANI, 2008). Temperaturas mais quentes também podem causar um rápido crescimento corpóreo, que pode ser associado a maiores tamanhos de ninhada e a um *output* reprodutivo total (CHAMAILLÉ-JAMMES et al., 2006), mas também a uma antecipação do início reprodutivo e aumento de voltinismo, levando a um

ciclo de vida acelerado e a uma diminuição da sobrevivência dos adultos em algumas espécies (BESTION et al., 2015).

4.2. Dinâmica populacional

As alterações nas atividades sazonais são as respostas dos organismos às mudanças climáticas mais bem documentadas na literatura, uma vez que constituem a característica chave que influencia o *fitness* individual e a dinâmica populacional (MASSOT et al., 2017). Variáveis climáticas são local e temporalmente dinâmicas e podem causar efeitos importantes em processos individuais ou de história natural dos ectotérmicos, alterando sua abundância real espaço-temporalmente (COWLES; BOGERT, 1944; DUNHAM; GRANT; OVERALL, 1989).

Para as serpentes, a atividade na superfície, o período de alimentação e a hibernação são aspectos importantes para sua dinâmica populacional (RUGIERO et al., 2013), e podem variar como uma resposta compensatória ao aquecimento global. O aumento na temperatura do ar pode causar uma antecipação do início da atividade na superfície e do período de alimentação, e atrasar a hibernação, além de reduzir a intensidade da atividade durante o período mais quente e úmido do ano (CAPULA et al., 2016; MORENO-RUEDA; PLEGUEZUELOS; ALAMINOS, 2009; RUGIERO et al., 2013). Essas estratégias podem amenizar os efeitos do aumento da temperatura nas espécies cujas previsões seriam de que a variação na temperatura não afetaria negativamente sua dinâmica populacional, apesar da exposição das espécies a ambientes mais quentes (e.g., *Hierophis viridiflavus*, LELIÈVRE et al., 2013).

5. Genética

Entender os padrões de fluxo gênico é crucial para desenvolver estratégias de conservação efetivas em espécies de répteis ameaçadas (KOUMOUNDOUROS et al., 2009). A divergência fenotípica está alinhada com a divergência genômica em resposta às mudanças climáticas (PRATES et al., 2016), devido à conexão entre adaptação evolutiva a longo prazo a um agente ambiental seletivo e à resposta a curto prazo a um estressor em organismos individuais (RODRÍGUEZ et al., 2017). Uma *network* genômica funcional para termorregulação e adaptação térmica pode ser regulada por vias evolutivas semelhantes entre várias linhagens de vertebrados, o que valida uma abordagem comparativa para o entendimento da adaptação térmica (RODRÍGUEZ et al., 2017). Além disso, o comprimento de telômeros é um biomarcador promissor para antecipar o potencial declínio populacional, uma vez que o atrito entre telômeros acelera os processos de idade após uma exposição recorrente a estressores ambientais (DUPOUÉ et al., 2017).

Espécies restritas a ambientes fragmentados, especialmente se as subdivisões da população persistem ao longo do tempo evolutivo e geram descontinuidade genética ao longo da extensão da espécie, devem apresentar alta vulnerabilidade frente às mudanças climáticas se os locais que contêm a maior parte da variação genética também estão entre os locais mais afetados (CLARK et al., 2011; DUBEY; PIKE; SHINE, 2013; KOUMOUNDOUROS et al., 2009). Quando a conectividade entre as manchas termicamente adequadas é reduzida e as estimativas são de baixo fluxo gênico entre as populações, isto implicaria em um aumento na distância entre os fragmentos, o que poderia levar a duas consequências: vicariância através da fragmentação, o que demandaria um aumento no tamanho populacional e necessidades ecológicas; ou uma possível extinção local, se estes fatores diminuíssem ao invés de aumentar, o que é mais passível de ocorrer em um cenário de mudanças climáticas (TOLLEY et al., 2009). Com isso, espécies especialistas são passíveis de serem constrangidas em suas respostas evolutivas às mudanças climáticas futuras (AFONSO SILVA et al., 2017).

A microevolução paralela entre espécies separadas pode demonstrar uma seleção natural à variação climática, fato que é importante para determinar se populações naturais podem se adaptar às mudanças climáticas (THORPE et al., 2015). Algumas espécies, como as do gênero *Anolis*, também possuem a capacidade de rapidamente se adaptar, o que poderia neutralizar os possíveis efeitos negativos do aquecimento global (THORPE et al., 2015). Além disso, linhagens periféricas e muito isoladas podem diferenciar-se fisiologicamente de linhagens maiores e centrais, e abrigar genótipos que podem conferir certa resiliência ao aquecimento global (MORITZ et al., 2012).

Tabela 2 - Sumário dos efeitos potenciais das mudanças climáticas em diferentes parâmetros da ecologia/história natural e biologia geral de Lepidosauria (Continua).

Grupo afetado	Principais tópicos	Impacto sofrido	Respostas observadas	Possíveis ferramentas para amenizar os efeitos	Referência bibliográfica
Squamata	Genética	Baixo fluxo gênico entre populações	Vulnerabilidade, extinções locais	-	CLARK et al., 2011; DUBEY; PIKE; SHINE, 2013; KOUMOUNDOUROS et al., 2009; TOLLEY et al., 2009
Squamata	Genética	Atrito entre telômeros	Mudanças no processo de idade, declínio populacional	-	DUPOUÉ et al., 2017
Squamata	Biologia reprodutiva	Condição “quente e seca”	Mudanças no output reprodutivo, declínio populacional	Plasticidade fisiológica, aclimação	FLESCH; ROSEN; HOLM, 2017; JONES et al., 2013; LELIÈVRE et al., 2013; POMARA et al., 2014; WANG, Y. et al., 2016; WESTPHAL et al., 2016
Squamata	Biologia reprodutiva	Condição fria	Mudanças na manutenção do metabolismo	-	FLESCH; ROSEN; HOLM, 2017; LELIÈVRE et al., 2013
Rynchocephalia	Biologia reprodutiva	Enviesamento da taxa sexual para machos	Declínio populacional	Translocação para ambientes mais frios	GRAYSON et al., 2014; MITCHELL et al., 2008, 2010; NELSON et al., 2002
Squamata	Biologia reprodutiva	Enviesamento da taxa sexual para fêmeas	Alterações na dinâmica populacional	Comportamento materno e fenologia da nidificação	DOODY et al., 2006
Squamata	Biologia reprodutiva	Disponibilidade de locais ótimos para postura dos ovos	Alterações no fitness materno e dos filhotes	Alteração na seleção do local de postura	HUANG, W. S.; PIKE, 2011; LEVY et al., 2015
Squamata	Biologia reprodutiva	Incubação mais quente	Mudanças nas características fenotípicas e dinâmica populacional	-	AMIEL; SHINE, 2012; BELL, K.; BLOMBERG; SCHWARZKOPF, 2013; CARLO et al., 2018; DAYANANDA; WEBB, 2017; MASSOT; CLOBERT; FERRIÈRE, 2008; NOBLE; STENHOUSE; SCHWANZ, 2018
Squamata	Biologia reprodutiva	Alterações na performance térmica	Diminuição do sucesso e crescimento dos filhotes; alterações nas características morfológicas	-	BULL; BURZACOTT, 2002; LJUNGSTRÖM; WAPSTRA; OLSSON, 2015; PRODON et al., 2017
Squamata	Biologia reprodutiva	Período de incubação	Mortalidade dos embriões	Cruzamento com machos adicionais	BEAUMONT et al., 2011; LU et al., 2013
Squamata	Biologia reprodutiva	Regime de chuvas	Diminuição da sobrevivência de neonatos	Cruzamento com machos adicionais	MARQUIS; MASSOT; GALLIARD, LE, 2008; OLSSON et al., 2011
Squamata	Biologia reprodutiva	Disponibilidade de presas	Mudanças no evento reprodutivo	-	UJVARI; SHINE; MADSEN, 2011
Viviparos	Biologia reprodutiva	Alta cobertura de nuvens	Mudanças no sucesso de gravidez, dinâmica populacional	-	HARE; CREE, 2010
Viviparos	Biologia reprodutiva	Exposição a diferentes níveis hormonais	Mudanças na capacidade de dispersão e dinâmica populacional	-	MEYLAN; MILES; CLOBERT, 2012
Serpentes	Biologia reprodutiva	Aumento da temperatura do ar	Redução da atividade na superfície e alimentação	-	CAPULA, et al., 2014; MORENO-RUEDA; PLEGUEZUELOS; ALAMINOS, 2009; RUGIERO et al., 2013

Tabela 2 - Sumário dos efeitos potenciais das mudanças climáticas em diferentes parâmetros da ecologia/história natural e biologia geral de Lepidosauria (Continuação).

Grupo afetado	Principais tópicos	Impacto sofrido	Respostas observadas	Possíveis ferramentas para amenizar os efeitos	Referência bibliográfica
Squamata	Distribuição das espécies	Alterações em ambientes termicamente adequados	Mudanças na distribuição das espécies	Capacidade de migração, áreas de preservação ambiental	ARAÚJO; GUIBAN, 2006; BARROWS, C. W., 2011; BEZENG; et al., 2017; CATEN et al., 2017; MINOLI; AVILA, 2017; NASRABADI et al., 2018; NORI et al., 2018; OFORI et al., 2017
Squamata	Distribuição das espécies	Migrações forçadas pelo clima	Competição interespecífica	-	RODDA; JARNEVICH; REED, 2009
Viviparos	Distribuição das espécies	Contrações na distribuição	Eventos de extinção	-	PINCHEIRA-DONOSO et al., 2013
Rynchocephalia	Distribuição das espécies	Baixa capacidade de dispersão	Extinções locais	Colonização assistida	FORDHAM et al., 2012; JARVIE et al., 2014; MILLER et al., 2012
Squamata	Comportamento	Condições abióticas estressantes	Aumento na competição	-	BUCKLEY, 2013
Squamata	Comportamento	Alterações na biota do intestino	Dissimbiose, sobrevivência do hospedeiro	-	BESTION et al., 2017
Squamata	Comportamento	Aumento da temperatura e umidade	Aumento na predação	-	COX; THOMPSON; REIDY, 2013; DEGREGORIO et al., 2015; GEORGE; THOMPSON; FAABORG, 2015
Squamata	Comportamento	Perturbações em escala local	Alterações na seleção de recursos pelo predador	-	GEORGE et al., 2017; RUGIERO et al., 2012
Squamata	Comportamento	Alterações na migração sazonal de presas	Inabilidade de rastrear as presas	-	UJVARI; SHINE; MADSEN, 2011
Squamata	Fisiologia térmica	Comportamento de termorregulação	Mudanças nas características fisiológicas	-	ARTACHO et al., 2017; GOLLER; GOLLER; FRENCH, 2014; KEARNEY, M.; SHINE; PORTER, 2009; LLEWELYN; MACDONALD; HATCHER; MORITZ; PHILLIPS et al., 2016
Squamata	Fisiologia térmica	Temperatura de incubação	Mudanças na fisiologia térmica e morfologia dos embriões	-	AMIEL; BAO; SHINE, 2017; ANDREWS; SCHWARZKOPF, 2012; GILBERT; LATTANZIO, 2016; SIMONIELLO et al., 2016
Squamata	Fisiologia térmica	Ondas de calor locais	Mudanças nos sinais químicos e funções imunes	-	MARTÍN; LÓPEZ, 2013; STAHLSCHEMIDT et al., 2017
Squamata	Fisiologia térmica	Aumento na temperatura operativa	Aumento no gasto energético e alterações na estratégia de termorregulação	Disponibilidade de sombras, uso de refúgios	BASSON et al., 2017; LEVY et al., 2017; MEDINA et al., 2016; VALENZUELA-CEBALLOS et al., 2015; WEATHERHEAD et al., 2012

Tabela 2 - Sumário dos efeitos potenciais das mudanças climáticas em diferentes parâmetros da ecologia/história natural e biologia geral de Lepidosauria (Conclusão).

Grupo afetado	Principais tópicos	Impacto sofrido	Respostas observadas	Possíveis ferramentas para amenizar os efeitos	Referência bibliográfica
Squamata	Fisiologia térmica	Variação na temperatura e precipitação	Alterações na fisiologia térmica, seleção natural	Plasticidade fisiológica, aclimação	BRISCHOUX et al., 2016; BUCKLEY; EHRENBERGER; ANGILLETTA, 2015; CLUSELLA-TRULLAS; BLACKBURN; CHOWN, 2011; FERRI-YÁÑEZ; ARAÚJO, 2015; ORTEGA; MENCÍA; PÉREZ-MELLADO, 2016b; PUTMAN; CLARK, 2017; THEISINGER; BERG; DAUSMANN, 2017

1.4 Conclusões

O aspecto mais abordado entre os estudos que trataram dos efeitos de mudanças climáticas em Lepidosauria foi a distribuição das espécies, uma vez que este é na verdade o resultado de todos os demais tópicos abordados quando se considera o conceito de risco de extinção. Além disso, a maior parte das espécies avaliadas estará sob efeitos negativos das mudanças climáticas em quase todas as regiões zoogeográficas, podendo ser, portanto, consideradas como vulneráveis.

A partir dos resultados apresentados nestaseção, conclui-se que existe uma possível relação entre filogenia e vulnerabilidade entre os Lepidosauria, que apresenta um aumento da vulnerabilidade em direção aos clados mais derivados. Além disso, espécies de ambientes com diferentes características climáticas seriam igualmente vulneráveis, o que indica que a vulnerabilidade das espécies não segue um padrão biogeográfico.

A maior parte das regiões zoogeográficas não foi amostrada homoganeamente, faltando estudos focando em espécies de diferentes áreas, e algumas foram subamostradas em relação à diversidade local conhecida. Áreas com alto potencial para conservação devido a alta concentração espacial de diversidade também apresentaram as maiores taxas de vulnerabilidade de espécies. Isso indica que estas áreas são passíveis de serem alvos para conservação em larga escala, podendo ajudar a identificar áreas especialmente diversas para esforços de conservação em uma escala menor, focando em amenizar os efeitos das mudanças climáticas nas populações locais.

Tendências para o futuro

- As avaliações dos modelos de distribuição de espécies devem ser feitas com maior cuidado, e o grau de vulnerabilidade das espécies deve ser melhor avaliado e interpretado, de preferência levando em consideração a exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa da espécie;
- Espécies de ambientes de ilhas com alto grau de endemismo, como Madagascar, devem ser melhor estudadas, uma vez que a falta de estudos na região subestima sua vulnerabilidade às mudanças climáticas;
- A investigação de potenciais áreas para a conservação das espécies de Lepidosauria em um cenário zoogeográfico abrangente, considerando o status atual global da

vulnerabilidade das espécies e a diversidade filogenética em diferentes áreas, deve aprimorar o conhecimento acerca da biodiversidade e da conservação deste grupo;

- A influência das mudanças climáticas na maior parte das espécies de Lepidosauria permanece desconhecida, portanto, novos estudos são necessários em áreas com pouca ou nenhuma informação, tais quais Canadá, Rússia, Congo e Oriente Médio, para homogeneizar a amostragem e reforçar os padrões dos efeitos das mudanças climáticas nos Lepidosauria ao longo das regiões zoogeográficas.
- Uma abordagem integrativa que aborde a maioria das características levantadas aqui (e.g., genética, dinâmica populacional, distribuição das espécies, comportamento e fisiologia térmica), além de variáveis bioclimáticas e ambientais, pode levar a estratégias mais consistentes e verdadeiramente efetivas para a conservação das espécies, visando amenizar os efeitos das mudanças climáticas neste grupo de répteis.

1.5 Referências

ACKLEY, J. W. et al. **Urban heat island mitigation strategies and lizard thermal ecology: landscaping can quadruple potential activity time in an arid city.** *Urban Ecosystems*, [s.l.], v. 18, n° 4, p. 1447–1459, 2015. ISBN: 1083-8155, 1573-1642, ISSN: 15731642, DOI: 10.1007/s11252-015-0460-x.

AFONSO SILVA, A. C. et al. **Tropical specialist vs. climate generalist: Diversification and demographic history of sister species of *Carlia* skinks from northwestern Australia.** *Molecular Ecology*, [s.l.], v. 26, n° 15, p. 4045–4058, 2017. ISBN: 0000000154871, ISSN: 1365294X, DOI: 10.1111/mec.14185.

AGUADO, S.; BRAÑA, F. **Thermoregulation in a cold-adapted species (*Cyren's Rock Lizard, Iberolacerta cyreni*): influence of thermal environment and associated costs.** *Canadian Journal of Zoology*, [s.l.], v. 92, n° 11, p. 955–964, 2014. ISBN: 0008-4301, ISSN: 0008-4301, DOI: 10.1139/cjz-2014-0096.

AKASHI, H. D. et al. **Differentially expressed genes associated with adaptation to different thermal environments in three sympatric Cuban *Anolis* lizards.** *Molecular Ecology*, [s.l.], v. 25, n° 10, p. 2273–2285, 2016. ISBN: 0962-1083, ISSN: 1365294X, DOI: 10.1111/mec.13625.

ALVAREZ, G. et al. **Projections of Future Suitable Bioclimatic Conditions of Parthenogenetic Whiptails.** *Climate*, [s.l.], v. 5, n° 2, p. 34, 2017. ISBN: 1575646269, ISSN: 2225-1154, DOI: 10.3390/cli5020034.

AMIEL, J. J.; BAO, S.; SHINE, R. **The effects of incubation temperature on the development of the cortical forebrain in a lizard.** *Animal Cognition*, [s.l.], v. 20, n° 1, p. 117–125, 2017. ISSN: 14359448, DOI: 10.1007/s10071-016-0993-2.

AMIEL, J. J.; SHINE, R. **Hotter nests produce smarter young lizards.** *Biology Letters*, [s.l.], v. 8, n° 3, p. 372–374, 2012. ISBN: 1744-9561, ISSN: 1744957X, DOI: 10.1098/rsbl.2011.1161.

ANDREWS, R. M.; SCHWARZKOPF, L. **Thermal performance of squamate embryos with respect to climate, adult life history, and phylogeny.** *Biological Journal of the Linnean Society*, [s.l.], v. 106, n° 4, p. 851–864, 2012. ISBN: 1095-8312, ISSN: 00244066, DOI: 10.1111/j.1095-8312.2012.01901.x.

ANGILLETTA, M. J. et al. **Coadaptation: A unifying principle in evolutionary thermal biology.** *Physiological and Biochemical Zoology*, [s.l.], v. 79, n° 2, p. 282–294, 2006. ISBN: 1522-2152, ISSN: 1522-2152, DOI: Doi 10.1086/499990.

ARAGÓN, P. et al. **Predicted impact of climate change on threatened terrestrial vertebrates in central Spain highlights differences between endotherms and ectotherms.** *Animal Conservation*, [s.l.], v. 13, n° 4, p. 363–373, 2010. ISBN: 1469-1795, ISSN: 13679430, DOI: 10.1111/j.1469-1795.2009.00343.x.

ARAÚJO, M. B. et al. **Validation of species – climate impact models under climate change.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 11, n° 9, p. 1504–1513, 2005. ISBN: 1354-1013,

ISSN: 1365-2486, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.001000.x.

ARAÚJO, M. B.; GUISAN, A. **Five (or so) challenges for species distribution modelling.** *Journal of Biogeography*, [s.l.], v. 33, n° 10, p. 1677–1688, 2006. ISBN: 1365-2699, ISSN: 03050270, DOI: 10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x.

ARTACHO, P. et al. **Geographic variation and acclimation effects on thermoregulation behavior in the widespread lizard *Liolaemus pictus*.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 63, p. 78–87, 2017. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2016.11.001.

AUBRET, F.; SHINE, R. **Thermal plasticity in young snakes: how will climate change affect the thermoregulatory tactics of ectotherms?** *The Journal of experimental biology*, [s.l.], v. 213, n° 2, p. 242–248, 2010. ISBN: 0022-0949, ISSN: 0022-0949, DOI: 10.1242/jeb.035931.

BALLESTEROS-BARRERA, C.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; GADSDEN, H. **Effects of Land-Cover Transformation and Climate Change on the Distribution of Two Microendemic Lizards, Genus *Uma*, of Northern Mexico.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 41, n° 4, p. 733–740, 2007. ISBN: 0022-1511, ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/06-276.1.

BARNOSKY, A. D. et al. **Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?** *Nature*, [s.l.], v. 471, n° 7336, p. 51–57, 2011. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/nature09678.

BARROWS, C. W. **Sensitivity to climate change for two reptiles at the Mojave-Sonoran Desert interface.** *Journal of Arid Environments*, [s.l.], v. 75, n° 7, p. 629–635, 2011. ISBN: 0140-1963, ISSN: 01401963, DOI: 10.1016/j.jaridenv.2011.01.018.

BARROWS, C. W.; FISHER, M. **Past, present and future distributions of a local assemblage of congeneric lizards in southern California.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 180, p. 97–107, 2014. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2014.09.042.

BASSON, C. H. et al. **Lizards paid a greater opportunity cost to thermoregulate in a less heterogeneous environment.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 31, n° 4, p. 856–865, 2017. ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12795.

BEAUMONT, L. J. et al. **Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s.l.], v. 108, n° 6, p. 2306–2311, 2011. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1007217108/-
/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1007217108.

BEEVER, E. A. et al. **Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change.** *Frontiers in Ecology and the Environment*, [s.l.], v. 15, n° 6, p. 299–308, 2017. ISSN: 15409309, DOI: 10.1002/fee.1502.

BELL, K.; BLOMBERG, S.; SCHWARZKOPF, L. **Detrimental influence on performance of high temperature incubation in a tropical reptile: Is cooler better in the tropics?** *Oecologia*, [s.l.], v. 171, n° 1, p. 83–91, 2013. ISBN: 0029-8549, ISSN: 00298549,

DOI: 10.1007/s00442-012-2409-6.

BELL, R. C. et al. **Patterns of persistence and isolation indicate resilience to climate change in montane rainforest lizards.** *Molecular Ecology*, [s.l.], v. 19, n° 12, p. 2531–2544, 2010. ISBN: 1365-294X, ISSN: 09621083, DOI: 10.1111/j.1365-294X.2010.04676.x.

BELLARD, C. et al. **Impacts of climate change on the future of biodiversity.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 15, n° 4, p. 365–377, 2012. ISBN: 0471142905, ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.

BENNETT, A F. **Thermal dependence of locomotor capacity.** *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, [s.l.], v. 259, p. 253–258, 1990. ISBN: 0002-9513 (Print)n0002-9513 (Linking), ISSN: 0002-9513.

BERGER, A. L. **Long term variations of daily insolation and quaternary climate changes.** *Journal of the Atmospheric Sciences*, [s.l.], v. 35, p. 2362–2367, 1978.

BESSON, A. A.; CREE, A. **Integrating physiology into conservation: An approach to help guide translocations of a rare reptile in a warming environment.** *Animal Conservation*, [s.l.], v. 14, n° 1, p. 28–37, 2011. ISBN: 1469-1795, ISSN: 13679430, DOI: 10.1111/j.1469-1795.2010.00386.x.

BESTION, E. et al. **Live Fast, Die Young: Experimental Evidence of Population Extinction Risk due to Climate Change.** *PLoS Biology*, [s.l.], v. 13, n° 10, p. 1–19, 2015. ISBN: 1544-9173, ISSN: 15457885, DOI: 10.1371/journal.pbio.1002281.

_____. **Climate warming reduces gut microbiota diversity in a vertebrate ectotherm.** *Nature Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 1, n° 6, p. 1–3, 2017. ISBN: 2397-334X (Electronic)2397-334X (Linking), ISSN: 2397334X, DOI: 10.1038/s41559-017-0161.

BESTION, E.; CLOBERT, J.; COTE, J. **Dispersal response to climate change: Scaling down to intraspecific variation.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 18, n° 11, p. 1226–1233, 2015. ISBN: 1461-0248, ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12502.

BEZENG, B. S.; TESFAMICHAEL, S. G.; DAYANANDA, B. **Predicting the effect of climate change on a range-restricted lizard in southeastern Australia.** *Current Zoology*, [s.l.], n° January, p. 1–7, 2017. ISSN: 1674-5507, DOI: 10.1093/cz/zox021.

BINDOFF, N. L. et al. **Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, [s.l.], p. 1217–1308, 2013. ISBN: ISBN 978-1-107-66182-0, ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.028.*

BLAIR, W. F. **The rusty lizard: a population study.** [s.l.]: University of Texas Press, 1960.
BOGERT, C. M. **How reptiles regulate their body temperature.** *Scientific American*, [s.l.], v. 200, n° 4, p. 105–120, 1959.

BÖHM, M. et al. **Correlates of extinction risk in squamate reptiles: The relative importance of biology, geography, threat and range size.** *Global Ecology and*

Biogeography, [s.l.], v. 25, n° 4, p. 391–405, 2016. ISBN: 1466822X, ISSN: 14668238, DOI: 10.1111/geb.12419.

BOMBI, P. et al. **Climate change threatens the survival of highly endangered Sardinian populations of the snake *Hemorrhois hippocrepis***. *Animal Biology*, [s.l.], v. 61, n° 3, p. 239–248, 2011. ISBN: 1570-7555, ISSN: 15707555, DOI: 10.1163/157075511X584191.

BOMBI, P. et al. **Potential effects of climate change on high- and low- abundance populations of the Gaboon viper (*Bitis***. [s.l.], n° September 2017, 2011. ISSN: 0268-0130.

BONINO, M. F. et al. **Climate change and lizards: changing species' geographic ranges in Patagonia**. *Regional Environmental Change*, [s.l.], v. 15, n° 6, p. 1121–1132, 2015. ISSN: 1436378X, DOI: 10.1007/s10113-014-0693-x.

BONINO, M. F. et al. **Thermal sensitivity of cold climate lizards and the importance of distributional ranges**. *Zoology*, [s.l.], v. 118, n° 4, p. 281–290, 2015. ISBN: 0944-2006, ISSN: 09442006, DOI: 10.1016/j.zool.2015.03.001.

BORENSTEIN, M. et al. **Introduction to meta-analysis**. *John Wiley & Sons.*, [s.l.], 2011.

BOYLE, M. et al. **Dispersal and climate warming determine range shift in model reptile populations**. *Ecological Modelling*, [s.l.], v. 328, n° March, p. 34–43, 2016. ISBN: 0304-3800, ISSN: 03043800, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.02.011.

BRIENEN, R. J. W. et al. **Long-term decline of the Amazon carbon sink**. *Nature*, [s.l.], v. 519, n° 7543, p. 344–348, 2015. ISBN: doi:10.1038/nature14283, ISSN: 14764687, DOI: 10.1038/nature14283.

BRISCHOUX, F. et al. **Effects of mild wintering conditions on body mass and corticosterone levels in a temperate reptile, the aspik viper (*Vipera aspis*)**. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A: Molecular and Integrative Physiology*, [s.l.], v. 192, n° January, p. 52–56, 2016. ISSN: 15314332, DOI: 10.1016/j.cbpa.2015.11.015.

BRUSCH, G. A.; TAYLOR, E. N.; WHITFIELD, S. M. **Turn up the heat: thermal tolerances of lizards at La Selva, Costa Rica**. *Oecologia*, [s.l.], v. 180, n° 2, p. 325–334, 2016. ISBN: 1432-1939, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-015-3467-3.

BUCKLEY, L. B. **Linking traits to energetics and population dynamics to predict lizard ranges in changing environments**. *The American naturalist*, [s.l.], v. 171, n° 1, p. E1–E19, 2008. ISBN: 1537-5323 (Electronic)n0003-0147 (Linking), ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/523949.

_____. **The range implications of lizard traits in changing environments**. *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 19, n° 4, p. 452–464, 2010. ISBN: 1466-8238, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00538.x.

_____. **Get real: putting models of climate change and species interactions in practice**. *Annals of the New York Academy of Sciences*, [s.l.], p. n/a-n/a, 2013. ISBN: 1749-6632, ISSN: 00778923, DOI: 10.1111/nyas.12175.

BUCKLEY, L. B.; EHRENBERGER, J. C.; ANGILLETTA, M. J. **Thermoregulatory behaviour limits local adaptation of thermal niches and confers sensitivity to climate**

change. *Functional Ecology*, [s.l.], v. 29, n° 8, p. 1038–1047, 2015. ISBN: 1365-2435, ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12406.

BUCKLEY, L. B.; HUEY, R. B. **Temperature extremes: geographic patterns, recent changes, and implications for organismal vulnerabilities.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 22, n° 12, p. 3829–3842, 2016. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13313.

BULL, C. M.; BURZACOTT, D. **Changes in climate and in the timing of pairing of the Australian lizard, *Tiliqua rugosa*: A 15-year study.** *Journal of Zoology*, [s.l.], v. 256, n° 3, p. 383–387, 2002. ISBN: 0952-8369, ISSN: 09528369, DOI: 10.1017/S0952836902000420.

BULL, J. J. **Sex determination in reptiles.** *Quarterly Review of Biology*, [s.l.], v. 55, p. 3–21, 1980.

CABRELLI, A. L.; HUGHES, L. **Assessing the vulnerability of Australian skinks to climate change.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 130, n° 2, p. 223–233, 2015. ISBN: 1058401513, ISSN: 15731480, DOI: 10.1007/s10584-015-1358-6.

CABRELLI, A.; STOW, A.; HUGHES, L. **A framework for assessing the vulnerability of species to climate change: a case study of the Australian elapid snakes.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], p. DOI 10.1007/s10531-014-0760-0, 2014.

CADENHEAD, N. C. R. et al. **Climate and Fire Scenario Uncertainty Dominate the Evaluation of Options for Conserving the Great Desert Skink.** *Conservation Letters*, [s.l.], v. 9, n° 3, p. 181–190, 2016. ISBN: 1755-263X, ISSN: 1755263X, DOI: 10.1111/conl.12202.

CAHILL, A. **How does climate change cause extinction? ... of the Royal ...**, [s.l.], 2013a. ISSN: 1471-2954, DOI: 10.1098/rspb.2012.1890.

_____. **How does climate change cause extinction? ... of the Royal ...**, [s.l.], n° September, p. 1396–1398, 2013b. ISBN: 0962-8452, ISSN: 1471-2954, DOI: 10.1098/rspb.2012.1890.

CALDWELL, A. J. et al. **Potential for thermal tolerance to mediate climate change effects on three members of a cool temperate lizard genus, *Niveoscincus*.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 52, p. 14–23, 2015. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2015.05.002.

CAMACHO, A. et al. **Measuring behavioral thermal tolerance to address hot topics in ecology, evolution, and conservation.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, n° July 2017, p. 71–79, 2018. ISBN: 0093-691X, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.009.

CAMACHO, A.; RUSCH, T. W. **Methods and pitfalls of measuring thermal preference and tolerance in lizards.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 68, p. 63–72, 2017. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.03.010.

CAPULA, M. et al. **Long-term, climate change-related shifts in monthly patterns of roadkilled Mediterranean snakes (*Hierophis viridiflavus*).** *Herpetological Journal*, [s.l.], v. 23, n° April, p. 97–102, 2014. ISBN: 1576645002.

CAPULA, M. et al. **Long-term, climate-change-related shifts in feeding frequencies of a Mediterranean snake population.** *Ecological Research*, [s.l.], v. 31, n° 1, p. 49–55, 2016. ISSN: 14401703, DOI: 10.1007/s11284-015-1312-0.

CARLO, M. A. et al. **Recurrent sublethal warming reduces embryonic survival, inhibits**

juvenile growth, and alters species distribution projections under climate change. *Ecology Letters*, [s.l.], v. 21, n° 1, p. 104–116, 2018. ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12877.

CARRANZA, S.; ARNOLD, E. N. **Investigating the origin of transoceanic distributions: Mtdna shows mabuya lizards (reptilia, scincidae) crossed the atlantic twice.** *Systematics and Biodiversity*, [s.l.], v. 1, n° 2, p. 275–282, 2003. ISBN: 1477-2000, ISSN: 14780933, DOI: 10.1017/S1477200003001099.

CAVALCANTI, M. J. **Croizat: A Software Package for Quantitative Analysis in Panbiogeography.** *Biogeografía*, [s.l.], v. 4, n° September, p. 4–6, 2009.

CEBALLOS, G. et al. **Accelerated modern human – induced species losses : Entering the sixth mass extinction.** *Science Advances*, [s.l.], v. 1, n° June, p. 1–6, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400253.

CHAMAILLÉ-JAMMES, S. et al. **Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 12, n° 2, p. 392–402, 2006. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.01088.x.

CHENG, H. et al. **Climate change patterns in Amazonia and biodiversity.** *Nature communications*, [s.l.], v. 4, p. 1411, 2013. ISBN: 2041-1723, ISSN: 2041-1723, DOI: 10.1038/ncomms2415.

CLARK, R. W. et al. **Decline of an isolated timber rattlesnake (*Crotalus horridus*) population: Interactions between climate change, disease, and loss of genetic diversity.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 144, n° 2, p. 886–891, 2011. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2010.12.001.

CLARKE, D. N.; ZANI, P. A. **Effects of night-time warming on temperate ectotherm reproduction: potential fitness benefits of climate change for side-blotched lizards.** *Journal of Experimental Biology*, [s.l.], v. 215, n° 7, p. 1117–1127, 2012. ISBN: 1477-9145 (Electronic)r0022-0949 (Linking), ISSN: 0022-0949, DOI: 10.1242/jeb065359.

CLUSELLA-TRULLAS, S.; BLACKBURN, T. M.; CHOWN, S. L. **Climatic Predictors of Temperature Performance Curve Parameters in Ectotherms Imply Complex Responses to Climate Change.** *The American Naturalist*, [s.l.], v. 177, n° 6, p. 738–751, 2011. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/660021.

CLUSELLA-TRULLAS, S.; CHOWN, S. L. **Lizard thermal trait variation at multiple scales: A review.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 184, n° 1, p. 5–21, 2014. ISBN: 0174-1578, ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-013-0776-x.

COLLINS, M. et al. **Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 1029–1136, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 9781107415324, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.024.

COOPER, A. et al. **Abrupt warming events drove Late Pleistocene Holarctic megafaunal turnover.** *Science*, [s.l.], v. 349, n° 6248, p. 602–606, 2015. ISBN: 0036-8075, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.aac4315.

COWLES, R. B.; BOGERT, C. M. **A preliminary study of the thermal requirements of desert lizards.** *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, [s.l.], v. 83, n° 1, p. 265–296, 1944.

COX, W. A.; THOMPSON, F. R.; REIDY, J. L. **The effects of temperature on nest predation by mammals, birds, and snakes.** *The Auk*, [s.l.], v. 130, n° 4, p. 784–790, 2013. ISBN: 0004-8038, ISSN: 00048038, DOI: 10.1525/auk.2013.13033.

CUBASCH, U. et al. **Introduction in Climate Change 2013.** *Intergovernmental Panel on Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 119–158, 2013. ISBN: ISBN 978-1-107-66182-0, ISSN: 1476-4687, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.007.

CUNNINGHAM, G. D.; WHILE, G. M.; WAPSTRA, E. **Climate and sex ratio variation in a viviparous lizard.** *Biology Letters*, [s.l.], v. 13, n° 5, p. 2015–2018, 2017. ISSN: 1744957X, DOI: 10.1098/rsbl.2017.0218.

DAVIS, M. A. et al. **Nowhere to go but up: Impacts of climate change on demographics of a short-range endemic (*Crotalus willardi obscurus*) in the sky-islands of southwestern North America.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 10, n° 6, 2015. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0131067.

DAWSON, T. P. et al. **Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6025, p. 53–58, 2011. ISBN: 1095-9203 (Electronic)n0036-8075 (Linking), ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1200303.

DAYANANDA, B. et al. **Communal nesting under climate change: fitness consequences of higher incubation temperatures for a nocturnal lizard.** *Global change biology*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 2405–2414, 2016. ISBN: 1365-2486 (Electronic)1354-1013 (Linking), ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13231.

DAYANANDA, B.; MURRAY, B. R.; WEBB, J. K. **Hotter nests produce hatchling lizards with lower thermal tolerance.** *The Journal of Experimental Biology*, [s.l.], v. 220, n° 12, p. 2159–2165, 2017. ISSN: 0022-0949, DOI: 10.1242/jeb.152272.

DAYANANDA, B.; WEBB, J. K. **Incubation under climate warming affects learning ability and survival in hatchling lizards.** *Biology Letters*, [s.l.], v. 13, n° 3, 2017. ISSN: 1744957X, DOI: 10.1098/rsbl.2017.0002.

DEGREGORIO, B. A. et al. **Indirect effect of climate change: Shifts in ratsnake behavior alter intensity and timing of avian nest predation.** *Ecological Modelling*, [s.l.], v. 312, p. 239–246, 2015. ISBN: 0304-3800, ISSN: 03043800, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2015.05.031.

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*, [s.l.], v. 105, n° 18, p. 6668–6672, 2008. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI:

10.1073/pnas.0709472105.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, 2018. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

DIELE-VIEGAS, L. M.; ROCHA, C. F. D. **Unraveling the influences of Climate Change in Lepidosauria (Reptilia).** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 78, n° April, p. 401–414, 2018. ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.005.

DOODY, J. S. et al. **Nest site choice compensates for climate effects on sex ratios in a lizard with environmental sex determination.** *Evolutionary Ecology*, [s.l.], v. 20, n° 4, p. 307–330, 2006. ISBN: 0269-7653, ISSN: 02697653, DOI: 10.1007/s10682-006-0003-2.

DU, W. G.; YAN, S. J.; JI, X. **Selected body temperature, thermal tolerance and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in adult blue-tailed skinks, *Eumeces elegans*.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 25, n° 3, p. 197–202, 2000. ISBN: 0306-4565, ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/S0306-4565(99)00022-4.

DUBEY, S.; PIKE, D. A.; SHINE, R. **Predicting the impacts of climate change on genetic diversity in an endangered lizard species.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 117, n° 1–2, p. 319–327, 2013. ISBN: 0165-0009, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-012-0540-3.

DUBEY, S.; SHINE, R. **Predicting the effects of climate change on reproductive fitness of an endangered montane lizard, *Eulamprus leuraensis* (Scincidae).** *Climatic Change*, [s.l.], v. 107, n° 3, p. 531–547, 2011. ISBN: 0962-1083, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-010-9963-x.

DUBOIS, P. M. et al. **Effects of oxygen on responses to heating in two lizard species sampled along an elevational gradient.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 68, n° October 2016, p. 170–176, 2017. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.02.008.

DULLINGER, S. et al. **Extinction debt of high-mountain plants under twenty-first century climate change.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 2, n° (8), p. 619–622., 2012.

DUNHAM, A. E.; GRANT, B. W.; OVERALL, K. L. **Interfaces between biophysical and physiological ecology and the population ecology of terrestrial vertebrate ectotherms.** *Physiological Zoology*, [s.l.], v. 62, n° 2, p. 335–355, 1989.

DUPOUÉ, A. et al. **Shorter telomeres precede population extinction in wild lizards.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n° 1, p. 1–8, 2017. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-017-17323-z.

DUPOUÉ, A. et al. **Water availability and environmental temperature correlate with geographic variation in water balance in common lizards.** *Oecologia*, [s.l.], v. 185, n° 4, p. 561–571, 2017. ISBN: 0123456789, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-017-3973-6.

DUPOUÉ, A. et al. **Reduction in baseline corticosterone secretion correlates with climate warming and drying across wild lizard populations.** *Journal of Animal Ecology*, [s.l.], v. 87, n° 5, p. 1331–1341, 2018. ISBN: 0000000225014, ISSN: 13652656, DOI: 10.1111/1365-2656.12843.

DUPOUÉ, A.; BRISCHOUX, F.; LOURDAIS, O. **Climate and foraging mode explain interspecific variation in snake metabolic rates.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 284, n° 1867, 2017. ISBN: 0000000225014, ISSN: 14712954, DOI: 10.1098/rspb.2017.2108.

ECHEVERRÍA-LONDOÑO, S.; MIRANDA-ESQUIVEL, D. R. **Martitracks: A geometrical approach for identifying geographical patterns of distribution.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 6, n° 4, 2011. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0018460.

EL-GABBAS, A. et al. **Conserving Egypt's reptiles under climate change.** *Journal of Arid Environments*, [s.l.], v. 127, n° April, p. 211–221, 2016. ISBN: 01401963, ISSN: 1095922X, DOI: 10.1016/j.jaridenv.2015.12.007.

FERRI-YÁÑEZ, F.; ARAÚJO, M. B. **Lizards could be warming faster than climate.** *Ecography*, [s.l.], v. 38, n° 5, p. 437–439, 2015. ISBN: 1600-0587, ISSN: 16000587, DOI: 10.1111/ecog.01481.

FLESCH, A. D.; ROSEN, P. C.; HOLM, P. **Long-term changes in abundances of Sonoran Desert lizards reveal complex responses to climatic variation.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 23, n° 12, p. 5492–5508, 2017. ISBN: 4955139574, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13813.

FORDHAM, D. A. et al. **Managed relocation as an adaptation strategy for mitigating climate change threats to the persistence of an endangered lizard.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 18, n° 9, p. 2743–2755, 2012. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02742.x.

_____. **PaleoView: a tool for generating continuous climate projections spanning the last 21 000 years at regional and global scales.** *Ecography*, [s.l.], v. 40, n° 11, p. 1348–1358, 2017. ISBN: 6503251521, ISSN: 16000587, DOI: 10.1111/ecog.03031.

GADSDEN, H. et al. **Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two endemic lizards, *Crotaphytus antiquus* and *Sceloporus cyanostictus*, of northern Mexico.** *Journal of Arid Environments*, [s.l.], v. 83, p. 1–9, 2012. ISBN: 0140-1963, ISSN: 01401963, DOI: 10.1016/j.jaridenv.2012.03.014.

GARCIA, R. A. et al. **Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity.** *Science*, [s.l.], v. 344, n° 6183, 2014. ISBN: 0036-8075, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1247579.

GEORGE, A. D. et al. **Resource selection by an ectothermic predator in a dynamic thermal landscape.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 22, p. 9557–9566, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.3440.

GEORGE, A. D.; THOMPSON, F. R.; FAABORG, J. **Isolating weather effects from seasonal activity patterns of a temperate North American Colubrid.** *Oecologia*, [s.l.], v. 178, n° 4, p. 1251–1259, 2015. ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-015-3300-z.

GERMAINE, S. S.; WAKELING, B. F. **Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson, Arizona, USA.** *Biological Conservation*,

[s.l.], v. 97, p. 229–237, 2001. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00115-4.

GILBERT, A. L.; LATTANZIO, M. S. **Ontogenetic variation in the thermal biology of Yarrow's spiny lizard, *Sceloporus jarrovii***. *PLoS ONE*, [s.l.], v. 11, n° 2, 2016. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0146904.

GILBERT, A. L.; MILES, D. B. **Natural selection on thermal preference, critical thermal maxima and locomotor performance**. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 284, n° 1860, 2017. ISBN: 0962-8452, ISSN: 14712954, DOI: 10.1098/rspb.2017.0536.

GIOVANELLI, J. G. R. et al. **Modelagem do nicho ecológico de *Phyllomedusa ayeaye* (Anura: Hylidae): previsão de novas áreas de ocorrência para uma espécie rara**. *Neotropical Biology and Conservation*, [s.l.], v. 3, n° 2, p. 59–65, 2008. ISSN: 1809-9939.

GLAW, M.; VENCES, F. **A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of Madagascar. Third Edition**. Köln, Vences & Glaw Verlag, 496 pp, [s.l.], 2007.

GOLLER, M.; GOLLER, F.; FRENCH, S. S. **A heterogeneous thermal environment enables remarkable behavioral thermoregulation in *Uta stansburiana***. *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 4, n° 17, p. 3319–3329, 2014. ISBN: 2045-7758, ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.1141.

GOLOBOFF, P. A.; FARRIS, J. S.; NIXON, K. C. **TNT, a free program for phylogenetic analysis**. *Cladistics*, [s.l.], v. 24, p. 774–789, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00217.x>.

GOZDIK, L.; CASTILLA, A. M. **A comparative study of preferred body temperatures and critical thermal tolerance limits among populations of *Zootoca vivipara* (Squamata: Lacertidae) along an altitudinal gradient**. *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 35, n° 3, p. 486–492, 2001.

GRAYSON, K. L. et al. **Sex ratio bias and extinction risk in an isolated population of *Tuatara* (*Sphenodon punctatus*)**. *PLoS One*, [s.l.], v. 9, n° 4, p. e94214, 2014. ISBN: 1932-6203 (Electronic)r1932-6203 (Linking), DOI: 10.1371/journal.pone.0094214.

GRIMM-SEYFARTH, A.; MIHOUB, J. B.; HENLE, K. **Too hot to die? The effects of vegetation shading on past, present, and future activity budgets of two diurnal skinks from arid Australia**. *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 17, p. 6803–6813, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.3238.

GUISAN, A. et al. **Predicting species distributions for conservation decisions**. *Ecology Letters*, [s.l.], v. 16, n° 12, p. 1424–1435, 2013. ISBN: 1461-023x, ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/ele.12189.

GUNDERSON, A. R.; LEAL, M. **Patterns of Thermal Constraint on Ectotherm Activity**. *The American Naturalist*, [s.l.], v. 185, n° 5, p. 653–664, 2015. ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/680849.

_____. **A conceptual framework for understanding thermal constraints on ectotherm activity with implications for predicting responses to global change**. *Ecology Letters*, [s.l.], v. 19, n° 2, p. 111–120, 2016. ISBN: 1461-0248, ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12552.

GUNDERSON, A. R.; STILLMAN, J. H. **Plasticity in thermal tolerance has limited potential to buffer ectotherms from global warming.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 282, n° 20150401, p. 1–8, 2015. ISBN: 0962-8452, ISSN: 0962-8452, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0401>.

GYNTHER, I.; WALLER, N.; LEUNG, L. K. **Confirmation of the extinction of the Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* on Bramble Cay , Torres Strait: results and conclusions from a comprehensive survey in August–September 2014.** *Unpublished report to the Department of Environment and Heritage Protection, Queensland Government, Brisbane*, [s.l.], n° September 2014, p. 59, 2016.

HANSEN, J. E.; SATO, M. **Paleoclimate Implications for Climate Sensitivity and Human-Made Climate Change.** [s.l.], v. 14, p. 11899, 2012. ISBN: 978-3-7091-0973-1, DOI: 10.1007/978-3-7091-0973-1.

HARE, K. M.; CREE, A. **Exploring the consequences of climate-induced changes in cloud cover on offspring of a cool-temperate viviparous lizard.** *Biological Journal of the Linnean Society*, [s.l.], v. 101, n° 4, p. 844–851, 2010. ISBN: 0024-4066, ISSN: 00244066, DOI: 10.1111/j.1095-8312.2010.01536.x.

HARTMANN, D. L. et al. **Observations: Atmosphere and surface.** *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], v. 9781107057, p. 159–254, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.008.

HEATWOLE, H.; TAYLOR, J. **Ecology of Reptiles.** [s.l.]: 2nd ed., Surrey Beatty & Sons, Chipping Norton, NSW, 1987. ISBN: 0949324140.

HEADS, M. **What is a node?** *Journal of Biogeography*, 31, 1883–1891, 2004.

HENDERSON, R. W. **A taxonomic review of the *Corallus hortulanus* complex of neotropical tree boas.** *Caribbean Journal of Science*, [s.l.], v. 33, n° 3–4, p. 198–221, 1997. ISBN: 0008-6452, ISSN: 00086452.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

HIGGINS, J. P. T., THOMPSON S. G. **Quantifying heterogeneity in a meta-analysis.** *Statistics in Medicine*, 21, 1539-1558, 2012.

HOFFMANN, A.; SGRÒ, C. M. **Climate change and evolutionary adaptation.** *Nature*, [s.l.], v. 470, n° 7335, p. 479–485, 2011. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature09670.

HOLT, B. G. et al. **An update of Wallace’s zoogeographic regions of the world.** *Science*, [s.l.], v. 339, n° 6115, p. 74–78, 2013. ISBN: 0036-8075, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1228282.

HOUNIET, D. T.; THUILLER, W.; TOLLEY, K. A. **Potential effects of predicted climate change on the endemic south african dwarf chameleons, bradypodion.** *African Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 58, n° 1, p. 28–35, 2009. ISBN: 198, ISSN: 21533660, DOI: 10.1080/21564574.2009.9635577.

HUANG, S. P. et al. **Forest cover reduces thermally suitable habitats and affects responses to a warmer climate predicted in a high-elevation lizard.** *Oecologia*, [s.l.], v. 175, n° 1, p. 25–35, 2014. ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-014-2882-1.

HUANG, W. S.; PIKE, D. A. **Climate change impacts on fitness depend on nesting habitat in lizards.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 25, n° 5, p. 1125–1136, 2011. ISBN: 1365-2435, ISSN: 02698463, DOI: 10.1111/j.1365-2435.2011.01855.x.

HUANG, Y. et al. **Global warming, body size and conservation in a Qinghai-Tibet Plateau lizard.** *Herpetological Journal*, [s.l.], v. 24, n° 3, p. 161–166, 2014. ISBN: 0268-0130, ISSN: 0268-0130.

HUEY, R. B. et al. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–48, 2009. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

_____. **Predicting organismal vulnerability to climate warming: roles of behaviour, physiology and adaptation.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 367, n° 1596, p. 1665–1679, 2012. ISBN: 0962-8436, ISSN: 0962-8436, DOI: 10.1098/rstb.2012.0005.

HUEY, R. B.; HERTZ, P. E.; SINERVO, B. **Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: a null model approach.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 161, n° 3, p. 357–366, 2003. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/346135.

HUEY, R. B.; PIANKA, E. R. **Seasonal variation in thermoregulatory behavior and body temperature of diurna.pdf.** *Ecology*, [s.l.], v. 58, p. 1066–1075, 1977.

HUEY, R. B.; STEVENSON, R. D. **Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches.** *Integrative and Comparative Biology*, [s.l.], v. 19, n° 1, p. 357–366, 1979. ISBN: 0003-1569, ISSN: 15407063, DOI: 10.1093/icb/19.1.357.

HUEY, R. B. **Temperature, physiology, and the ecology of reptiles.** *Biology of the Reptilia Vol. 12. Physiology C. Physiological Ecology*, [s.l.], v. 12, p. 25–91, 1982a. ISBN: 0122746120, ISSN: 09670637, DOI: 10.1016/j.dsr.2014.07.003.

HUEY, R. B. ; SLATKIN, M. **Cost and Benefits of Lizard Thermoregulation.** *The Quarterly Review of Biology*, [s.l.], v. 51, n° 3, p. 363–384, 1976.

HUEY, R. B. et al. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–1948, 2009. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

_____. **Predicting organismal vulnerability to climate warming: Roles of behaviour, physiology and adaptation.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 367, n° 1596, p. 1665–1679, 2012. ISBN: 0962-8436, ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rstb.2012.0005.

_____. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings.*

Biological sciences / The Royal Society, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–1948, 2009b. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

HUEY, R. B.; LOSOS, J. B.; MORITZ, C. **Are lizards toast?***Science (New York, N.Y.)*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 832–833, 2010. ISBN: 1095-9203 (Electronic)r0036-8075 (Linking), ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1190374.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C. Summary for Policymakers**. [s.l.], n° October 2018, 2018.

IRSCHICK et al. **Do Lizards Avoid Habitats in Which Performance Is Submaximal? The Relationship between Sprinting Capabilities and Structural Habitat Use in Caribbean Anoles.***The American naturalist*, [s.l.], v. 154, n° 3, p. 293–305, 1999. ISBN: 0003-0147, ISSN: 1537-5323, DOI: 10.1086/303239.

JANSSON, R. **Global patterns in endemism explained by past climatic change.***Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 270, n° 1515, p. 583–590, 2003. ISBN: 0962-8452 (Print), ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.2002.2283.

JARVIE, S. et al. **Assessing thermal suitability of translocation release sites for egg-laying reptiles with temperature-dependent sex determination: A case study with tuatara.***Animal Conservation*, [s.l.], v. 17, n° S1, p. 48–55, 2014. ISBN: 1469-1795, ISSN: 14691795, DOI: 10.1111/acv.12152.

JETZ, W.; FINE, P. V. A. **Global gradients in vertebrate diversity predicted by historical area-productivity dynamics and contemporary environment.***PLoS Biology*, [s.l.], v. 10, n° 3, 2012. ISBN: 1545-7885 (Electronic)n1544-9173 (Linking), ISSN: 15449173, DOI: 10.1371/journal.pbio.1001292.

JOHANNA, P. et al. **Vulnerability and climate risk analysis.***Amazon Vision, REDPARQUES, WWF, UICN, FAO, PNUMA. Cali, Colombia.*, [s.l.], 2016.

JONES, M. E. H. et al. **Integration of molecules and new fossils supports a Triassic origin for Lepidosauria (lizards, snakes, and tuatara).***BMC Evolutionary Biology*, [s.l.], v. 13, n°1, 2013. ISBN: 1471-2148, ISSN: 14712148, DOI: 10.1186/1471-2148-13-208.

KEARNEY, M.; SHINE, R.; PORTER, W. P. **The potential for behavioral thermoregulation to buffer “cold-blooded” animals against climate warming.***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s.l.], v. 106, n° 10, p. 3835–3840, 2009. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0808913106.

KEARNEY, R. M. **Activity restriction and the mechanistic basis for extinctions under climate warming.***Ecology Letters*, [s.l.], v. 16, n° 12, p. 1470–1479, 2013. ISBN: 1461-0248 (Electronic)r1461-023X (Linking), ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/ele.12192.

KIRCHHOF, S. et al. **Thermoregulatory behavior and high thermal preference buffer impact of climate change in a Namib Desert lizard.***Ecosphere*, [s.l.], v. 8, n° 12, 2017. ISSN: 21508925, DOI: 10.1002/ecs2.2033.

KOUMOUNDOUROS, T. et al. **Current genetic isolation and fragmentation contrasts**

with historical connectivity in an alpine lizard (*Cyclodomorphus praealtus*) threatened by climate change. *Biological Conservation*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 992–1002, 2009. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2008.12.026.

KUBISCH, E. et al. **Do Higher Temperatures Increase Growth in the Nocturnal Gecko *Homonota darwini* (Gekkota: Phyllodactylidae)? A Skeletochronological Assessment Analyzed at Temporal and Geographic Scales.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 46, n° 4, p. 587–595, 2012. ISBN: 0022-1511, ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/10-277.

KUBISCH, E. L.; FERNÁNDEZ, J. B.; IBARGÜENGOYTÍA, N. R. **Vulnerability to climate warming of *Liolaemus pictus* (Squamata, Liolaemidae), a lizard from the cold temperate climate in Patagonia, Argentina.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 186, n° 2, p. 243–253, 2016. ISBN: 1432-136X (Electronic)0174-1578 (Linking), ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-015-0952-2.

LANE, D. M. **Online Statistics Education: A Multimedia Course of Study.** *Rice University*, <http://onlinestatbook.com/>, accessed in June 25, 2018., [s.l.], 2018.

LAURANCE, W. F. et al. **Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 144, n° 1, p. 548–557, 2011. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2010.10.010.

LAWING, A. M.; POLLY, P. D. **Pleistocene climate, phylogeny, and climate envelope models: An integrative approach to better understand species' response to climate change.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 6, n° 12, 2011. ISBN: 1932-6203, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0028554.

LEAL, M.; GUNDERSON, A. R. **Rapid Change in the Thermal Tolerance of a Tropical Lizard.** *The American Naturalist*, [s.l.], v. 180, n° 6, p. 815–822, 2012. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/668077.

LELIÈVRE, H. et al. **Thermal strategies and energetics in two sympatric colubrid snakes with contrasted exposure.** *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*, [s.l.], v. 180, n° 3, p. 415–425, 2010. ISBN: 0174-1578, ISSN: 1432136X, DOI: 10.1007/s00360-009-0423-8.

_____. **The thermoregulatory strategy of two sympatric colubrid snakes affects their demography.** *Population Ecology*, [s.l.], v. 55, n° 4, p. 585–593, 2013. ISBN: 1438-3896r1438-390X, ISSN: 14383896, DOI: 10.1007/s10144-013-0388-z.

LEPETZ, V. et al. **Biodiversity monitoring: Some proposals to adequately study species' responses to climate change.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 18, n° 12, p. 3185–3203, 2009. ISBN: 0960-3115, ISSN: 09603115, DOI: 10.1007/s10531-009-9636-0.

LEVY, O. et al. **Resolving the life cycle alters expected impacts of climate change.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 282, n° 1813, 2015. ISBN: 1471-2954 (Electronic) 0962-8452 (Linking), ISSN: 14712954, DOI: 10.1098/rspb.2015.0837.

_____. **Ontogeny constrains phenology: Opportunities for activity and reproduction interact to dictate potential phenologies in a changing climate.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 19, n° 6, p. 620–628, 2016. ISBN: 1461-0248, ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12595.

_____. **Diminishing returns limit energetic costs of climate change.** *Ecology*, [s.l.], v. 98, n° 5, p. 1217–1228, 2017. ISSN: 00129658, DOI: 10.1002/ecy.1803.

LI, S. R. et al. **Thermal ecology of three coexistent desert lizards: Implications for habitat divergence and thermal vulnerability.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 187, n° 7, p. 1009–1018, 2017. ISBN: 0123456789, ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-017-1087-4.

LIMA, E. L. **Curso de análise.** 11 ed. ed. [s.l.]: Rio de Janeiro, IMPA, 2011. 1-148 p.

LINDNER, M. et al. **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems.** *Forest Ecology and Management*, [s.l.], v. 259, n° 4, p. 698–709, 2010. ISBN: 0378-1127, ISSN: 03781127, DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023.

LIPSEY, MARK W., D. B. W. **Practical meta-analysis.** *Sage Publications, Inc.*, [s.l.], 2001.
LJUNGSTRÖM, G.; WAPSTRA, E.; OLSSON, M. **Sand lizard (*Lacerta agilis*) phenology in a warming world.** *BMC Evolutionary Biology*, [s.l.], v. 15, n° 1, p. 1–9, 2015. ISSN: 14712148, DOI: 10.1186/s12862-015-0476-0.

LLEWELYN, J.; MACDONALD, S. L.; HATCHER, A.; MORITZ, C.; PHILLIPS, B. L. **Intraspecific variation in climate-relevant traits in a tropical rainforest lizard.** *Diversity and Distributions*, [s.l.], v. 22, n° 10, p. 1000–1012, 2016. ISSN: 14724642, DOI: 10.1111/ddi.12466.

LLEWELYN, J. et al. **Thermoregulatory behaviour explains countergradient variation in the upper thermal limit of a rainforest skink.** *Oikos*, [s.l.], v. 126, n° 5, p. 748–757, 2017. ISBN: 0030-1299, ISSN: 16000706, DOI: 10.1111/oik.03933.

LOGAN, M. L. et al. **The impact of climate change measured at relevant spatial scales: New hope for tropical lizards.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 19, n° 10, p. 3093–3102, 2013. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.12253.

_____. **Thermal physiology and thermoregulatory behaviour exhibit low heritability despite genetic divergence between lizard populations.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 285, n° 1878, 2018. ISBN: 0000000183, ISSN: 14712954, DOI: 10.1098/rspb.2018.0697.

LOGAN, M. L.; COX, R. M.; CALSBEEK, R. **Natural selection on thermal performance in a novel thermal environment.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s.l.], n° 19, p. 1–5, 2014. ISBN: 0027-8424, ISSN: 1091-6490, DOI: 10.1073/pnas.1404885111.

LOGAN, M. L.; FERNANDEZ, S. G.; CALSBEEK, R. **Abiotic constraints on the activity of tropical lizards.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 29, n° 5, p. 694–700, 2015. ISBN: 0269-8463, ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12379.

LÓPEZ-ALCAIDE, S. et al. **Would behavioral thermoregulation enable pregnant**

viviparous tropical lizards to cope with a warmer world? *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 12, n° 5, p. 379–395, 2017. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12253.

LOURDAIS, O. et al. **Climate affects embryonic development in a viviparous snake, *Vipera aspis*.** *Oikos*, [s.l.], v. 104, n° 3, p. 551–560, 2004. ISBN: 0030-1299, ISSN: 00301299, DOI: 10.1111/j.0030-1299.2004.12961.x.

LU, H. et al. **Experimental evaluation of reproductive response to climate warming in an oviparous skink.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 8, n° 2, p. 175–183, 2013. ISBN: 1749-4877 (Electronic)1749-4869 (Linking), ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12025.

MACE, G. M. et al. **Quantification of extinction risk: IUCN's system for classifying threatened species.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 22, n° 6, p. 1424–1442, 2008. ISBN: 1523-1739, ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.01044.x.

MADDISON, W. P.; MADDISON, D. R. **Mesquite: a modular system for evolutionary analysis.** <http://mesquiteproject.org>, [s.l.], v. Version 3., 2018.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. **Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 359, n° 1443, p. 311–329, 2004. ISBN: 0962-8436, ISSN: 09628436, DOI: 10.1098/rstb.2003.1433.

MARQUIS, O.; MASSOT, M.; LE GALLIARD, J. F. **Intergenerationnal effects of climate generate cohort variation in lizard reproductive performance.** *Ecology*, [s.l.], v. 89, n° 9, p. 2575–2583, 2008. ISBN: 0012-9658, ISSN: 0012-9658, DOI: 10.1890/07-1211.1.

MARTÍN, J.; LÓPEZ, P. **Effects of global warming on sensory ecology of rock lizards: Increased temperatures alter the efficacy of sexual chemical signals.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 27, n° 6, p. 1332–1340, 2013. ISBN: 0269-8463, ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12128.

MARTÍNEZ-FREIRÍA, F. et al. **Climate change is predicted to negatively influence Moroccan endemic reptile richness. Implications for conservation in protected areas.** *Naturwissenschaften*, [s.l.], v. 100, n° 9, p. 877–889, 2013. ISBN: 1432-1904 (Electronic)n0028-1042 (Linking), ISSN: 00281042, DOI: 10.1007/s00114-013-1088-4.

MASSOT, M. et al. **Climate warming: a loss of variation in populations can accompany reproductive shifts.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 20, n° 9, p. 1140–1147, 2017. ISBN: 1461-0248, ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12811.

MASSOT, M.; CLOBERT, J.; FERRIÈRE, R. **Climate warming, dispersal inhibition and extinction risk.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 14, n° 3, p. 461–469, 2008. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01514.x.

MCCARTY, J. **Ecological consequences of recent climate change.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 15, n° 2, p. 320–331, 2001. ISBN: 253, ISSN: 0888-8892, DOI: 10.1046/j.1523-1739.2001.015002320.x.

MEDINA, M. et al. **Vulnerability to climate change of *Anolis allisoni* in the mangrove habitats of Banco Chinchorro Islands, Mexico.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 58, n° March, p. 8–14, 2016. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2016.02.005.

MEIRI, S. et al. **Are lizards feeling the heat? A tale of ecology and evolution under two temperatures.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 834–845, 2013. ISBN: 1466-8238, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/geb.12053.

MEIS, L.; ARRUDA, A. P.; GUIMARÃES, J. **The impact of science in Brazil.** *Life*, [s.l.], v. 59, p. 227–234, 2007. ISSN: 15216551, DOI: 10.1080/15216540701258140.

MENON, S. et al. **Preliminary global assessment of terrestrial biodiversity consequences of sea-level rise mediated by climate change.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 19, n° 6, p. 1599–1609, 2010. ISBN: 1053101097904, ISSN: 09603115, DOI: 10.1007/s10531-010-9790-4.

MESQUITA, D. O. et al. **Juxtaposition and Disturbance: Disentangling the Determinants of Lizard Community Structure.** *Biotropica*, [s.l.], v. 47, n° 5, p. 595–605, 2015. ISSN: 17447429, DOI: 10.1111/btp.12236.

MEYLAN, S.; MILES, D. B.; CLOBERT, J. **Hormonally mediated maternal effects, individual strategy and global change.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 367, n° 1596, p. 1647–1664, 2012. ISBN: 1471-2970 (Electronic)r0962-8436 (Linking), ISSN: 0962-8436, DOI: 10.1098/rstb.2012.0020.

MILLER, K. A. et al. **Securing the Demographic and Genetic Future of Tuatara through Assisted Colonization.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 26, n° 5, p. 790–798, 2012. ISBN: 0888-8892, ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2012.01902.x.

MINOLI, I.; AVILA, L. J. **Conservation assessments in climate change scenarios: Spatial perspectives for present and future in two *Pristidactylus* (Squamata: Leiosauridae) lizards from Argentina.** *Zootaxa*, [s.l.], v. 4237, n° 1, p. 91–111, 2017. ISSN: 11755334, DOI: 10.11646/zootaxa.4237.1.5.

MIRANDA, J. P.; RICCI-LOBÃO, A.; ROCHA, C. F. D. **Influence of structural habitat use on the thermal ecology of *Gonatodes humeralis* (Squamata : Gekkonidae) from a transitional forest in Maranhão , Brazil.** [s.l.], v. 27, n° 1, p. 35–39, 2010.

MITCHELL, N. J. et al. **Predicting the fate of a living fossil: how will global warming affect sex determination and hatching phenology in tuatara?** *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, [s.l.], v. 275, n° 1648, p. 2185–2193, 2008. ISBN: 0962-8452 1471-2954, ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.0438.

MITCHELL, N. J. et al. **Demographic effects of temperature-dependent sex determination: Will tuatara survive global warming?** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 16, n° 1, p. 60–72, 2010. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01964.x.

MONASTERIO, C. et al. **High temperature constrains reproductive success in a temperate lizard: Implications for distribution range limits and the impacts of climate change.** *Journal of Zoology*, [s.l.], v. 291, n° 2, p. 136–145, 2013. ISBN: 0952-8369, ISSN: 09528369, DOI: 10.1111/jzo.12057.

MORENO-RUEDA, G.; PLEGUEZUELOS, J. M.; ALAMINOS, E. **Climate warming and activity period extension in the Mediterranean snake *Malpolon monspessulanus*.**

Climatic Change, [s.l.], v. 92, n° 1–2, p. 235–242, 2009. ISBN: 1058400894, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-008-9469-y.

MORITZ, C. et al. **Integrating phylogeography and physiology reveals divergence of thermal traits between central and peripheral lineages of tropical rainforest lizards.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, [s.l.], v. 367, n° 1596, p. 1680–1687, 2012. ISBN: 0962-8436, ISSN: 0962-8436, DOI: DOI 10.1098/rstb.2012.0018.

MORRONE, J. J. **Homología Biogeográfica: Las Coordinadas Espaciales de la Vida.** *Cuadernos del Instituto de Biología. Mexico: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Mexico.*, [s.l.], v. 37, 2004.

MUNGUÍA-VEGA, A. et al. **Localized extinction of an arboreal desert lizard caused by habitat fragmentation.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 157, p. 11–20, 2013. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2012.06.026.

MUÑOZ-MENDOZA, C. et al. **Geography and past climate changes have shaped the evolution of a widespread lizard from the Chilean hotspot.** *Molecular Phylogenetics and Evolution*, [s.l.], v. 116, n° October, p. 157–171, 2017. ISSN: 10959513, DOI: 10.1016/j.ympev.2017.08.016.

MUNOZ, M. M. et al. **Basking behavior predicts the evolution of heat tolerance in Australian rainforest lizards.** *Evolution*, [s.l.], v. 70, n° 11, p. 2537–2549, 2016. ISBN: 9788578110796, ISSN: 15585646, DOI: 10.1111/evo.13064.

NASRABADI, R. et al. **The effects of climate change on the distribution of European glass lizard *Pseudopus apodus* (PALLAS, 1775) in Eurasia.** *Ecological Research*, [s.l.], v. 33, n° 1, p. 199–204, 2018. ISSN: 14401703, DOI: 10.1007/s11284-017-1530-8.

NAYA, D. E. et al. **Physiological flexibility and climate change: The case of digestive function regulation in lizards.** *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, [s.l.], v. 159, n° 1, p. 100–104, 2011. ISBN: 1095-6433, ISSN: 10956433, DOI: 10.1016/j.cbpa.2011.02.005.

NELSON, N. J. et al. **Male-biased sex ratio in a small tuatara population.** *Journal of Biogeography*, [s.l.], v. 29, n° 5–6, p. 633–640, 2002. ISBN: 0305-0270, ISSN: 03050270, DOI: 10.1046/j.1365-2699.2002.00712.x.

_____. **Do TSD, sex ratios, and nest characteristics influence the vulnerability of tuatara to global warming?** *International Congress Series*, [s.l.], v. 1275, p. 250–257, 2004. ISBN: 0531-5131, ISSN: 05315131, DOI: 10.1016/j.ics.2004.08.093.

NOBLE, D. W. A.; STENHOUSE, V.; SCHWANZ, L. E. **Developmental temperatures and phenotypic plasticity in reptiles: a systematic review and meta-analysis.** *Biological Reviews*, [s.l.], v. 93, n° 1, p. 72–97, 2018. ISBN: 1469-185X, ISSN: 1469185X, DOI: 10.1111/brv.12333.

NORI, J. et al. **Reptile species persistence under climate change and direct human threats in north-western Argentina.** *Environmental Conservation*, [s.l.], v. 45, n° 1, p. 83–89, 2018. ISBN: 0376892917000, ISSN: 14694387, DOI: 10.1017/S0376892917000285.

NORI, J.; CARRASCO, P. A.; LEYNAUD, G. C. **Venomous snakes and climate change : ophidism as a dynamic problem.** [s.l.], p. 67–80, 2014. DOI: 10.1007/s10584-013-1019-6.

OFORI, B. Y. et al. **Combining dispersal, landscape connectivity and habitat suitability to assess climate-induced changes in the distribution of Cunningham’s skink, *Egernia cunninghami*.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 12, n° 9, p. 1–17, 2017a. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0184193.

_____. **Influence of adaptive capacity on the outcome of climate change vulnerability assessment.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n° 1, 2017b. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-017-13245-y.

OLSSON, M. et al. **Climate change, multiple paternity and offspring survival in lizards.** *Evolution*, [s.l.], v. 65, n° 11, p. 3323–3326, 2011. ISBN: 1558-5646, ISSN: 00143820, DOI: 10.1111/j.1558-5646.2011.01387.x.

ORTEGA, Z.; MENCÍA, A.; PÉREZ-MELLADO, V. **Are mountain habitats becoming more suitable for generalist than cold-adapted lizards thermoregulation?** *PeerJ*, [s.l.], v. 4, n° 1, p. e2085, 2016a. ISSN: 2167-8359, DOI: 10.7717/peerj.2085.

_____. **The peak of thermoregulation effectiveness: Thermal biology of the Pyrenean rock lizard, *Iberolacerta bonnali* (Squamata, Lacertidae).** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 56, p. 77–83, 2016b. ISBN: 0306-4565, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2016.01.005.

_____. **Aspects of the thermal ecology of the lizard *Iberolacerta monticola* of Serra da Estrela (Portugal).** *Herpetological Journal*, [s.l.], v. 27, n° 3, p. 239–244, 2017a. ISSN: 02680130.

_____. **Wind constraints on the thermoregulation of high mountain lizards.** *International Journal of Biometeorology*, [s.l.], v. 61, n° 3, p. 565–573, 2017b. ISSN: 00207128, DOI: 10.1007/s00484-016-1233-9.

OVASKAINEN, O. et al. **Community-level phenological response to climate change.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 3, n° 1, p. 33–41, 2013. ISBN: 0800-0395, ISSN: 13541013, DOI:10.1073/pnas.1305533110/-/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1305533110.

PARANJPE, D. A. et al. **Evidence of maternal effects on temperature preference in side-blotched lizards: Implications for evolutionary response to climate change.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 3, n° 7, p. 1977–1991, 2013. ISBN: 2045-7758, ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.614.

PARK, J. et al. **Northward dispersal of sea kraits (*Laticauda semifasciata*) beyond their typical range.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 12, n° 6, p. 1–9, 2017. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0179871.

PARMESAN, C. **Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 13, n° (9), p. 1860–1872, 2007.

- PARMESAN, C. **Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, [s.l.], v. 37, n° 1, p. 637–669, 2006. ISBN: 1543-592X, ISSN: 1543-592X, DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.
- PEÑUELAS, J. et al. **Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 8, n° 2303–2338, 2013.
- PEREIRA, A. G.; SCHRAGO, C. G. **Arrival and diversification of mabuyine skinks (Squamata: Scincidae) in the Neotropics based on a fossil-calibrated timetree.** *PeerJ*, [s.l.], v. 5, p. e3194, 2017. ISSN: 2167-8359, DOI: 10.7717/peerj.3194.
- PHILLIPS, B. L. et al. **Heat hardening in a tropical lizard: geographic variation explained by the predictability and variance in environmental temperatures.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 30, n° 7, p. 1161–1168, 2016. ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12609.
- PIANKA, E. R.; PARKER, W. S. **Ecology of Horned Lizards: A Review with Special Reference to *Phrynosoma Platyrhinos*.** *Copeia*, [s.l.], v. 1, n° 1, p. 141–162, 1975.
- PIANTONI, C.; NAVAS, C. A.; IBARGUENGOYTÍA, N. R. **Vulnerability to climate warming of four genera of New World iguanians based on their thermal ecology.** *Animal Conservation*, [s.l.], v. 19, n° 4, p. 391–400, 2016. ISBN: 1111111111, ISSN: 14691795, DOI: 10.1111/acv.12255.
- PINCHEIRA-DONOSO, D. et al. **The evolution of viviparity opens opportunities for lizard radiation but drives it into a climatic cul-de-sac.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 857–867, 2013. ISBN: 1466822X, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/geb.12052.
- PINTOR, A. F. V.; SCHWARZKOPF, L.; KROCKENBERGER, A. K. **Hydroregulation in a tropical dry-skinned ectotherm.** *Oecologia*, [s.l.], v. 182, n° 4, p. 925–931, 2016. ISBN: 1432-1939, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-016-3687-1.
- POMARA, L. Y. et al. **Demographic consequences of climate change and land cover help explain a history of extirpations and range contraction in a declining snake species.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 20, n° 7, p. 2087–2099, 2014. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.12510.
- PONTES-DA-SILVA, E. et al. **Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, 2018a. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.013.
- POPESCU, V. D. et al. **Moving into protected areas? Setting conservation priorities for Romanian reptiles and amphibians at risk from climate change.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 8, n° 11, 2013. ISBN: 1932-6203, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0079330.
- PORTER, W. P.; TRACY, C. R. **Biophysical analyses of energetics, time-space utilization and distributional limits.** In: HUEY, R. B.; PIANKA, E. R.; SCHOENER, T. W. (Orgs.). *Lizard ecology: studies of a model organism*. [s.l.]: Harvard Univ Press, Cambridge, MA., 1983. p. 55–83.

POUNDS, J. A., CRUMP, M. L. **Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 8, p. 72–85, 1994.
 POUNDS, J.; FOGDEN, M.; CAMPBELL, J. **Biological response to climate change on a tropical mountain.** *Nature*, [s.l.], v. 398, n° 6728, p. 611–615, 1999. ISBN: 0028-0836, ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/19297.

PRATES, I. et al. **Inferring responses to climate dynamics from historical demography in neotropical forest lizards.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 113, n° 29, p. 7978–7985, 2016. ISBN: 1601063113, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1601063113.

PRODON, R. et al. **A reversal of the shift towards earlier spring phenology in several Mediterranean reptiles and amphibians during the 1998–2013 warming slowdown.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 23, n° 12, p. 5481–5491, 2017. ISBN: 4955139574, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13812.

PUTMAN, B. J.; CLARK, R. W. **Behavioral thermal tolerances of free-ranging rattlesnakes (*Crotalus oreganus*) during the summer foraging season.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 65, n° October 2016, p. 8–15, 2017. ISBN: 0306-4565, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.01.012.

PYRON, R. A.; BURBRINK, F. T.; WIENS, J. J. **A phylogeny and revised classification of Squamata, including 4161 species of lizards and snakes.** *BMC evolutionary biology*, [s.l.], v. 13, n° 1, p. 93, 2013. ISBN: 1471-2148 (Electronic)r1471-2148 (Linking), ISSN: 1471-2148, DOI: 10.1186/1471-2148-13-93.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° [https://www.R-project.org/.](https://www.R-project.org/), 2018.

RABOSKY, A. R. D. et al. **Direct fitness correlates and thermal consequences of facultative aggregation in a Desert Lizard.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 7, n° 7, 2012. ISBN: 1932-6203, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0040866.

RAXWORTHY, C. J. et al. **Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar.** *Nature*, [s.l.], v. 426, n° 6968, p. 837–841, 2003. ISBN: 0028-0836, ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/nature02205.

READING, C. J. et al. **Are snake populations in widespread decline?** *Biology Letters*, [s.l.], v. 6, n° 6, p. 777–780, 2010. ISBN: 1744-9561, ISSN: 1744957X, DOI: 10.1098/rsbl.2010.0373.

RODDA, G. H.; JARNEVICH, C. S.; REED, R. N. **What parts of the US mainland are climatically suitable for invasive alien pythons spreading from Everglades National Park?** *Biological Invasions*, [s.l.], v. 11, n° 2, p. 241–252, 2009. ISBN: 1387-3547, ISSN: 13873547, DOI: 10.1007/s10530-008-9228-z.

RÖDDER, D.; SCHULTE, U. **Potential loss of genetic variability despite well established network of reserves: The case of the Iberian endemic lizard *Lacerta schreiberi*.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 19, n° 9, p. 2651–2666, 2010. ISBN: 0960-3115, ISSN: 09603115, DOI: 10.1007/s10531-010-9865-2.

RODRÍGUEZ, A. et al. **Genomic and phenotypic signatures of climate adaptation in an *Anolis* lizard.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 16, p. 6390–6403, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.2985.

ROMERO-DIAZ, C.; BREEDVELD, M. C.; FITZE, P. S. **Climate Effects on Growth, Body Condition, and Survival Depend on the Genetic Characteristics of the Population.** *The American Naturalist*, [s.l.], v. 190, n° 5, p. 000–000, 2017. ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/693780.

ROUT, T. M. et al. **How to Decide Whether to Move Species Threatened by Climate Change.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 8, n° 10, 2013. ISBN: 1932-6203 (Electronic)r1932-6203 (Linking), ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0075814.

RUGIERO, L. et al. **Long term variations in small mammal composition of a snake diet do not mirror climate change trends.** *Acta Oecologica*, [s.l.], v. 43, n° July 2012, p. 158–164, 2012. ISSN: 1146609X, DOI: 10.1016/j.actao.2012.07.002.

_____. **Climate-change-related shifts in annual phenology of a temperate snake during the last 20 years.** *Acta Oecologica*, [s.l.], v. 51, n° August, p. 42–48, 2013. ISSN: 1146609X, DOI: 10.1016/j.actao.2013.05.005.

SALGADO, J. F. **Transforming the area under the normal curve (AUC) into cohen's d, pearson's rpb, odds-ratio, and natural log odds-ratio: Two conversion tables.** *European Journal of Psychology Applied to Legal Context*, [s.l.], v. 10, n° 1, p. 35–47, 2018. ISBN: 1889-1861, ISSN: 19894007, DOI: 10.5093/ejpalc2018a5.

SANDEL, B. et al. **The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism.** *Science*, [s.l.], v. 334, n° 6056, p. 660–664, 2011. ISBN: 0036807510959203, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1210173.

SCHEFFERS, B. R. et al. **Microhabitats in the tropics buffer temperature in a globally coherent manner.** *Biology Letters*, [s.l.], v. 10, n° 12, p. 20140819–20140819, 2014. ISBN: 1744-9561, ISSN: 1744-9561, DOI: 10.1098/rsbl.2014.0819.

SEARS, M. W. et al. **Configuration of the thermal landscape determines thermoregulatory performance of ectotherms.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 113, n° 38, p. 10595–10600, 2016. ISBN: 1091-6490 (Electronic)r0027-8424 (Linking), ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1604824113.

SEDDON, A. W. et al. **Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability.** *Nature*, [s.l.], v. 531, n° 7593, p. 229–232, 2016. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature16986.

SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. **Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: A review.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 175, n° 8, p. 533–541, 2005. ISBN: 0174-1578, ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-005-0007-1.

SEGALL, M. et al. **Impact of temperature on performance in two species of South African dwarf chameleon, *Bradypodion pumilum* and *B. occidentale*.** *Journal of*

Experimental Biology, [s.l.], v. 216, n° 20, p. 3828–3836, 2013. ISSN: 0022-0949, DOI: 10.1242/jeb.092353.

SHINE, R. **Relative Clutch Mass and Body Shape in Lizards and Snakes: Is Reproductive Investment Constrained or Optimized?** *Evolution*, [s.l.], v. 46, n° 3, p. 828, 1992. ISBN: 0014-3820, ISSN: 00143820, DOI: 10.2307/2409650.

SILVA, N. J.; SITES, J. W. **Patterns of Diversity of Neotropical Squamate Reptile Species with Emphasis on the Brazilian Amazon and the Conservation Potential of Indigenous Reserves.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 9, n° 4, p. 873–901, 1995.

SIMONIELLO, P. et al. **Alterations in brain morphology and HSP70 expression in lizard embryos exposed to thermal stress.** *Comptes Rendus - Biologies*, [s.l.], v. 339, n° 9–10, p. 380–390, 2016. ISSN: 17683238, DOI: 10.1016/j.crvi.2016.07.002.

SINCLAIR, B. J. et al. **Can we predict ectotherm responses to climate change using thermal performance curves and body temperatures?** *Ecology Letters*, [s.l.], p. 1372–1385, 2016a. ISBN: 1461-0248, ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/ele.12686.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

_____. **Response to Comment on “Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches”.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6029, p. 537–537, 2011. ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1195348.

_____. **Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai—Tibetan Plateau.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 13, n° 4, p. 450–470, 2018. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12315.

SINERVO, B.; ADOLPH, S. C. **Thermal sensitivity of growth rate in hatchling *Sceloporus* lizards: environmental, behavioral and genetic aspects.** *Oecologia*, [s.l.], v. 78, n° 3, p. 411–419, 1989. ISBN: 0029-8549, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/BF00379118.

SRINIVASULU, A.; SRINIVASLU, C. **All that glitters is not gold: a projected distribution of the endemic indian golden gecko *Calodactyloides aureus* (Reptilia: Squamata: Gekkonidae) indicates a major range shrinkage due to the future climate change.** *Journal of Threatened Taxa*, [s.l.], v. 8, n° 6, p. 8883–8892, 2016.

STAHLSCHMIDT, Z. R. et al. **A Simulated Heat Wave Has Diverse Effects on Immune Function and Oxidative Physiology in the Corn Snake (*Pantherophis guttatus*).** *Physiological and Biochemical Zoology*, [s.l.], v. 90, n° 4, p. 434–444, 2017. ISSN: 1522-2152, DOI: 10.1086/691315.

TELEMECO, R. S.; ELPHICK, M. J.; SHINE, R. **Nesting lizards (*Bassiana duperreji*) compensate partly, but not completely, for climate change.** *Ecology*, [s.l.], v. 90, n° 1, p. 17–22, 2009. ISBN: 0012-9658, ISSN: 00129658, DOI: 10.1890/08-1452.1.

TEWKSbury, J. J.; HUEY, R. B.; DEUTSCH, C. A. **Ecology. Putting the heat on tropical**

animals.*Science (New York, N.Y.)*, [s.l.], v. 320, n° 5881, p. 1296–1297, 2008. ISBN: 0036-8075, ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1159328.

THEISINGER, O.; BERG, W.; DAUSMANN, K. H. **Compensation of thermal constraints along a natural environmental gradient in a Malagasy iguanid lizard (*Oplurus quadrimaculatus*).** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 68, p. 21–26, 2017. ISBN: 0306-4565, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.01.005.

THORPE, R. S. et al. **Widespread parallel population adaptation to climate variation across a radiation: Implications for adaptation to climate change.** *Molecular Ecology*, [s.l.], v. 24, n° 5, p. 1019–1030, 2015. ISBN: 1365-294X (Electronic)r0962-1083 (Linking), ISSN: 1365294X, DOI: 10.1111/mec.13093.

TOLLEY, K. A. et al. **The potential for predicted climate shifts to impact genetic landscapes of lizards in the South African Cape Floristic Region.** *Molecular Phylogenetics and Evolution*, [s.l.], v. 51, n° 1, p. 120–130, 2009. ISBN: 1055-7903, ISSN: 10557903, DOI: 10.1016/j.ympev.2008.11.017.

UETZ, P. et al. **The Reptile Database.** [s.l.], 2018.

UJVARI, B.; SHINE, R.; MADSEN, T. **How well do predators adjust to climate-mediated shifts in prey distribution? A study on Australian water pythons.** *Ecology*, [s.l.], v. 92, n° 3, p. 777–783, 2011. ISBN: 0012-9658, ISSN: 00129658, DOI: 10.1890/10-1471.1.

URBAN, M.C., TEWKSBURY, J. J. AND SHELDON, K. S. **On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change.***Proceedings of the Royal Society B*, [s.l.], v. 279, n° (1735), p. 2072–2080, 2012.

VALENZUELA-CEBALLOS, S. et al. **Variation in the thermal ecology of an endemic iguana from Mexico reduces its vulnerability to global warming.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 48, n° January, p. 56–64, 2015. ISBN: 0306-4565, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2014.12.011.

VIECHTBAUER, W. **Conducting Meta-Analyses in R with the metafor Package.** *Journal of Statistical Software*, [s.l.], v. 36, n° 3, p. 1–48, 2010. ISBN: 1548-7660, ISSN: 19390068, DOI: 10.1103/PhysRevB.91.121108.

WAKE, D. B.; VREDENBURG, V. T. **Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 105, n° Supplement 1, p. 11466–11473, 2008. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0801921105.

WANG, Y. et al. **Low precipitation aggravates the impact of extreme high temperatures on lizard reproduction.** *Oecologia*, [s.l.], v. 182, n° 4, p. 961–971, 2016. ISBN: 0029-8549, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-016-3727-x.

WANG, Z. et al. **Are viviparous lizards more vulnerable to climate warming because they have evolved reduced body temperature and heat tolerance?***Oecologia*, [s.l.], v. 185, n° 4, p. 573–582, 2017. ISBN: 0123456789, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-017-

3979-0.

WAPSTRA, E. et al. **Assessing the accuracy of species distribution models to predict amphibian species richness patterns.** *Journal of Animal Ecology*, [s.l.], v. 78, n° i, p. 182–190, 2009. ISBN: 0021-8790, ISSN: 0021-8790, DOI: 10.1111/j.1365-2656.2007.0.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WEATHERHEAD, P. J. et al. **Latitudinal variation in thermal ecology of North American ratsnakes and its implications for the effect of climate warming on snakes.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 37, n° 4, p. 273–281, 2012. ISBN: 2172650056, ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2011.03.008.

WEI, T.; SIMKO, V. **R package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84).** Available from <https://github.com/taiyun/corrplot>, [s.l.], 2017.

WESTPHAL, M. F. et al. **Contemporary drought and future effects of climate change on the endangered blunt-nosed leopard lizard, *Gambelia sila*.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 11, n° 5, p. 4–5, 2016. ISBN: 1932-6203, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0154838.

WILLIAMS, J. B. et al. **Climate change and animals in Saudi Arabia.** *Saudi Journal of Biological Sciences*, [s.l.], v. 19, n° 2, p. 121–130, 2012. ISBN: 1319-562X (Print)n1319-562X (Linking), ISSN: 1319562X, DOI: 10.1016/j.sjbs.2011.12.004.

YOUSEFKHANI, H. S. S. et al. **Predicting the impact of climate change on the distribution pattern of *Agamura persica* (Dumeril, 1856) (Squamata: Gekkonidae) in Iran.** *Belgian Journal of Zoology*, [s.l.], v. 147, n° 2, p. 137–142, 2017. ISSN: 07776276, DOI: 10.26496/bjz.2017.11.

YUAN, F. L. et al. **Ecophysiological variation across a forest-ecotone gradient produces divergent climate change vulnerability within species.** *Ecography*, [s.l.], n° February 2018, 2018a. ISSN: 16000587, DOI: 10.1111/ecog.03427.

ZANI, P. A. **Climate Change Trade-Offs in the Side-Blotched Lizard (*Uta stansburiana*): Effects of Growing-Season Length and Mild Temperatures on Winter Survival.** *Physiological and Biochemical Zoology*, [s.l.], v. 81, n° 6, p. 797–809, 2008. ISBN: 1522-2152, ISSN: 1522-2152, DOI: 10.1086/588305.

ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA

CONTEXTUALIZAÇÃO

O arquipélago de Fernando de Noronha localiza-se a cerca de 350 km da costa brasileira, e consiste em uma ilha principal de aproximadamente 17 km², cercada por diversas ilhotas e ilhas menores de origem vulcânica (ROCHA et al., 2009). Apresenta toda a sua extensão protegida por duas unidades de conservação, uma categorizada como de proteção integral, o que significa que somente é permitido o uso indireto de recursos naturais, e outra de uso sustentável, onde o uso direto dos recursos é permitido, mas com restrições, e consiste no pedaço mais oriental do território brasileiro contendo espécies nativas, como o lagarto endêmico *Trachylepis atlantica* (ROCHA et al., 2009).

O arquipélago apresenta clima tropical oceânico e duas estações do ano bem delimitadas, sendo o período úmido de Março a Julho e o período seco de Agosto a Fevereiro (BARCELLOS et al., 2011). O clima é padronizado ao longo de toda a sua extensão em área, mas possui grande variabilidade interanual (BARCELLOS et al., 2011). A média de temperatura é de aproximadamente 25°C, e a precipitação total anual é de 1400 mm (BARCELLOS et al., 2011).

Não existem estudos acerca do impacto das mudanças climáticas neste sistema ou em sua biodiversidade. Apesar disso, é sabido que ambientes costeiros e ilhas oceânicas são altamente vulneráveis às mudanças climáticas, que podem ocasionar o aumento do nível de erosão da costa, redução da resiliência de ambientes costeiros e perda de terra devido ao aumento do nível do mar (NURSE et al., 2001). Ilhas com suprimentos limitados de água doce, como no caso de Fernando de Noronha, tendem ainda a ser altamente vulneráveis aos impactos causados no balanço hídrico e salinização do solo (TOMPKINS, 2005). Como consequência, a biodiversidade destes ambientes também costuma ser bastante sensível, e espécies endêmicas costumam apresentar alto grau de vulnerabilidade, considerando que alterações regionais ou locais podem impactar toda a sua distribuição (e.g., BONINO et al., 2015; DAVIS et al., 2015; PARMESAN, 2006). Desta forma, nas próximas seções buscou-se compreender os efeitos das mudanças climáticas no arquipélago de Fernando de Noronha, considerando sua exposição às alterações do clima e o aumento do nível do mar, e na espécie endêmica de lagarto, *Trachylepis atlantica*, considerando sua habilidade de rastrear e lidar

com as mudanças no clima e avaliando o seu potencial risco de extinção em decorrência do aquecimento global.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, R. L. et al. **Island beaches morphological and sedimentary short term variations – the case of SE Fernando de Noronha Island, South Atlantic, Brazil.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, [s.l.], v. 11, n° 4, p. 471–478, 2011. ISSN: 16468872, DOI: 10.5894/rgci283.

BONINO, M. F. et al. **Climate change and lizards: changing species' geographic ranges in Patagonia.** *Regional Environmental Change*, [s.l.], v. 15, n° 6, p. 1121–1132, 2015. ISSN: 1436378X, DOI: 10.1007/s10113-014-0693-x.

DAVIS, M. A. et al. **Nowhere to go but up: Impacts of climate change on demographics of a short-range endemic (*Crotalus willardi obscurus*) in the sky-islands of southwestern North America.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 10, n° 6, 2015. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0131067.

NURSE, L.A., G. SEM, J.E. HAY, A.G. SUAREZ, P.P. WONG, S. B.; RAGOONADEN, S. **17. Small Island States.** *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, [s.l.], p. 843–912, 2001. ISBN: 0-7844-0792-4, DOI: 10.1061/40792(173)507.

PARMESAN, C. **Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, [s.l.], v. 37, n° 1, p. 637–669, 2006. ISBN: 1543-592X, ISSN: 1543-592X, DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.

ROCHA, C. F. D. et al. **Ecology and Natural History of the Easternmost Native Lizard Species in South America, *Trachylepis atlantica* (Scincidae), from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 43, n° 3, p. 450–459, 2009. ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/07-267R2.1.

TOMPKINS, E. L. **Planning for climate change in small islands: Insights from national hurricane preparedness in the Cayman Islands.** *Global Environmental Change*, [s.l.], v. 15, n° 2, p. 139–149, 2005. ISBN: 0959-3780, ISSN: 09593780, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.11.002.

2 O DESTINO DA ILHA: O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA

Manuscrito em revisão:

Diele-Viegas, L. M. and Rocha, C. F. D. The fate of the island: Will global warming make an important Brazilian archipelago disappear?*Em revisão (Climate Dynamics)*

RESUMO

O grau em que o arquipélago de Fernando de Noronha pode ser susceptível aos efeitos adversos das mudanças climáticas foi estimado considerando sua exposição ao aumento da temperatura e do nível do mar. Noronha é um local chave para a conservação da biodiversidade, sendo um repositório para a manutenção da biodiversidade marinha e um centro global de endemismo de aves. O arquipélago suporta muitas espécies endêmicas e possui o único remanescente de Floresta Atlântica Insular e de Mangue Oceânico na região sul do oceano atlântico. O modelo utilizado prevê uma perda de 8,8 km² devido às inundações causadas pelo aumento do nível do mar, o que representa 35,2% do total da área terrestre do arquipélago. Também é esperado um aumento na erosão da costa com o aumento do nível do mar, aumentando a perda de terra seca. A perda de área prevista representa um risco potencial para o turismo local, o que pode ser catastrófico para a subsistência da população humana local. Além disso, espécies locais, tais quais o lagarto endêmico *Trachylepis atlantica*, podem perder ambientes térmicos ideais para o mar. O aumento de temperatura já representa uma ameaça à esta espécie, e a perda de refúgios térmicos pode elevar seu risco de extinção. Os resultados também indicam uma inversão nos padrões climáticos do arquipélago, com o período mais secos se tornando mais úmido e o mais úmido se tornando mais seco. Uma potencial estratégia de mitigação pode ser o reflorestamento da ilha para reduzir as temperaturas da superfície e diminuir os efeitos locais das mudanças climáticas. No entanto, esta estratégia não ajuda a evitar a perda de área devido ao aumento do nível do mar, uma vez que este é um efeito global das mudanças climáticas. Desta forma, a conservação do arquipélago depende não apenas de estratégias locais de mitigação, mas também de um comprometimento global em diminuir as emissões de gases do efeito estufa para desacelerar as mudanças climáticas. A preservação do arquipélago é essencial não só para evitar uma crise econômica, mas também a extinção de muitas espécies e ambientes que são encontrados exclusivamente ou majoritariamente nestas ilhas.

Palavras-Chave: Arquipélago. Mudanças Climáticas. Aumento do Nível do Mar. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

The degree to which the Fernando de Noronha Archipelago may be susceptible to adverse effects of climate change was estimated considering its exposure to increased temperatures and rising sea levels. Noronha is a key site for biodiversity conservation, being a repository for the maintenance of marine biodiversity and a Global Centre of Bird Endemism. The archipelago supports several endemic species and has the only remaining sample of Insular Atlantic Forest and Oceanic Mangrove in South Atlantic region. The model used predicts a loss of 8.8 km² due to inundation, which represents 35.2% of the total land area of the archipelago. Coastal erosion is also expected to increase with the predicted rise in sea level further exacerbating the loss of dry-land. The loss of area represents a potential risk for local tourism, which may be catastrophic for the subsistence of local human population. In addition, local species, such as the endemic lizard *T. atlantica*, may lose ideal thermal habitats to the sea. Rising temperatures already present a threat to this species and loss of thermal refugia may elevate its risk of extinction. The results also indicate an inversion of climatic patterns with the driest period becoming wetter and the wettest period becoming drier. A potential mitigation strategy might be island reforestation for reducing land surface temperatures and decrease the local effects of climate changes. However, this strategy will not help to avoid the loss of area due to rising sea levels, since this is a global effect of climate changes. Thus, the conservation of the archipelago depends not only on local mitigation strategies, but also on the global commitment to decrease the greenhouse gases emissions to slow the climate changes. Preservation of the archipelago is paramount to avoid not only an economic crisis, but also the extinction of many species and environments that are only – or mainly - found in these islands.

Keywords: Archipelago. Climate Change. Sea Level Rise. Vulnerability.

2.1 Introdução

Para o final do século XXI, prevê-se um aumento de até 4,8°C na temperatura média da Terra devido às mudanças climáticas, considerando um cenário “*business-as-usual*” de emissão de gases do efeito estufa que assume a ausência de reduções nas emissões atuais (VUUREN et al., 2011, 2014). Além disso, mudanças nos padrões de precipitação, ciclo hídrico, extensão das secas e aumento do nível do mar também são esperados (STOCKER et al., 2013). Para este último, prevê-se um aumento variando de 0,52 m a 0,98 m até 2100 em um cenário “*business-as-usual*” (CHURCH et al., 2013). Na América do Sul, a frequência e intensidade dos eventos extremos é passível de aumentar, enquanto prevê-se uma redução da confiabilidade de estruturas costeiras, principalmente na costa nordeste e sudeste do Brasil (MAGRIN et al., 2014). Isso pode levar à inundação de 46% das restingas no sudeste brasileiro, e uma associada extinção de até 7% das espécies endêmicas (MENON et al., 2010).

A resposta de um sistema às mudanças climáticas pode ser avaliada pela sua capacidade de adaptar-se a essas alterações (LINDNER et al., 2010). Ilhas tropicais pequenas, como no caso do arquipélago de Fernando de Noronha, são passíveis de serem diretamente impactadas pelo aumento do nível do mar e extremos associados, branqueamento de corais, acidificação dos oceanos e variação na temperatura e precipitação (WONG et al., 2014). Enquanto muitos estudos investigaram o impacto potencial das mudanças climáticas em espécies ou grupo de espécies, pouca atenção tem sido dada aos impactos em ambientes sensíveis, como as ilhas oceânicas.

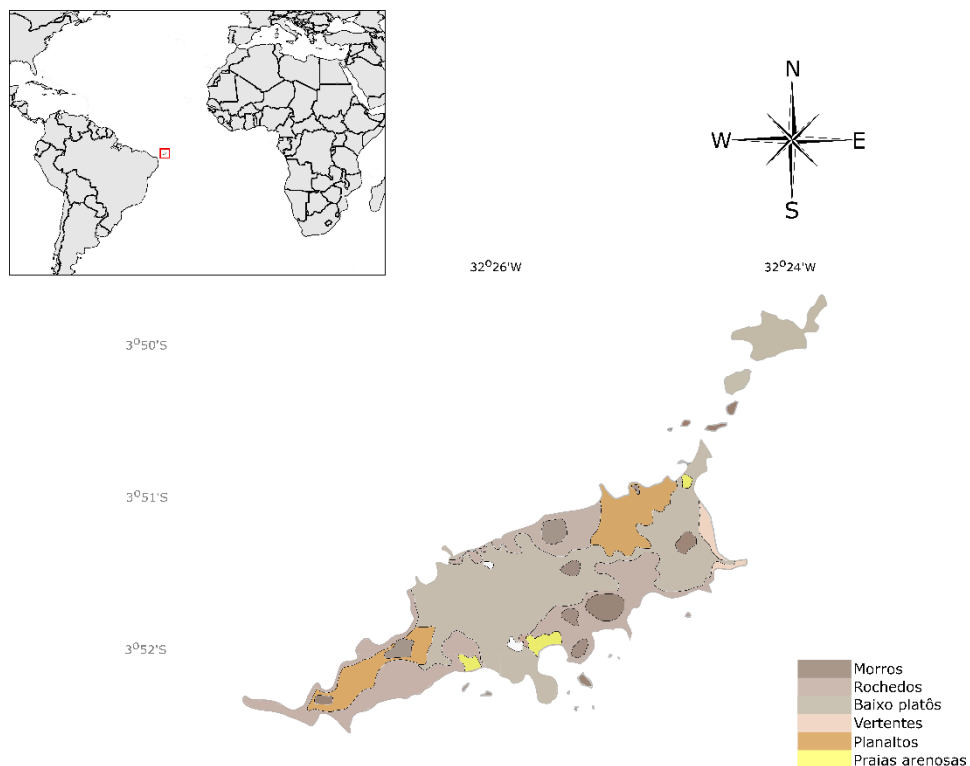
O arquipélago de Fernando de Noronha é um local chave para a conservação da biodiversidade, sendo um repositório de manutenção da biodiversidade marinha e um centro global de endemismo, abrigando diversas espécies endêmicas de pássaros (IUCN, 2017). Além disso, acomoda o único remanescente da Floresta Atlântica Insular e do Manguezal Oceânico na região sul do Atlântico (IUCN, 2017), e a espécie endêmica de lagarto *Trachylepis atlantica*, única espécie de scincídeo da América do Sul remanescente da linhagem Africana (ROCHA et al., 2009). Apesar de sua importância, não há nenhum estudo que avalie o impacto das mudanças climáticas no arquipélago. Desta forma, a presente seção visa estimar a exposição do arquipélago aos efeitos das mudanças climáticas, considerando as alterações no sistema climático local e o aumento do nível do mar.

2.2 Materiais e Métodos

As tendências climáticas do Arquipélago de Fernando de Noronha foram caracterizadas com base nas previsões para precipitação mensal (Prec), temperatura mensal mínima e máxima (Tmin e Tmax), e outras 19 variáveis bioclimáticas obtidos através da base de dados do WorldClim (HIJMANS et al., 2005). Foram utilizados dois modelos de circulação global (GCMs) para as avaliações do arquipélago (HADGEM2-ES e MIROC-ESM) em uma resolução de 2.5 minutos, devido a sua boa performance para mensurar camadas climáticas na América do Sul (ANAV et al., 2013; WATANABE et al., 2011; YIN et al., 2013).

O clima atual foi caracterizado pela interpolação de dados das estações meteorológicas ao redor do mundo, considerando o período de 1950 a 2000, com base nos dados disponibilizados pelo WorldClim (HIJMANS et al., 2005). As previsões futuras foram feitas para o período de 2060 a 2080, referido como 2070 (VUUREN et al., 2014). O modelo representativo de emissão de gases do efeito estufa (*Representative Concentration Pathways*, RCPs) utilizado assume um cenário de emissão realista, ou +8.5 W/m² (RCP 8.5), onde se prevê que não haverá uma redução nas emissões atuais (VUUREN et al., 2011, 2014). Os limites geográficos do arquipélago foram definidos em uma resolução de 1 x 1 km, através da função *Add path* do software Google Earth (Figura 9, GOOGLE, 2018). Todas as análises foram feitas em ambiente R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018).

Figura 9 - Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha.



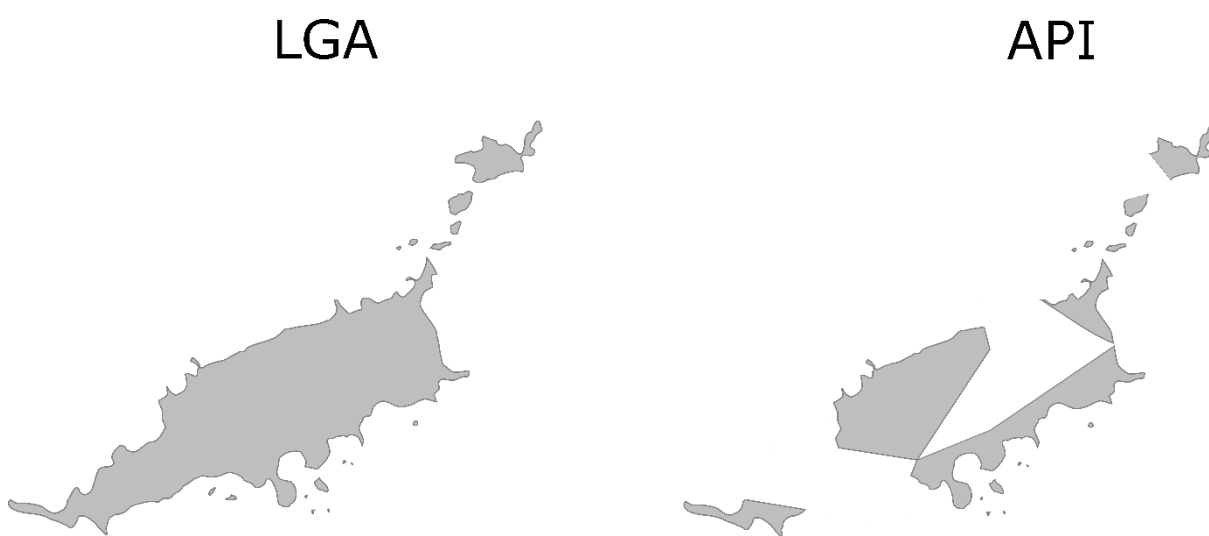
Para definir a exposição do arquipélago às variações climáticas, a diferença entre os valores previstos e os valores atuais dos fatores climáticos foram avaliados para cada GCM dentro do limite geográfico do arquipélago, através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015). Por fim, foi feito um teste t para avaliar se os modelos climáticos diferem entre si.

Para avaliar o possível impacto do aumento do nível do mar no arquipélago, as potenciais áreas inundadas foram mensuradas considerando um aumento global uniforme de um metro no nível do mar até 2100, uma vez que este é o menor valor fornecido pela base de dados de elevação digital global para delinear áreas potencialmente inundadas (LI et al., 2009). Desta forma, a área potencial perdida foi calculada como a diferença entre a área terrestre atual e a área total prevista para o pior cenário (1 m) dentro do cenário realista de emissão de gases do efeito estufa (CHURCH et al., 2013).

2.3 Resultados e Discussão

O arquipélago possui atualmente uma área total de aproximadamente 25 km², considerando todas as suas ilhas, rochas e ilhotas (Figura 10). A previsão de perda de área devido à inundação causada pelo aumento do nível do mar até 2100 foi de 8,8 km², o que representaria 35.2% do total da área terrestre do arquipélago (Figura 2).

Figura 10 - Limites geográficos atuais (LGA) e áreas potencialmente inundadas (API) do Arquipélago de Fernando de Noronha, considerando um aumento uniforme global de 1 m no nível do mar até 2100.



Baseado em LI et al., 2009.

Atualmente, um dos principais riscos ambientais no arquipélago é a erosão da costa, causada principalmente pelo crescimento urbano e por efeitos do turismo (IUCN, 2017; WAGNER; CASTRO, 2010). Com o aumento do nível do mar previsto até 2100, no cenário de emissão de gases do efeito estufa considerado “*business-as-usual*”, a erosão da costa é passível de aumentar, o que pode levar a uma perda de área seca ainda maior do que a prevista considerando apenas a invasão marinha, gerando um risco potencial para o turismo local (WONG et al., 2014). Considerando que o ecoturismo é a principal atividade econômica no arquipélago, a consequência do aumento do nível do mar e erosão da costa pode ser catastrófica para a subsistência da população humana local. Além disso, espécies locais, como o lagarto endêmico *Trachylepis atlantica*, podem perder para o mar ambientes térmicos potencialmente ideais, o que em um cenário de mudanças climáticas pode representar potencial declínio populacional com um aumento significativo no risco de extinção da espécie (ver seção 3; SANDEL et al., 2011).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os modelos para todas as variáveis climáticas avaliadas (Tabela 3). Portanto, a variação dos fatores climáticos em Fernando de Noronha devido ao aquecimento global foi considerada como a média dos resultados dos dois modelos avaliados. Os resultados relacionados à variação dos fatores bioclimáticos são fornecidos na Tabela 4 enquanto a variação mensal de Prec, T_{min} e T_{max} são fornecidos na Tabela 5.

Tabela 3– Comparação dos resultados dos modelos de circulação global HADGEM2-ES e MIROC-ESM para as diferentes variáveis bioclimáticas avaliadas.

Variável	t	GL	p
Precipitação mensal	-0.14	94	0.89
Temperatura mínima mensal	1.49	93.81	0.14
Temperatura máxima mensal	1.01	94	0.32
Temperatura média anual	0.38	5.93	0.72
Variação média diurna	-1.57	3	0.22
Isotermalidade	0.69	3.33	0.54
Sazonalidade da Temperatura	-0.6	3.35	0.59
Máxima temperatura do mês mais quente	0.29	6	0.78
Mínima temperatura do mês mais frio	0.61	5.52	0.56
Variação da temperatura anual	-0.88	3.3	0.44
Média da temperatura do período mais úmido	1.04	5.92	0.34
Média da temperatura do período mais seco	-0.03	5.92	0.98
Média da temperatura do período mais quente	0.44	5.97	0.68
Média da temperatura do período mais frio	0.54	5.46	0.61
Precipitação anual	-0.73	5.66	0.49
Precipitação do mês mais úmido	1.13	3.39	0.33
Precipitação do mês mais seco	-5.27	3.5	0.01
Sazonalidade da Precipitação	2.18	4.53	0.09
Precipitação do período mais úmido	0.19	5.79	0.86
Precipitação do período mais seco	-2.74	3.8	0.06
Precipitação do período mais quente	1.83	3.17	0.16
Precipitação do período mais frio	-2.06	3.95	0.11

Legenda: t = resultado do teste t; GL = Grau de Liberdade; p = probabilidade.

Foi prevista uma diminuição de 81.75 mm na precipitação anual no arquipélago, e um aumento de 2.8°C na temperatura média anual (Tabela 4). Além disso, foi prevista uma diminuição de 3.5% na isotermalidade, o que indica uma diminuição na diferença entre a variação de temperatura interanual e diurna (Tabela 4). Considerando as duas estações

reconhecidas para o arquipélago, foi prevista uma diminuição de 112.5 mm na precipitação, e um aumento de 2.77°C na T_{min} e 2.8°C na T_{max} para a estação úmida, que compreende os meses de março a julho (Tabela 5). Para a estação seca, de agosto a fevereiro, foi previsto um aumento de 30 mm na precipitação, 2.81°C na T_{min} e 2.84°C na T_{max} (Tabela 5).

Tabela 4–Variação climática prevista para 2070 no arquipélago de Fernando de Noronha, considerando 19 variáveis.

Variável	Exposição
Temperatura média anual	2.8
Varição média diurna	0.05
Isotermalidade	-3.50%
Sazonalidade da Temperatura	8.3
Máxima temperatura do mês mais quente	3.05
Mínima temperatura do mês mais frio	2.7
Varição da temperatura anual	0.35
Média da temperatura do período mais úmido	2.88
Média da temperatura do período mais seco	2.83
Média da temperatura do período mais quente	3
Média da temperatura do período mais frio	2.8
Precipitação anual	-81.75
Precipitação do mês mais úmido	8.75
Precipitação do mês mais seco	-0.5
Sazonalidade da Precipitação	2.50%
Precipitação do período mais úmido	-8.25
Precipitação do período mais seco	-0.75
Precipitação do período mais quente	-95.5
Precipitação do período mais frio	-119

Legenda: Exposição = variação entre as previsões futuras e os valores do presente. Baseado nos dados do WorldClim.

Tabela 5 - Exposição do arquipélago de Fernando de Noronha à variação mensal da precipitação (Prec), média de temperatura mínima (Tmin) e média de temperatura máxima (Tmax).

Mês	Prec	Tmin	Tmax
Janeiro	15	3	3.05
Fevereiro	27.25	2.85	2.95
Março	2.5	2.85	2.9
Abril	8.75	2.8	2.8
Maio	-20	2.73	2.8
Junho	-56.25	2.75	2.8
Julho	-47.5	2.7	2.7
Agosto	-15.5	2.65	2.65
Setembro	-2.5	2.65	2.65
Outubro	-0.5	2.7	2.73
Novembro	1	2.8	2.83
Dezembro	5.25	3	3.03

Legenda: Variação entre as previsões futuras e os valores atuais, em um cenário realista de emissão de gases do efeito estufa.

Estes resultados indicam que os padrões climáticos relativos à pluviosidade de Fernando de Noronha são passíveis de se inverterm, com a estação seca se tornando mais úmida e a estação úmida se tornando mais seca. Apesar disso, foi previsto um aumento uniforme na temperatura para todos os meses, indicando que a variação interanual é passível de se manter a mesma das taxas atuais, apesar de apresentar temperaturas mais elevadas. Esse resultado é também demonstrado pelos fatores bioclimáticos, considerando a baixa exposição prevista para a variação anual e diurna de temperatura (Tabela 4).

A variação climática prevista aqui para o Arquipélago de Fernando de Noronha, em conjunto com os efeitos do aumento do nível do mar, pode levar a efeitos negativos tanto na sua economia quanto na sua biodiversidade. Uma potencial estratégia para amenizar esses efeitos seria o reflorestamento do arquipélago, o que poderia reduzir a temperatura da superfície local e conseqüentemente amenizar os efeitos locais das mudanças climáticas (GROSS et al., 2015; HUANG et al., 2014; SOARES-FILHO et al., 2010). Noronha é um local chave para a conservação da biodiversidade, portanto, sua preservação é essencial para evitar não somente uma crise econômica local, mas também a extinção de espécies e ambientes que são exclusivamente – ou principalmente – encontrados nessas ilhas.

2.4 Referências

- ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.
- BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.
- CHURCH, J. a. et al. **Chapter 13 - Sea level change.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 1137–1216, 2013. ISBN: ISBN 978-1-107-66182-0, ISSN: 0074-6142, DOI: 10.1017/CB09781107415315.026.
- DAWSON, T. P. et al. **Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6025, p. 53–58, 2011. ISBN: 1095-9203 (Electronic)n0036-8075 (Linking), ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1200303.
- GROSS, J. et al. **Responding to Climate Change: Guidance for protected area managers and planers.** [s.l.]: [s.n.], 2015. 110 p. ISBN: 9782831718347.
- HIJMANS, J. R. et al. **Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.** *International Journal of Climatology*, [s.l.], v. 25, n° 15, p. 1965–1978, 2005. ISBN: 1097-0088, ISSN: 08998418, DOI: 10.1002/joc.1276.
- HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.***R package version 2.6-7.*, [s.l.], 2017.
- HUANG, S. P. et al. **Forest cover reduces thermally suitable habitats and affects responses to a warmer climate predicted in a high-elevation lizard.** *Oecologia*, [s.l.], v. 175, n° 1, p. 25–35, 2014. ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-014-2882-1.
- IUCN, W. H. O. **Brazilian Atlantic Islands: Fernando de Noronha and Atol das Rocas Reserves.** [s.l.], n° February, p. 1–24, 2017.
- LI, X. et al. **GIS Analysis of Global Impacts from Sea Level Rise.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, [s.l.], v. 75, n° 7, p. 807–818, 2009. ISBN: 0099-1112, ISSN: 0099-1112, DOI: 10.14358/PERS.75.7.807.
- LINDNER, M. et al. **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems.** *Forest Ecology and Management*, [s.l.], v. 259, n° 4, p. 698–709, 2010. ISBN: 0378-1127, ISSN: 03781127, DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023.
- MAGRIN, G. O. et al. **Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.*, [s.l.], n° Chapter 27. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 1499–1566, 2014. ISBN: 9781107415386 | 9781107058163, DOI: 10.1017/CBO9781107415386.007.

MENON, S. et al. **Preliminary global assessment of terrestrial biodiversity consequences of sea-level rise mediated by climate change.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 19, n° 6, p. 1599–1609, 2010. ISBN: 1053101097904, ISSN: 09603115, DOI: 10.1007/s10531-010-9790-4.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

ROCHA, C. F. D. et al. **Ecology and Natural History of the Easternmost Native Lizard Species in South America, *Trachylepis atlantica* (Scincidae), from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 43, n° 3, p. 450–459, 2009. ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/07-267R2.1.

SANDEL, B. et al. **The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism.** *Science*, [s.l.], v. 334, n° 6056, p. 660–664, 2011. ISBN: 0036807510959203, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1210173.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n° 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

STOCKER, T. F. et al. **Technical Summary.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 33–115, 2013. ISBN: 9781107661820, ISSN: 1476-4687, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.005.

VUUREN, D. P. VAN et al. **The representative concentration pathways: An overview.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 109, n° 1, p. 5–31, 2011. ISBN: 0165-0009, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.

_____. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WAGNER, J.; CASTRO, A. **Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha , Brasil : Uma Oceanic islands of Trindade and Fernando de Noronha , Brazil : Overview of the Environmental Geology.** *Management*, [s.l.], v. 10, n° 3, p. 303–319, 2010.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WATANABE, S. et al. **MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments.** *Geoscientific Model Development*, [s.l.], v. 4, p. 845–872, 2011.

WONG, P. P. et al. **Chapter 5- Coastal Systems and Low-Lying Areas.** *In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, [s.l.], p. 361–409, 2014. ISBN: 9781107415386.*

YIN, L. et al. **How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America?** *Climate Dynamics*, [s.l.], v. 41, n° 11–12, p. 3127–3143, 2013. ISBN: 0930-7575 1432-0894, ISSN: 09307575, DOI: 10.1007/s00382-012-1582-y.

3IMPLICAÇÕES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA FISIOLOGIA TÉRMICA E VULNERABILIDADE DE *TRACHYLEPIS ATLANTICA*, ESPÉCIE ENDÊMICA DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA

Manuscrito submetido:

Diele-Viegas, L. M., Menezes, V. A., Sinervo, B., Miles, D. B. e Rocha, C. F. D. Climate change implications on thermal biology and vulnerability of the African hallow in South America, the endemic skink *Trachylepis atlantica*. *Em revisão (Ecography)*.

RESUMO

Muitos aspetos da biologia dos répteis são passíveis de serem influenciados pela variação na temperatura ambiental, o que os torna bons modelos para avaliar os efeitos potenciais das mudanças climáticas em ectotérmicos terrestres. Na presente seção, a ecologia térmica do lagarto endêmico do arquipélago de Fernando de Noronha, *Trachylepis atlantica* foi quantificada para prever sua habilidade em lidar com as mudanças climáticas futuras. As horas de restrição de atividade e curvas de desempenho térmico da espécie foram estimadas com base na preferência térmica da espécie e potencial acesso à refúgios térmicos acima do solo (Margem de Segurança Térmica, MST). Além disso, foram estimadas a qualidade térmica do ambiente, a acurácia da temperatura corpórea e a eficácia de termorregulação da espécie. A temperatura corpórea de *T. atlantica* atualmente excede tanto a temperatura preferencial quanto a temperatura ótima para desempenho locomotor, e sua MST é atualmente estreita, sugerindo que a espécie já experimenta temperaturas ambientais próximas ao seu ótimo fisiológico. A espécie apresenta baixa acurácia de temperatura corpórea, e o ambiente não é ideal termicamente, apesar da espécie evitar ativamente ambientes potencialmente ideais. As previsões futuras foram baseadas em dois cenários de emissão de gases do efeito estufa, um otimista e um realista, e foi recuperado uma tendência de aumento no número de horas em que a temperatura do ambiente irá exceder as temperaturas selecionadas pela espécie, junto a uma tendência de diminuição na qualidade térmica do ambiente, indicando que os animais precisarão refinar sua termorregulação comportamental para alcançar temperaturas corpóreas acuradas. No entanto, apesar da espécie exibir um comportamento de termorregulação ativa eficaz atualmente, sua habilidade de termorregular ativamente é passível de diminuir, indicando a falta de habilidade em rastrear as mudanças climáticas atuais. Finalmente, foi previsto 79% de extinções locais para 2070 em um cenário otimista de

emissão de gases do efeito estufa, e a extinção total da espécie em um cenário realista, o que demonstra a necessidade de se buscar estratégias de conservação para evitar a extinção da espécie.

Palavras-Chave: Aquecimento Global. Endêmico de Ilha. Termorregulação. Horas de Restrição. Risco de Extinção. Fisiologia Térmica.

ABSTRACT

Several aspects of reptile's biology are likely to be influenced by the environmental temperature variation, which makes them good models to evaluate potential climate change effects on terrestrial ectotherms. In this chapter the thermal ecology of the endemic skink, *Trachylepis atlantica*, from the Fernando de Noronha Archipelago, was quantified to predict its ability to cope with future climate change. Its thermal performance curves and hours of activity restriction (H_r) were estimated based on the species' thermal preference and potential access to above-ground thermal refugia (thermal safety margin, TSM), and the thermal quality of the environment, the species' accuracy of field active body temperatures (T_b) and its effectiveness of thermoregulation were also estimated. *Trachylepis atlantica*'s T_b currently exceeds both preferred temperature and optimal temperature for locomotor performance, and that its TSM is currently narrow, suggesting that the species is already experiencing environmental temperatures close to their physiological optima. The species showed low accuracy of T_b , and the environment in general is not thermally ideal, although the species appears to actively avoid potentially ideal microhabitats. The future predictions were based on both optimistic and realistic scenarios of greenhouse gas emissions, and an increasing trend in the number of hours in which the environmental temperature will exceed the species' selected temperatures was founded, together with a decreasing trend in environmental thermal quality, indicating that animals would have to refine behavioral thermoregulation to achieve accurate T_b s. However, although *T. atlantica* currently exhibits an efficient basking behavior, its ability to thermoregulate and actively avoid thermally unfavorable microhabitats is likely to decrease, indicating a lack of ability to track current climate changes. Finally, it was predicted 79% of local extinctions by 2070 under an optimistic scenario, and total extinction under a realistic scenario, which demonstrates the paramount need of conservation strategies be taken to avoid the species' total extinction.

Keywords: Global Warming. Island Endemic. Thermoregulation. Hours of Restriction. Extinction Risk. Thermal Physiology.

3.1 Introdução

As mudanças climáticas antropogênicas são presumidamente um dos principais agentes da crise global na biodiversidade atual (CEBALLOS et al., 2015; GARCIA et al., 2014), o que é considerado por alguns autores o início da sexta extinção em massa (BARNOSKY et al., 2011; CEBALLOS et al., 2015; WAKE; VREDENBURG, 2008). A média de temperatura da superfície terrestre aumentou 0,85°C entre 1901 e 2012, e é passível de aumentar mais 4,8°C até 2100, de acordo com as previsões baseadas em um cenário de emissões de gases do efeito estufa considerado como “*business-as-usual*”, ou seja, que considera que as emissões irão aumentar conforme a taxa de emissão atual até o final do século (COLLINS et al., 2013).

Diversos aspectos da biologia dos organismos terrestres são importantes para delimitar o impacto das mudanças climáticas em seu funcionamento, e conseqüentemente a vulnerabilidade da espécie em estudo, tais quais fenologia, interações ecológicas e fisiologia térmica (Ver seção 1). As respostas das espécies às mudanças climáticas são principalmente guiadas pela adaptação genômica, plasticidade fenotípica e habilidade de mover-se para habitats termicamente adequados (ou capacidade de dispersão), portanto, quando nenhuma destas opções é possível, a espécie é passível de se extinguir local ou globalmente (BELLARD et al., 2012; SINERVO et al., 2010; 2018).

Répteis são ectotérmicos e dependem da temperatura ambiental para alcançar as temperaturas corporais ($T_{c,s}$) necessárias para manter seu metabolismo ativo (HUEY; STEVENSON, 1979). Todos os aspectos da sua fisiologia são definidos pelas $T_{c,s}$, e a maioria destes aspectos somente funcionam apropriadamente dentro de uma faixa de temperatura, chamada faixa de ajuste (“*set-point range*”, T_{set}). Portanto, o grau de habilidade de um indivíduo em alcançar uma temperatura corpórea ótima através da termorregulação comportamental pode influenciar na sua capacidade de se adaptar às mudanças (HUEY, 1982). Ambientes heterogêneos favorecem o alcance da temperatura ótima com maior prontidão, uma vez que a termorregulação é otimizada pela disponibilidade microclimática (GEORGE et al., 2017).

Trachylepis atlantica (Figura 11) é um lagarto da família Scincidae endêmico do arquipélago de Fernando de Noronha, sendo bastante abundante na principal ilha do arquipélago e considerado como a espécie de lagarto mais oriental nativa da América do Sul (ROCHA et al., 2009). Apesar da sua proximidade geográfica com os scincídeos neotropicais, algumas análises filogenéticas recentes posicionaram a espécie na radiação

Afro-Malagasy dos *Mabuya* sensu lato [= *Trachylepis*; (CARRANZA; ARNOLD, 2003; MAUSFELD et al., 2002)]. A afinidade filogenética da espécie com os scincídeos africanos tem sido interpretada como representante do segundo evento de dispersão da linhagem Afro-Malagasy para a América do Sul, enquanto um evento de dispersão anterior deu origem à linhagem dos *Mabuya* das Américas (CARRANZA; ARNOLD, 2003).

Figura 11 – *Trachylepis atlantica*.



Fonte: Otavio Carvalhosa, 2018 (direito de uso de imagem concedido).

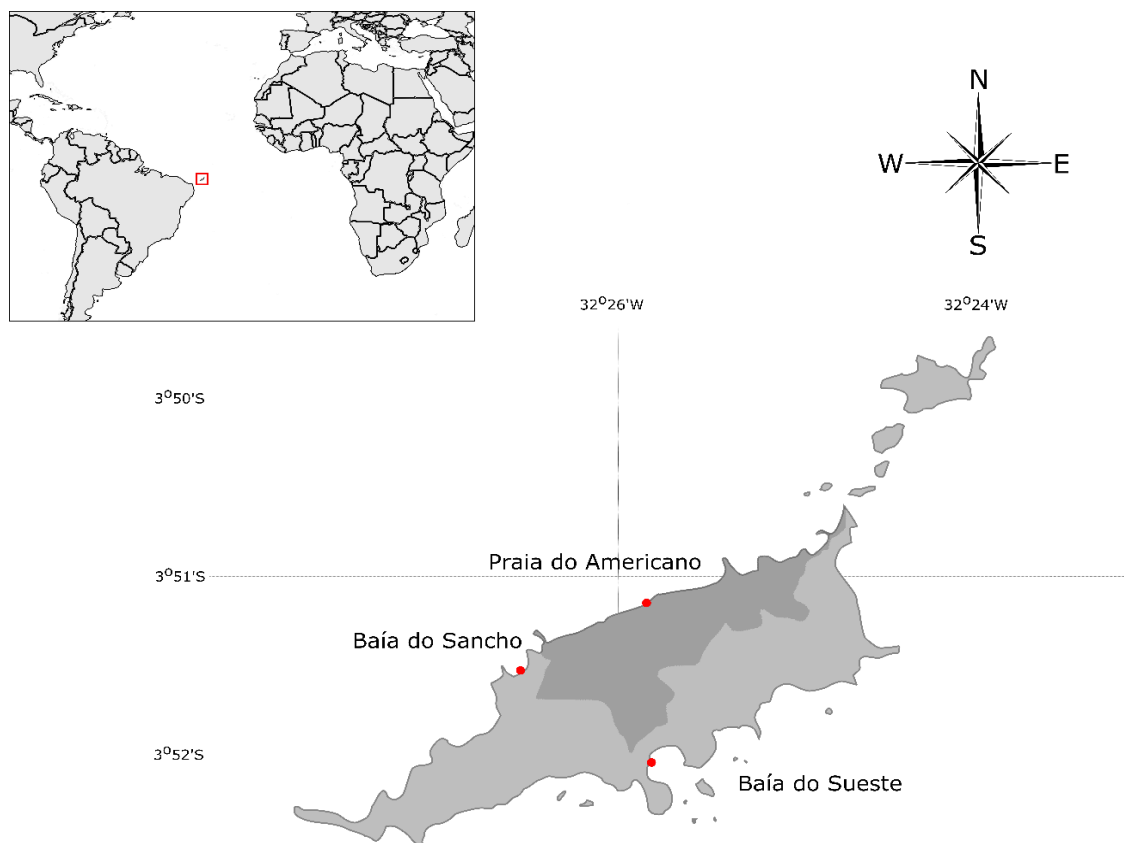
A espécie apresenta pico de atividade entre 12:00 e 14:00, quando alcança as maiores T_{cs} (ROCHA et al., 2009). Apresenta termorregulação heliotérmica, termorregulando ativamente e diretamente exposta ao sol (ROCHA et al., 2009). Os indivíduos usualmente termorregulam durante a manhã para alcançar uma T_c que ative seu metabolismo, e após isso dependem inteiramente da temperatura do ar e substrato para a manutenção do calor (ROCHA et al., 2009). Apesar de sua aparente adaptação comportamental à variação diurna na temperatura, a espécie pode não conseguir rastrear as mudanças climáticas atuais, considerando que um alto grau de endemismo associado a distribuições restritas é usualmente associado a uma especiação ocorrida durante um período de mudanças climáticas lentas, e que alterações regionais ou locais podem impactar toda a sua distribuição (BONINO et al., 2015; JANSSON, 2003; PARMESAN, 2006; SANDEL et al., 2011). Além disso, a baixa sazonalidade na temperatura ambiental pode induzir a seleção por especialização térmica. Portanto, a presente seção tem como objetivo quantificar a habilidade de *T. atlantica* em rastrear as mudanças climáticas recentes e seu respectivo risco de extinção sob o cenário de mudanças climáticas futuras.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Dados de campo

Foram coletados dados de fisiologia térmica de *T. atlantica* no Parque Nacional Marinho e na Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha, Pernambuco (3°50'58.1"S, 32°25'36.9"W), em julho de 2018 (Figura 12). Os dados foram obtidos sob licença de coleta fornecida pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), de número 61796-1, e de acordo com as recomendações do guia de cuidado e uso de animais em laboratório dos institutos nacionais de saúde. Todos os esforços foram tomados para minimizar o desconforto para os animais avaliados.

Figura 12 – Arquipélago de Fernando de Noronha.



Legenda: PARNAMAR em cinza claro, APA em cinza escuro. Pontos vermelhos mostram os pontos de amostragem da temperatura operativa ambiental.

Foi feita uma busca ativa dos indivíduos durante o seu período de atividade nos ambientes potencialmente ocupados pela espécie, e as T_c s dos indivíduos em campo foram medidas através de um termômetro infravermelho apontado para a região mediana do dorso do animal, a uma distância de aproximadamente 45 cm (Figura 13). Os indivíduos foram então capturados e mantidos em cativeiro por um período máximo de três dias. Enquanto em cativeiro, foram mantidos em recipientes de plástico com orifícios para a entrada de ar e um algodão embebido em água para a manutenção da umidade, sem acesso à comida.

Figura 13 – Medida de temperatura corpórea de *Trachylepis atlantica* na Baía do Sueste, Arquipélago de Fernando de Noronha.



Fonte: Vanderlaine Amaral de Menezes, 2018.

3.2.2 Testes de fisiologia térmica

Para avaliar a fisiologia térmica de *T. atlantica*, foram efetuados testes de temperatura preferencial (T_{pref}), temperatura crítica (máxima, CT_{max} , e mínima, CT_{min}) e de desempenho locomotor (DIELE-VIEGAS et al., 2018; adaptado de PARANJPE et al., 2012). Os procedimentos estão descritos a seguir.

Temperatura preferencial (T_{pref}) e T_{set}

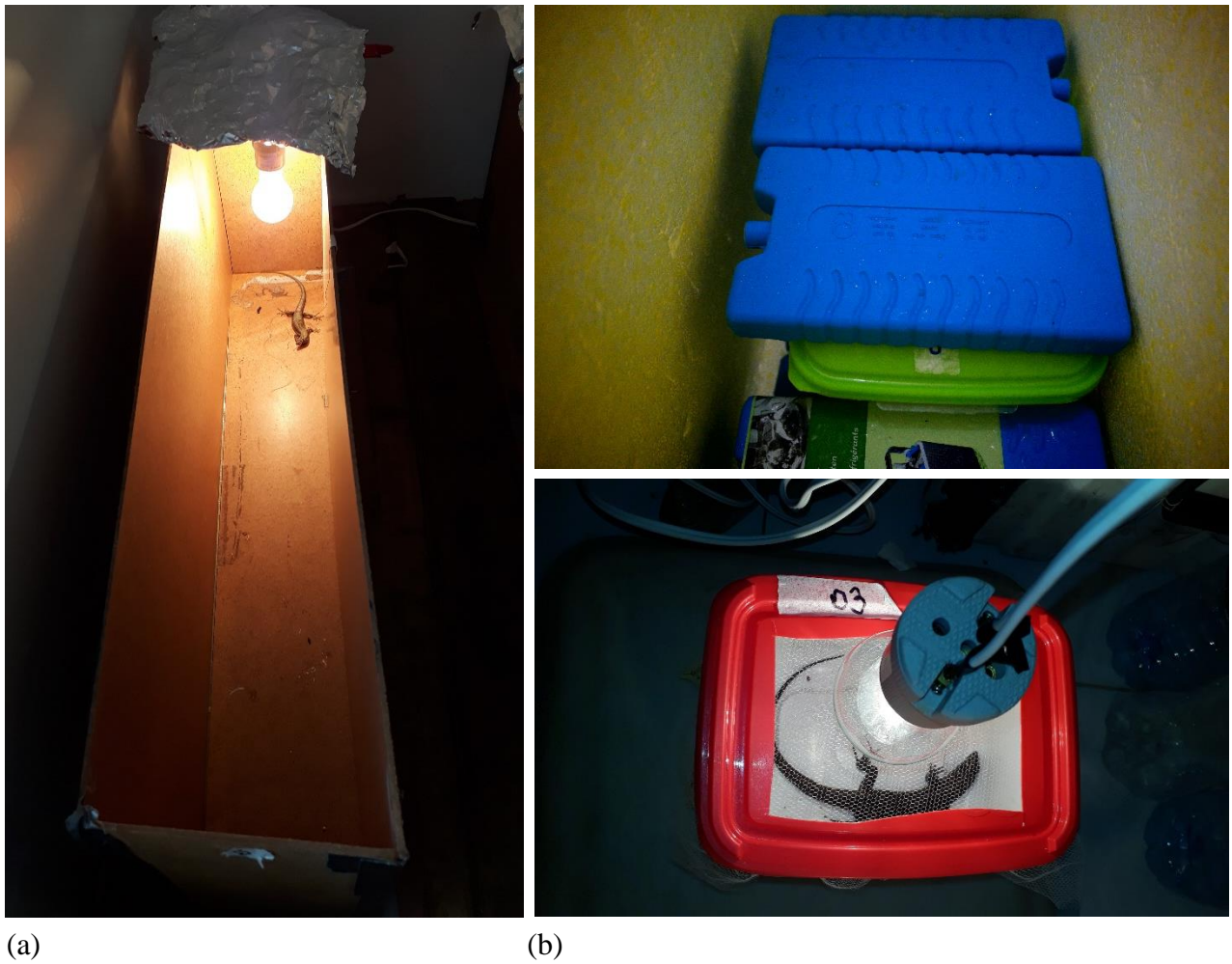
A T_{pref} e T_{set} (intervalo entre as temperaturas voluntárias mínimas, VT_{min} , e máximas, VT_{max} , das espécies), foram medidas através de um gradiente fototérmico, construído com placas de madeira compensada de aproximadamente 90 x 15 x 40 cm (C x L x A). A extremidade fria do gradiente se deu através do posicionamento de blocos de gelo, enquanto a extremidade quente foi gerada através de lâmpadas de aquecimento de ~100W de espectro completo (Figura 14a). O gradiente de temperatura formado variou de 20°C a 40°C.

Para medir as T_{cs} dos lagartos dentro do gradiente, foram anexados termopares ultrafinos na região ventral do abdômen através de fita cirúrgica Micropore TM, isolando a sonda das temperaturas do substrato. Os termopares foram conectados a um registrador de dados Eltek Squirrel, que registrou suas T_{cs} por um período de 90 minutos. O teste se iniciou após 15 minutos do posicionamento do animal dentro do gradiente, de modo a permitir que o mesmo se aclimatasse e iniciasse a termorregulação (DIELE-VIEGAS et al., 2018; adaptado de PARANJPE et al., 2012, 2013). O teste foi efetuado durante o período de atividade de *T. atlantica*, e a média das temperaturas obtidas durante o teste foi considerada a T_{pref} do indivíduo, enquanto o interquartil das temperaturas (25%, VT_{min} e 75%, VT_{max}) foi considerado como a T_{set} (KUBISCH et al., 2016).

Tolerância térmica

A tolerância térmica foi considerada como o intervalo entre os limites críticos mínimos (CT_{min}) e máximos (CT_{max}) da espécie. As temperaturas críticas foram alcançadas com a diminuição ou aumento da temperatura corpórea individual através de câmaras de resfriamento/aquecimento (Figura 14b), até o animal perder sua capacidade de retornar à posição anatômica quando posicionado em decúbito dorsal. Cada indivíduo foi testado para ambos CT_{min} e CT_{max} , e após os testes foram aquecidos/resfriados até alcançarem sua T_{pref} .

Figura 14 – Testes de Temperatura preferencial e faixa de ajuste (a) e de tolerância térmica (b).



Fonte: A autora, 2018.

Desempenho locomotor

A capacidade de resistência locomotora de *T. atlantica* foi medida através da utilização de uma esteira de corrida a uma velocidade constante de aproximadamente 0,27 m/s (Figura 15), como alternativa ao teste de velocidade descrito na seção 4 e ao teste de resistência descrito em DIELE-VIEGAS et al. (2018). Os lagartos correram em temperatura ambiente e a temperaturas cinco graus acima ou abaixo da temperatura ambiente, criando um intervalo de temperaturas variando de 19°C a 40°C. O desempenho locomotor foi calculado como a distância percorrida (número de voltas da esteira x comprimento da pista). Após isso, a temperatura ótima de performance (T_{op}) foi considerada a T_c com melhor desempenho locomotor, determinada através de uma curva de desempenho térmico.

Figura 15 – Esteira de corrida para teste de desempenho locomotor.



Fonte: A autora, 2018

Após os testes, o tamanho corpóreo dos lagartos foi medido com um paquímetro de 0.1 mm de precisão. Dez dos 28 lagartos testados foram eutanasiados com uma dose letal do anestésico Tiopental para coleta de material genético. Os espécimes foram posteriormente fixados em formol 10% e permanentemente estocados em etanol 70%, tendo sido depositados na Coleção Herpetológica do Museu Nacional (MN/UFRJ).

Dados de temperatura operativa ambiental (T_{oa}) foram obtidos através da instalação de Onset Hobo® data loggers (U23-003 2 channel) com modelos de PVC em uma gama de ambientes potencialmente utilizados pela espécie (Figura 16). Os dados foram coletados em um intervalo de um a dois minutos, e foram considerados somente os dados gravados 8:00 e 17:00, período que engloba a atividade da espécie focal. A coleta de T_{oa} durou três dias. Os modelos consistiram em tubos de PVC pintados com tinta cinza brilhante, com cerca de 9 cm de comprimento e 1.3 cm de diâmetro para lagartos, calibrados com a utilização de um registrador de dados Eltek Squirrel acoplado a um par termoeletrico ultra-fino (1 mm) incorporado à região abdominal do lagarto através de uma fita cirúrgica Micropore TM (Figura 17). Os modelos e o animal foram posicionados sob a mesma incidência luminosa por

um período de três horas, e os modelos cujo a temperatura mais se aproximou à temperatura corporal do animal utilizado na calibração foram então utilizados na obtenção dos dados de temperatura operativa ambiental.

Figura 16 – Instalação de Onset Hobo® data loggers com modelos de PVC em ambiente potencialmente ocupado por *Trachylepis atlantica*.



Fonte: Vanderlaine Amaral de Menezes, 2018.

Figura 17 – Calibração de diferentes modelos de PVC para seleção do mais apropriado para reproduzir a temperatura operativa ambiental de *Trachylepis atlantica*



Legenda: Registrador de dados Eltek Squirrel ao fundo. O lagarto foi posicionado no mesmo sentido dos modelos de PVC, o que os permitiu receber a mesma incidência luminosa durante a calibração, que durou cerca de três horas.

Fonte: A autora, 2018.

3.2.3 Análises

Todas as análises foram feitas em ambiente R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). Para avaliar se os sexos diferem na fisiologia térmica, foi feito um teste de análise de variância (ANOVA One-Way).

A curva de desempenho térmico (CDT) de *T. atlantica* foi gerada a partir de um modelo aditivo misto generalizado (GAMM; ZAJITSCHK et al., 2012), através dos pacotes Mappinguari (CAETANO; SANTOS; SINERVO, 2018), ggplot2 (WICKHAM, 2016), grid (R CORE TEAM, 2018), mgcv (WOOD, 2017) e proc (ROBIN et al., 2011). O modelo utiliza funções aditivas não paramétricas para modelar efeitos covariantes enquanto contabiliza correlação e superdispersão adicionando efeitos aleatórios ao preditor aditivo (LIN, 1999). Foi utilizado o critério de informação Akaike (AIC) e o critério de informação bayesiana (BIC) para selecionar a melhor estrutura de correlação antes de estimar a CDT. AIC mede a qualidade do ajuste do modelo penalizado por sua complexidade, e BIC adicionalmente considera o número de observações incluídas no modelo (ZUUR et al., 2009). O desempenho dos lagartos em diferentes temperaturas foi considerado como variável resposta, enquanto a identidade do indivíduo foi o efeito aleatório e o tamanho corpóreo foi incluído como

covariável. Os extremos da curva foram fixados nos valores de CT_{\min} e CT_{\max} . Diversas estruturas de correlação foram testadas para selecionar o melhor ajuste, incluído estruturas de correlação temporal (processo auto-regressivo [corAR1], processo contínuo auto-regressivo [corCAR1] e processo de média móvel auto-regressivo [corARMA]), e estruturas de correlação espacial residual (correlação espacial Gaussiana [corGaus], estrutura de correlação espacial exponencial [corExp], correlação espacial racional quadrática [corRatio] e correlação espacial esférica [corSpher]). Foi selecionada a estrutura de correlação com menor valor de AIC e BIC recuperado (ZUUR et al., 2009).

A extensão da preferência térmica foi calculada como a diferença entre as temperaturas voluntárias máxima (VT_{\max}) e mínima (VT_{\min}), ou 75% e 25% dos valores de T_c recuperados durante o teste de T_{pref} , respectivamente; a extensão da tolerância térmica como a diferença entre CT_{\max} e CT_{\min} ; e a margem de segurança térmica (MST, i.e., o potencial para acessar refúgios térmicos acima do solo), como a diferença entre T_{op} e o maior valor de T_{oa} (DEUTSCH et al., 2008). Além disso, foram mensurados os índices de acurácia de T_c (\bar{a}_c), ou o grau em que a T_c se relaciona com T_{set} ; qualidade térmica do ambiente (\bar{a}_e), ou o grau em que a T_{oa} se relaciona com a T_{set} ; e a eficácia de termorregulação (E), ou o grau em que os animais conseguem termorregular ativamente (HERTZ et al., 1993).

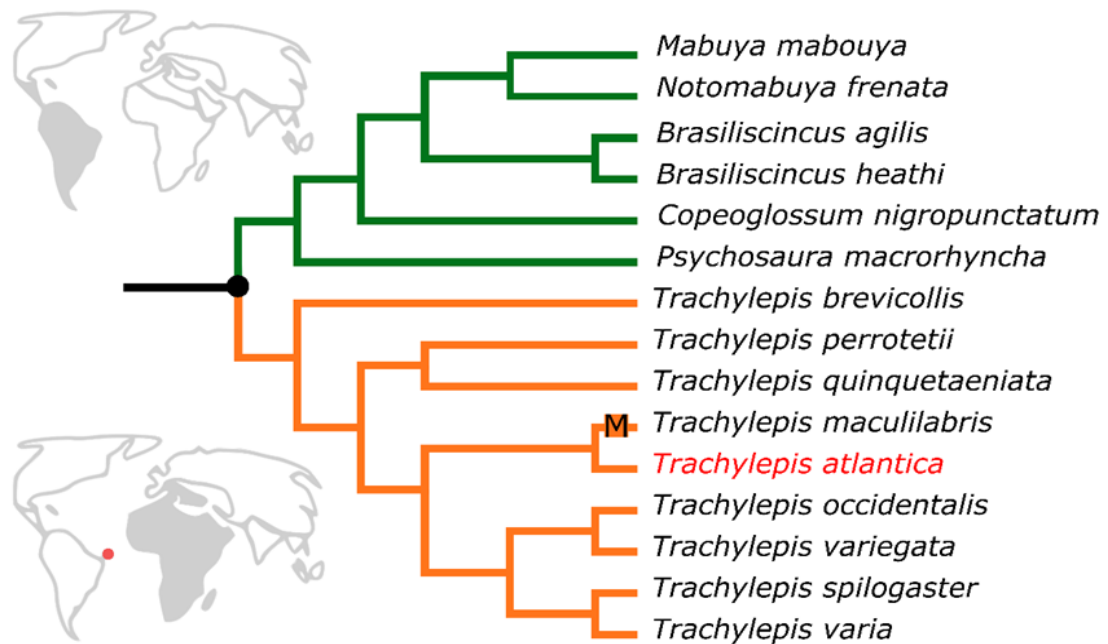
Para prever a variação causada pelo aquecimento global no MST, \bar{a}_e e E de *T. atlantica*, foi considerada a variação na T_{oa} a partir da variação da temperatura máxima em Fernando de Noronha (T_{max} , WorldClim) para o mês de julho, quando os dados fisiológicos da espécie foram coletados. A variável T_{max} foi selecionada por não ser afetada pelas temperaturas noturnas. As futuras T_{oa} s foram medidas como a diferença entre os valores de temperatura previstos e os atuais, através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015). O desempenho de *T. atlantica* também foi projetado em um cenário de mudanças climáticas através da função *predict* do pacote raster.

Além destes índices, o risco de extinção da espécie foi mensurado através de uma modelagem mecanicista que levou em consideração os seus dados biológicos. Por ser uma espécie endêmica do arquipélago de Fernando de Noronha, os dados de distribuição de *T. atlantica* utilizados foram os pontos de observação da espécie durante a expedição de julho/2018. Os limites geográficos do arquipélago de Fernando de Noronha foram definidos na secundaseção da presente tese.

Espécies endêmicas necessitam da referência de um táxon filogeneticamente relacionado para que se possa inferir seu risco de extinção de maneira mais acurada (SINERVO et al., 2018). Por conta disso, para avaliar a influência das mudanças climáticas na probabilidade de persistência de *T. atlantica*, primeiramente foi feita uma comparação das estimativas empíricas de T_{oa} baseadas nos modelos de PVC com as estimativas de T_{oa} baseadas no microclima (KEARNEY; ISAAC; PORTER, 2014; SINERVO et al., 2018).

Considerando que a espécie tem espaço geográfico limitado para a estimativa da T_{oa} pelo microclima (dimensionado em tamanho de célula de 18 x 18 km, o que só fornece uma célula única para Fernando de Noronha), foram computadas duas funções de horas de restrição de atividade (H_r), ou o período em que a espécie precisa restringir sua atividade por conta de condições climáticas desfavoráveis: uma derivada dos *Trachylepisafricanos*, com os quais a espécie é mais filogeneticamente relacionada (CARRANZA; ARNOLD, 2003; LIMA et al., 2013), utilizando dados de T_c/T_{pref} do material suplementar de SINERVO et al. (2010) e de seu ancestral mais relacionado, *T. maculilabris* (publicado por MEIRI et al., 2013); e outra derivada da linhagem dos Scincidae do novo mundo, com dados de T_c/T_{pref} do material suplementar de SINERVO et al. (2010). Na primeira hipótese, foi comparada a ecofisiologia de *T. atlantica* com as condições de T_{oa} ancestrais na África, com as de *T. maculilabris* (Figura 18), enquanto que na última hipótese, T_{oa} de *T. atlantica* pode ter evoluído de maneira similar aos Scincidae da costa do Brasil, como *Brasiliscincus heathi* ou *Psychosaura macrorhyncha* (Figura 18). Enquanto a primeira hipótese pontua que a fisiologia de *T. atlantica* apresentaria conservantismo filogenético, a segunda pontua que ela corresponde à pressões seletivas biogeográficas (HUEY; HERTZ; SINERVO, 2003).

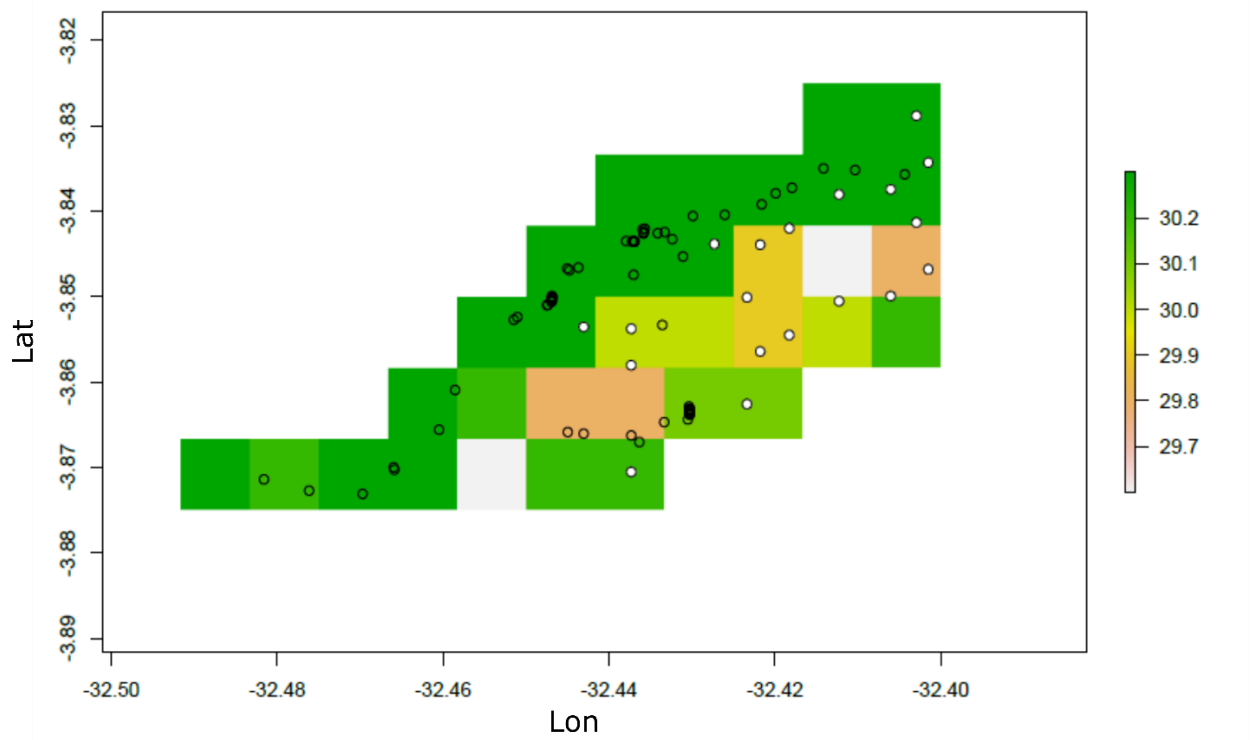
Figura18 – Filogenia de Scincidae utilizada nos cálculos de Horas de Restrição de atividade, baseada em PEREIRA; SCHRAGO (2017).



Legenda: Verde = linhagem neotropical; laranja = linhagem africana. Áreas cinzas no mapa representam a origem das linhagens; ponto vermelho é a distribuição de *Trachylepis atlantica* e o M = táxon de Madagascar grupo irmão de *T. atlantica*.

O cálculo de H_r foi feito para ambos *Trachylepis* africanos e Scincidae neotropicais, seguindo protocolo adaptado de SINERVO et al.(2018), utilizando cenários de solo na sombra (0, 25, 50, 75, 90, 100%) de 0 a 1 cm acima do substrato e 120 cm acima do substrato, considerando que os lagartos podem ocasionalmente recuar para posições mais altas nas rochas. Em seguida, foi feita a regressão de H_r em função de $T_{max} - T_{pref}$ para os táxons visando derivar uma função que pudesse ser escalonada para 1x1 km. A T_{max} mensal foi utilizada para computar H_r de *T. atlantica* em Fernando de Noronha utilizando 69 registros de captura, aumentados para 18 locais dispersados por células climáticas para amostrar qualquer potencial refúgio climático para a espécie no arquipélago (Figura 19).

Figura 19 – Distribuição atual amostrada de *Trachylepis atlantica* no arquipélago de Fernando de Noronha.



Legenda: Gradiente de cores indica a temperatura máxima do ambiente (T_{max}) em janeiro. Pontos brancos foram incluídos na análise visando abranger toda a área da ilha principal, onde a espécie é passível de ocorrer e utilizar como potencial refúgio.

Para *Trachylepis* e *Mabuya* dos trópicos seco-úmido ($\pm 20-24^\circ$ Latitude) e equatorial ($\pm 10-12^\circ$ Latitude), o período reprodutivo pode variar de 5-6 a 12 meses, respectivamente. Desta forma, a H_r foi calculada para os 12 meses, e os valores foram utilizados para computar os limites críticos na ecofisiologia e reprodução [fenologia, (SINERVO et al., 2010)].

O modelo de risco de extinção de Sinervo *et al.* (2010) se baseia no conceito de um limite crítico governando a distribuição atual dos táxons, o que seria uma H_r crítica. No presente estudo, este limite crítico foi estimado com base no limite de 95% de confiança da distribuição de H_r para *T. atlantica* atual [1975, (SINERVO et al., 2010, 2018)]. Em seguida, foi considerado que, se os valores de H_r computados para o futuro excederem esse limite naquele local escalonado em 1x1 km, então este local não sustentará mais a espécie.

Uma vantagem do modelo é a possibilidade de se estimar a confiabilidade de futuros modelos de extinção, uma vez que este foi validado através da observação de extinções em oito famílias do mundo (SINERVO et al., 2011). HARTE et al. (2004) e THUILLER et al. (2004) criticaram outros modelos de distribuição de espécies que não validaram sua confiabilidade, ou habilidade de prever de maneira confiável as extinções observadas devido às mudanças climáticas no período contemporâneo [1975-presente, (HARTE et al., 2004;

THUILLER et al., 2004)] A estimativa de confiabilidade utilizada aqui permitiu decompor o erro total (e conseqüentemente a confiabilidade) ao estimar o erro de amostragem associado com o grau de certeza da distribuição geográfica da espécie, referido como erro de amostragem, e o erro de processo associado com a projeção de extinção em si, ou o processo de se estimar a extinção com o modelo de extinção(SINERVO et al., 2010, 2011). O erro de amostragem total (S.E.) é dado por SINERVO et al. (2018): $SE_{Total} = SE_{Amostragem} + SE_{Processo}$.

Para as previsões acerca de MST, desempenho, \bar{a}_c e E , foram utilizados dois modelos de circulação global (GCMs) com desempenho bom para a América do Sul (YIN et al., 2013), HADGEM2-ES (JONES et al., 2011) e MIROC-ESM (WATANABE et al., 2011), em uma resolução de 0.0083333 graus (dimensionado em tamanho de célula de 1x1 km). Para o cálculo de extinção, foi utilizado o modelo MPI-ESM-LR(*Max Planck Institute Earth System Model*) sob os cenários de vias de concentração representativa (*Representative Concentration Pathways*, RCP) que assumem +4,5 e +8,5 W/m², referidos como RCP 4,5 e 8.5, respectivamente, para as décadas de 2060-2080, referido como 2070 (VUUREN et al., 2014). Desta forma, foram utilizados os modelos climáticos que melhor capturam os padrões observados de precipitação e temperatura durante o período controle em escala regional e global (ANAV et al., 2013).

3.3 Resultados

As características de biologia térmica da espécie, em média e por sexo, estão descritas na Tabela 6. Não foram encontradas diferenças significativas entre os sexos para nenhuma das variáveis fisiológicas avaliadas (Tabela 6). As T_cs coletadas em campo foram em média 3,2°C maiores que a sua VT_{max}, e 4°C maiores que a sua T_{pref}.

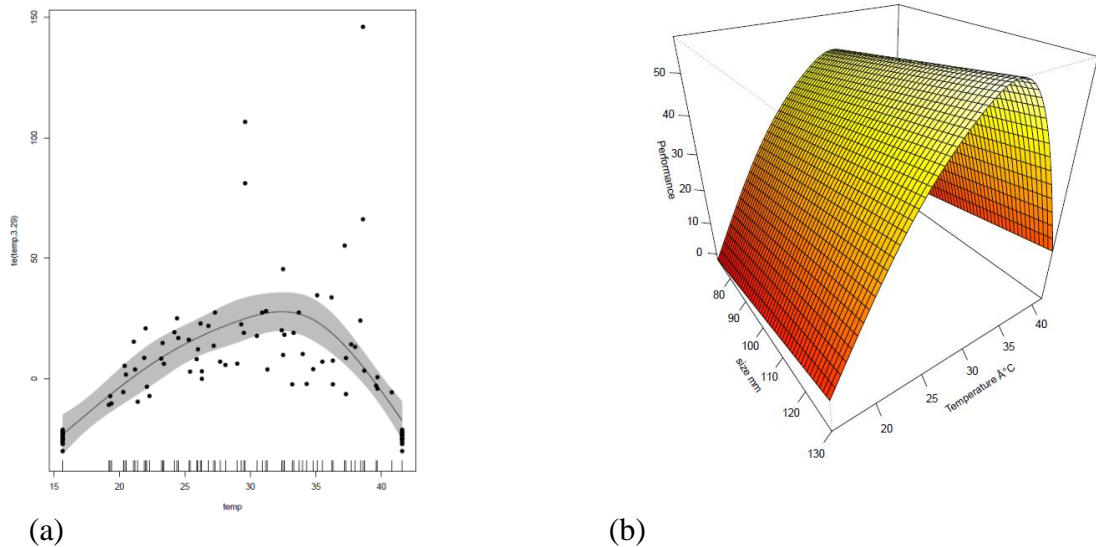
Tabela 6 – Fisiologia térmica de *Trachylepis atlantica* e resultados da Anova One Way comparando os sexos.

Média ± DP (N)	T _c	T _{pref}	Vt _{min}	Vt _{max}	Ct _{min}	Ct _{max}
Fêmeas	-	30,0 ± 1,7 (11)	29,0 ± 1,8 (11)	31,0 ± 1,7 (11)	15,4 ± 2,1 (10)	41,7 ± 1,2 (10)
Variação	-	27,7 - 32,3	26,6 - 31,3	28,8 - 33,5	12,8 - 17,1	40,0 - 43,5
Machos	-	29,8 ± 2,1 (12)	29,1 ± 2,4 (12)	30,5 ± 2,1 (12)	15,9 ± 2,4 (13)	41,5 ± 1,1 (13)
Variação	-	27,7 - 33,6	25,7 - 33,4	28,2 - 34,2	10,6 - 19,1	39,8 - 43,3
Total	33,9 ± 3,9 (102)	29,9 ± 1,8 (23)	29,1 ± 2,1 (23)	30,7 ± 1,9 (23)	15,7 ± 1,9 (22)	41,6 ± 1,1 (22)
Variação	24,3 - 42,1	27,7 - 33,6	25,7 - 33,4	28,2 - 34,2	10,6 - 19,1	39,8 - 43,5
F, p	-	0,05, 0,83	0,02, 0,96	0,32, 0,58	0,29, 0,59	0,055, 0,82

Legenda: T_c = temperatura corpórea em campo; T_{pref} = temperatura preferencial; VT_{min} = temperatura voluntária mínima; VT_{max} = temperatura voluntária máxima; CT_{min} = temperatura crítica mínima; CT_{max} = temperatura crítica máxima; DP = Desvio Padrão; N= Tamanho Amostral. Todas as temperaturas estão em °C.

Para a dependência térmica do desempenho locomotor, as melhores estruturas de correlação foram corAR1 e corARMA, e ambos os critérios avaliadores (AIC e BIC) apresentaram o mesmo R² ajustado (0,48) e recuperaram a mesma T_{op} = 32,4°C. A curva de desempenho está expressa na Figura 20. Não foram encontradas diferenças significativas na variação do desempenho entre os GCMs avaliados (ANOVA One-Way, F_{1, 278} = 0,071; p = 0,79), portanto foi utilizada a média dos resultados de ambos os GCMs para prever a variação no desempenho locomotor para 2070. A média de desempenho considerando os valores de Tmax em julho foi de 47,18 m ± 0,24 m, com previsão de um aumento de 3,22 m até 2070.

Figura 20 – Curvas de desempenho térmico de *Trachylepis atlantica*.



Legenda: (a) Curva bidimensional baseada na temperatura corpórea; (b) Curva tridimensional baseada na temperatura corpórea e no comprimento rostro-cloacal dos animais (mm).

Não foram encontradas diferenças significativas entre as previsões dos GCMs para a variação da T_{max} no arquipélago de Fernando de Noronha (ANOVA One-Way, $F_{2,6} = 1,332$; $p = 0,053$), portanto também aqui foi utilizada a média das previsões dos dois GCMs avaliados para prever a futura T_{oa} . Foi previsto, portanto, um aumento de $2,43^{\circ}\text{C} \pm 1,92^{\circ}\text{C}$ na T_{max} , o que levou à variação na T_{oa} descrita na Tabela 7.

O desvio médio de T_c em relação ao T_{set} foi alto (2,59), indicando baixa acurácia de T_c . A MST para a espécie é atualmente baixa, e se tornará negativa até 2070 (Tabela 7). A qualidade térmica do arquipélago é alta, mas não ideal, e a eficácia de termorregulação é altamente negativa (Tabela 7).

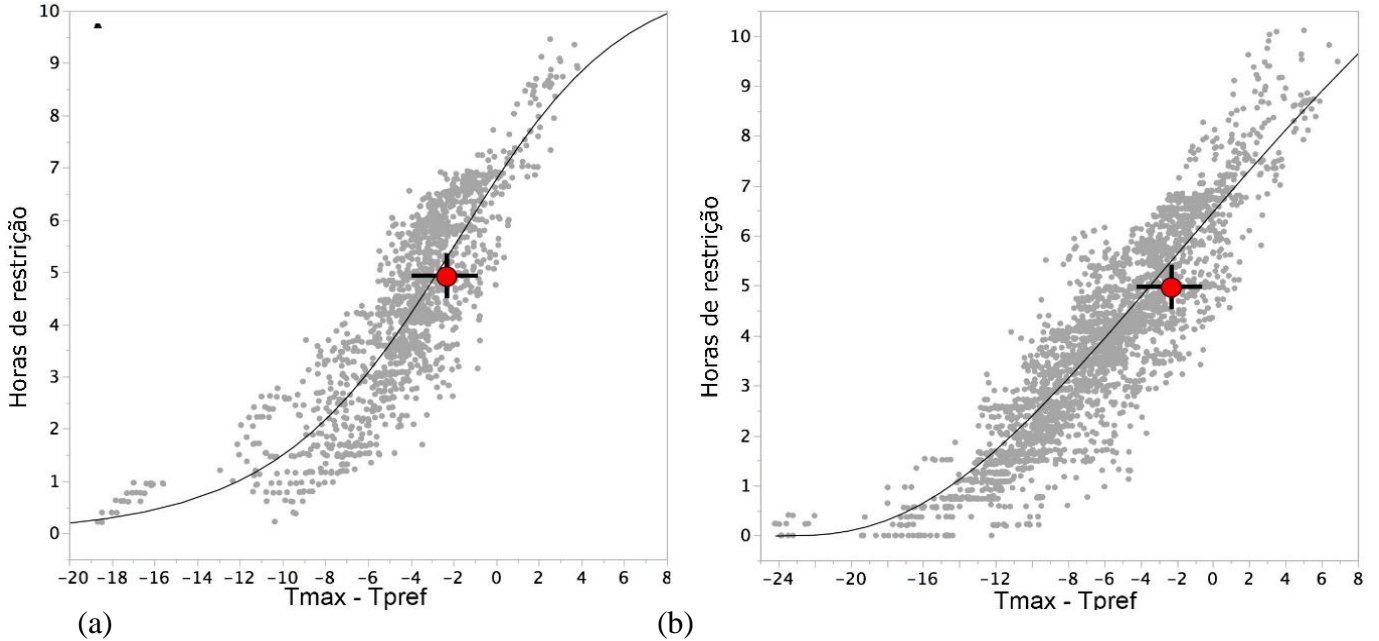
Tabela 7 – Previsões atuais e para o futuro de temperatura operativa ambiental (T_{oa}) por hora de atividade de *Trachylepis atlantica*, margem de segurança térmica (MST), Qualidade térmica do ambiente (\bar{d}_e) e eficiência de termorregulação (E).

Característica avaliada	Presente	2070
T_{oa} - 8:00	26.3	28.7
T_{oa} - 9:00	28.2	30.6
T_{oa} - 10:00	29.5	31.9
T_{oa} - 11:00	30.2	32.6
T_{oa} - 12:00	29.8	32.2
T_{oa} - 13:00	31.1	33.5
T_{oa} - 14:00	30.7	33.1
T_{oa} - 15:00	29.1	31.5
T_{oa} - 16:00	30.2	32.6
T_{oa} - 17:00	27.4	29.8
T_{oa} - Média \pm DP	29.2 \pm 1.5	31.6 \pm 1.5
MST	1.3	-1.08
\bar{d}_e	0.29	1.23
E	-8.06	-1.10

Legenda: DP = Desvio Padrão. Previsões feitas para um cenário realista de emissões de gases do efeito estufa (RCP 8.5).

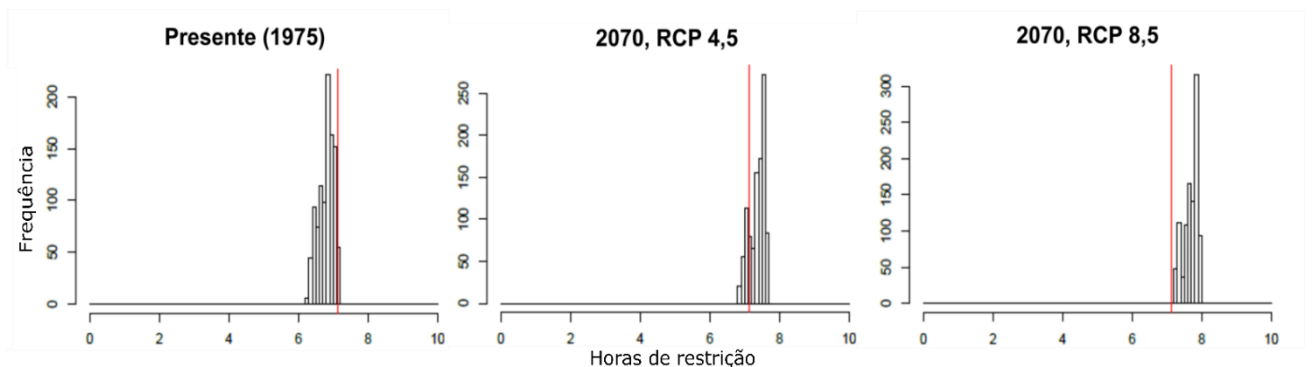
A espécie atualmente experimenta 4,9 horas de restrição de atividade, valor que é notavelmente consistente com as funções de H_r para ambas as espécies do novo mundo e da África (Figura 21, Figura S2, Figura S3 e Tabela S4). O modelo recuperou uma média de $H_{r,critica} = 6,8 \pm 0,69$ e 95% quartil de $H_{r,critica} = 7,1$ (Figura 22). Para 2070, a espécie vai experimentar uma H_r maior que 7,1 em todo o arquipélago, com média de $H_r = 7,4 \pm 0,56$ no cenário RCP 4,5 e $H_{r,critica} = 7,7 \pm 0,01$ para RCP 8,5. Desta forma, foi prevista uma probabilidade de persistência de 0,18 para RCP 4,5, com 95% de intervalo de confiança variando de 0,05 a 0,31 usando o SE_{total} , e 0,00 para RCP 8,5, com 95% de intervalo de confiança variando de -0,13 a 0,31, indicando que é altamente provável que a espécie seja extinta.

Figura 21 – Curva universal de horas de restrição (H_r) de Scincídeos.



Legenda: (a) Scincídeos do México e América do Sul; (b) *Trachylepis* da África. A média de *Trachylepis atlantica* está destacada em vermelho, e as linhas cruzadas são o erro padrão para T_{oa} e $T_{max} - T_{pref}$. Valores para os parâmetros τ para a Equação de Crescimento de Richard (JMP13) da equação 1 são $\tau_1 = 10,66$, $\tau_2 = 0,8013$, $\tau_3 = 0,2691$, e $\tau_4 = 1,305$ para scincídeos sul-americanos e $\tau_1 = 11,29$, $\tau_2 = -0,1007$, $\tau_3 = 0,09491$, and $\tau_4 = -0,2216$ para os scincídeos congêneres africanos de *T. atlantica*. A equação foi definida para as superfícies de microclima para os dados atuais usando os algoritmos de SINERVO et al., 2018 (para cada i do ano, com $T_{i,max}$ do worldclim.org, superfícies climáticas contemporâneas): $h_r(T_{(i,max)} - T_{pref}) = \tau_1 / (1 + \tau_2 \exp[-\tau_3 (T_{(i,max)} - T_{pref})^{1/\tau_4}])$

Figura 22 – Previsões atual e futura de horas de restrição para *Trachylepis atlantica*.



Legenda: A linha vermelha indica a inferência de 95% (como utilizado em SINERVO et al., 2010; 2018).

3.4 Discussão

Foi visto que *T. atlantica* apresenta média de T_c 3,2°C maior que VT_{max} , e 4°C maior que T_{pref} . A média de T_c encontrada foi ligeiramente menor que a de seus congêneres da África, tais quais *T. punctatissima* (36,3°C), *T. sparsa* (35,3°C) e *T. occidentalis* (35,9°C; HUEY; PIANKA, 1977). ROCHA et al. (2009) encontraram T_c s médias mais baixas para a espécie (32,2°C ± 2,9°C), mesmo considerando que sua coleta de dados se deu entre outubro e novembro, período do ano usualmente mais quente que julho (CLIMATE DATA, 2018). Apesar disso, esse valor ainda é mais alto que VT_{max} , o que indica que a espécie pode não estar respondendo rápido o bastante para adaptar sua fisiologia térmica à variação na T_{oa} , mesmo variando sua T_c . Apesar de estudos anteriores relacionados ao scincídeo australiano *Lampropholis coggeri* demonstrarem que ajustes comportamentais foram expressos em oposição à variação nas condições climáticas locais (LLEWELYN et al., 2016, 2017), nossos resultados concordam com GUNDERSON e STILLMAN (2015), que mostraram que a maioria dos ectotérmicos apresentam baixa aclimação no que diz respeito a tolerância térmica. Como consequência, a aclimação pode não ser relevante para diminuir o risco de superaquecimento causado pelas mudanças climáticas. Quando as medidas de T_c estão próximas ou mais altas que T_{pref} , a espécie em questão pode estar próxima dos limites do aquecimento contemporâneo, como observado em *Zootoca vivípara* em locais de baixa elevação em comparação à locais de alta elevação no sul da Europa (GOZDIK; CASTILLA, 2001), onde a espécie já começou a sofrer extirpações forçadas pelo clima (SINERVO et al., 2010)

Foi visto que a temperatura ótima para o desempenho locomotor (T_{op}) ocorre acima de VT_{max} , sendo próxima a T_c . *Copeoglossum nigropunctatum*, outro scincídeo brasileiro, exibe um valor de T_{op} próximo a VT_{min} , e T_c quase 3°C acima de VT_{max} (DIELE-VIEGAS et al., 2018). Apesar da diferença significativa na fisiologia térmica destas duas espécies, ambas contrariam os resultados de BENNETT (1990), que sugeriu que a T_{op} deveria ser sempre mais alta que T_{pref} e T_c . Além disso, YUAN et al. (2018) encontrou valores de T_{op} similares para o congênero de *T. atlantica*, *T. affinis*, do ecótono Savana-Floresta Tropical de Camarões.

A margem de segurança térmica de *T. atlantica* é pequena, o que indica que a espécie já está experimentando temperaturas ambientais próximas a seu ótimo fisiológico (DEUTSCH et al., 2008). Esse padrão é similar ao encontrado por HUEY et al. (2009), para o scincídeo australiano *Hemiergis peronei*, que possui uma MST de 1,07. Além disso, previsões futuras

indicam valores negativos para a MST, o que significa que o aquecimento pode diminuir o desempenho e forçar a espécie a reduzir seu período de atividade (KEARNEY, et al., 2009).

Os resultados demonstram que *T. atlantica* atualmente apresenta baixa acurácia de termorregulação comportamental e que o arquipélago não é termicamente ideal para a espécie. Além disso, sua eficácia de termorregulação é alta e negativa, o que indica que a espécie já evita microhabitats termicamente ideais, possivelmente devido à abundância de predadores ou escassez de alimento (HERTZ et al., 1993). MEIRI et al. (2013) avaliaram a relação entre T_{oa} e T_c de 154 espécies de scincídeos, incluindo 15 *Trachylepis*, dentre os quais *T. atlantica*, baseado nos dados de T_b de ROCHA et al. (2009). Eles viram que a maioria das espécies apresentam T_{cs} mais baixas que a média anual de temperatura do ambiente, o que significa que esses lagartos alcançam suas T_{cs} termorregulando com eficiência (MEIRI et al., 2013). Considerando que a tolerância ao calor é altamente afetada pelo comportamento de termorregulação ativa (PHILLIPS et al., 2016), os resultados aqui expostos indicam que *T. atlantica* apresenta atualmente uma alta tolerância ao calor.

Foi previsto que a qualidade térmica de Fernando de Noronha tende a cair ainda mais, o que indica que os animais precisarão termorregular ativamente para alcançar T_{cs} próximas à T_{set} . Apesar disso, nossos resultados indicam que a habilidade de *T. atlantica* de termorregular e evitar microhabitats ativamente também vai diminuir, e que a tendência é que os animais selecionem os microhabitats aleatoriamente em relação à temperatura do ambiente (HERTZ et al., 1993). Isto pode ser a causa dos valores negativos de MST previstos aqui, considerando as condições climáticas futuras, uma vez que esses valores aumentam com a latitude e a termorregulação ativa sob radiação solar direta (HUEY et al., 2009). Como *T. atlantica* pode perder esta habilidade, sua MST pode diminuir e alcançar os valores negativos previstos, o que indica que a espécie pode não estar apta a acompanhar o aumento da temperatura do ambiente.

As medidas relacionadas à H_r atual de *T. atlantica* se ajustam àquelas encontradas para ambos scincídeos neotropicais e congêneres africanos, ilustrando a utilidade de se incorporar táxons relacionados filogeneticamente e/ou espacialmente na avaliação do risco de extinção de espécies extremamente endêmicas. As curvas descrevendo $H_r = f(T_{max} - T_{pref})$ usadas para incorporar H_r contemporâneo e futuro de ambos os grupos são extremamente similares, e a medida de T_{oa} para *T. atlantica* se enquadra nessa linha (Figura 22). O alto grau de similaridade da função de H_r entre os lacertídeos africanos e os phrynosomatídeos asiáticos, ambos encontrados em ambientes áridos arenícolas e saxícolas, indica que as guildas dos

lagartos aparentemente compartilham restrições convergentes devido ao ambiente biofísico (SINERVO et al., 2018).

Dado o aumento na temperatura média prevista para Fernando de Noronha, foi previsto um potencial aumento no desempenho locomotor da espécie. Apesar disso, também foi visto que haverá um aumento no período em que a T_{oa} excede a VT_{max} , o que é similar aos resultados encontrados por GRIMM-SEYFARTH et al. (2017) para o scincídeo australiano *Morethia boulengeri*, considerando sua CT_{max} (acima de 40°C) como limite de atividade. Apesar disso, a maioria dos indivíduos reduz sua atividade antes de alcançarem a CT_{max} , mas acima da VT_{max} no campo (i.e., a T_c máxima medida em animais ativos no campo). Desta forma, mesmo apresentando potencial para aumentar seu desempenho locomotor em um cenário de mudanças climáticas, o aumento da temperatura do ambiente pode levar os animais a restringir seu período de atividade por quase oito horas. Isso pode resultar em consequências deletérias para os seus requerimentos fisiológicos e biológicos, uma vez que o aumento das H_r em refúgios térmicos pode limitar o forrageio, restringir funções metabólicas e até mesmo causar a cessação da reprodução sob períodos de calor intenso (SINERVO et al., 2011) e, conseqüentemente, minar as taxas de crescimento populacional, aumentando o risco de extinção ao nível da espécie (SINERVO et al., 2010).

Foi prevista a total extinção de *T. atlantica* em um cenário realista de emissões de gases do efeito estufa. Isso corrobora a hipótese de que espécies endêmicas com distribuição restrita seriam altamente vulneráveis às mudanças climáticas (JANSSON, 2003; SANDEL et al., 2011), tais quais as espécies de *Sceloporus* endêmicas de montanhas no México, que já estão experimentando extinções contemporâneas devido ao aquecimento global (SINERVO et al., 2010). Além disso, estes resultados estão de acordo com as previsões de diminuição de adequação de habitat para seu congênere africano, *T. affinis* (YUAN et al., 2018).

Uma potencial estratégia de mitigação poderia incluir o reflorestamento do arquipélago, de modo a aumentar a área sombreada das ilhas e permitir que os indivíduos se refugiem do sol. A cobertura florestal reduz a temperatura da superfície, tendo um efeito local de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Experimentos com sombras no lagarto *Sceloporus jarrovi* indicaram que tal estratégia pode aumentar a variação nas T_{oas} (SEARS et al., 2016), o que pode aumentar a persistência de *T. atlantica* sob um cenário de mudanças climáticas.

Apesar do reflorestamento ser passível de mitigar os efeitos das mudanças climáticas em escala local, o arquipélago também está ameaçado pelo aumento do nível do mar, um efeito secundário das mudanças climáticas atuantes em escala global (ver seção 3). Isso pode

representar uma ameaça adicional à sobrevivência de *T. atlantica*, uma vez que os ambientes que potencialmente poderiam permanecer termicamente ideais podem ser perdidos para o mar. Desta forma, uma alternativa para evitar a extinção total da espécie até 2070 poderia ser a translocação guiada da espécie para o continente, uma abordagem que vem sendo utilizada para proteger a última espécie de Rhynchocephalia vivente, *Sphenodon punctatus* (BESSON; CREE, 2011). Apesar disso, esse tipo de abordagem não tem garantia de sucesso, e, portanto, demanda que diversos estudos sejam feitos em ambos os ambientes, novo e original, de modo a entender melhor o sistema em que a espécie está atualmente inserida e aumentar as chances de estabelecimento da espécie no novo ambiente.

Os resultados encontrados na presente seção demonstram que *T. atlantica* já está experimentando efeitos negativos das mudanças climáticas. As previsões indicam uma alta probabilidade da espécie se extinguir no arquipélago de Fernando de Noronha. Esta previsão se torna ainda mais preocupante ao considerar que a espécie não é capaz de se dispersar para ambientes fora da ilha sem intervenção humana. Desta forma, dentre as estratégias propostas, a translocação guiada é a que talvez apresente os melhores resultados, porém também exige que novos estudos sejam feitos buscando melhor compreender as relações entre a espécie e o sistema em que ela está inserida, para que a seleção do novo ambiente seja feita de maneira a otimizar as chances de estabelecimento da espécie.

3.5 Referências

ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.

BARNOSKY, A. D. et al. **Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived?** *Nature*, [s.l.], v. 471, n° 7336, p. 51–57, 2011. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/nature09678.

BELLARD, C. et al. **Impacts of climate change on the future of biodiversity.** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 15, n° 4, p. 365–377, 2012. ISBN: 0471142905, ISSN: 1461023X, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x.

BENNETT, A F. **Thermal dependence of locomotor capacity.** *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, [s.l.], v. 259, p. 253–258, 1990. ISBN: 0002-9513 (Print)n0002-9513 (Linking), ISSN: 0002-9513.

BESSON, A. A.; CREE, A. **Integrating physiology into conservation: An approach to help guide translocations of a rare reptile in a warming environment.** *Animal Conservation*, [s.l.], v. 14, n° 1, p. 28–37, 2011. ISBN: 1469-1795, ISSN: 13679430, DOI: 10.1111/j.1469-1795.2010.00386.x.

BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.

BONINO, M. F. et al. **Climate change and lizards: changing species’ geographic ranges in Patagonia.** *Regional Environmental Change*, [s.l.], v. 15, n° 6, p. 1121–1132, 2015. ISSN: 1436378X, DOI: 10.1007/s10113-014-0693-x.

CARRANZA, S.; ARNOLD, E. N. **Investigating the origin of transoceanic distributions: Mtdna shows mabuya lizards (reptilia, scincidae) crossed the atlantic twice.** *Systematics and Biodiversity*, [s.l.], v. 1, n° 2, p. 275–282, 2003. ISBN: 1477-2000, ISSN: 14780933, DOI: 10.1017/S1477200003001099.

CEBALLOS, G. et al. **Accelerated modern human – induced species losses : Entering the sixth mass extinction.** *Science Advances*, [s.l.], v. 1, n° June, p. 1–6, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400253.

COLLINS, M. et al. **Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility.** *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 1029–1136, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 9781107415324, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.024.

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*, [s.l.], v. 105, n° 18, p. 6668–6672, 2008. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0709472105.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, p. 1–23, 2018. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

GARCIA, R. A. et al. **Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity.** *Science*, [s.l.], v. 344, n° 6183, 2014. ISBN: 0036-8075, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1247579.

GEORGE, A. D. et al. **Resource selection by an ectothermic predator in a dynamic thermal landscape.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 22, p. 9557–9566, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.3440.

GOZDIK, L.; CASTILLA, A. M. **A comparative study of preferred body temperatures and critical thermal tolerance limits among populations of *Zootoca vivipara* (Squamata: Lacertidae) along an altitudinal gradient.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 35, n° 3, p. 486–492, 2001.

GRIMM-SEYFARTH, A.; MIHOUB, J. B.; HENLE, K. **Too hot to die? The effects of vegetation shading on past, present, and future activity budgets of two diurnal skinks from arid Australia.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 17, p. 6803–6813, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.3238.

GUNDERSON, A. R.; STILLMAN, J. H. **Plasticity in thermal tolerance has limited potential to buffer ectotherms from global warming.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 282, n° 20150401, p. 1–8, 2015. ISBN: 0962-8452, ISSN: 0962-8452, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0401>.

HARTE, J. et al. **Biodiversity conservation: Climate change and extinction risk.** *Nature*, [s.l.], v. 430, n° 6995, p. 2719, 2004. ISBN: 1476-4687 (Electronic)n0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature02718.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.** *R package version 2.6-7*, [s.l.], 2017.

HUEY, R. B. **Temperature, physiology, and the ecology of reptiles.** *Biology of the Reptilia Vol. 12. Physiology C. Physiological Ecology*, [s.l.], v. 12, p. 25–91, 1982. ISBN: 0122746120, ISSN: 09670637, DOI: 10.1016/j.dsr.2014.07.003.

HUEY, R. B. et al. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–48, 2009. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

HUEY, R. B.; HERTZ, P. E.; SINERVO, B. **Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: a null model approach.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 161, n° 3, p. 357–366, 2003. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/346135.

HUEY, R. B.; PIANKA, E. R. **Seasonal variation in thermoregulatory behavior and body temperature of diurna.pdf.** *Ecology*, [s.l.], v. 58, p. 1066–1075, 1977.

HUEY, R. B.; STEVENSON, R. D. **Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches.** *Integrative and Comparative Biology*, [s.l.], v. 19, n° 1, p. 357–366, 1979. ISBN: 0003-1569, ISSN: 15407063, DOI: 10.1093/icb/19.1.357.

JANSSON, R. **Global patterns in endemism explained by past climatic change.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 270, n° 1515, p. 583–590, 2003. ISBN: 0962-8452 (Print), ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.2002.2283.

JONES, C. D. et al. **The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations.** *Geoscientific Model Development*, [s.l.], v. 4, n° 3, p. 543–570, 2011. ISBN: 1991-959X, ISSN: 19919603, DOI: 10.5194/gmd-4-543-2011.

KEARNEY, M. R.; ISAAC, A. P.; PORTER, W. P. **Microclim: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages.** *Scientific Data*, [s.l.], v. 1, p. 1–9, 2014. ISBN: 2052-4463 (Electronic)r2052-4463 (Linking), ISSN: 20524463, DOI: 10.1038/sdata.2014.6.

KEARNEY, M.; SHINE, R.; PORTER, W. P. **The potential for behavioral thermoregulation to buffer “cold-blooded” animals against climate warming.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s.l.], v. 106, n° 10, p. 3835–3840, 2009. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0808913106.

KUBISCH, E. L.; FERNÁNDEZ, J. B.; IBARGÜENGOYTÍA, N. R. **Vulnerability to climate warming of *Liolaemus pictus* (Squamata, Liolaemidae), a lizard from the cold temperate climate in Patagonia, Argentina.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 186, n° 2, p. 243–253, 2016. ISBN: 1432-136X (Electronic)0174-1578 (Linking), ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-015-0952-2.

LIMA, A. et al. **Phylogenetic relationships of *Trachylepis* skink species from Madagascar and the Seychelles (Squamata: Scincidae).** *Molecular Phylogenetics and Evolution*, [s.l.], v. 67, n° 3, p. 615–620, 2013. ISBN: 1055-7903, ISSN: 10557903, DOI: 10.1016/j.ympev.2013.02.001.

LIN, X.; ZHANG, D. **Inference in generalized additive mixed models by using smoothing splines.** *Journal of the Royal Statistical Society - Series B: Statistical Methodology*, [s.l.], v. 61, n° 2, p. 381–400, 1999. ISBN: 1467-9868, ISSN: 1369-7412, DOI: 10.1111/1467-9868.00183.

LLEWELYN, J. et al. **Intraspecific variation in climate-relevant traits in a tropical rainforest lizard.** *Diversity and Distributions*, [s.l.], v. 22, n° 10, p. 1000–1012, 2016. ISSN: 14724642, DOI: 10.1111/ddi.12466.

_____. **Thermoregulatory behaviour explains countergradient variation in the upper thermal limit of a rainforest skink.** *Oikos*, [s.l.], v. 126, n° 5, p. 748–757, 2017. ISBN: 0030-1299, ISSN: 16000706, DOI: 10.1111/oik.03933.

MAUSFELD, P. et al. **Phylogenetic affinities of *Mabuya atlantica* Schmidt, 1945, endemic to the Atlantic Ocean Archipelago of Fernando de Noronha (Brazil): Necessity of partitioning the genus *Mabuya* Fitzinger, 1826 (Scincidae: Lygosominae).** *Zoologischer Anzeiger*, [s.l.], v. 241, n° 3, p. 281–293, 2002. ISBN: 0044-5231, ISSN: 00445231, DOI: 10.1078/0044-5231-00081.

MEIRI, S. et al. **Are lizards feeling the heat? A tale of ecology and evolution under two temperatures.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 834–845, 2013. ISBN: 1466-8238, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/geb.12053.

PARANJPE, D. A. et al. **Measuring Thermal Profile of Reptiles in Laboratory and Field.** In: ANDREW SPINK, FABRIZIO GRIECO, OLGA KRIPS, LEANNE LOIJENS, LUCAS NOLDUS, P. Z. (Org.). Utrecht, The Netherlands: [s.n.], 2012. 460-462 p. ISBN: 9789074821872.

_____. **Evidence of maternal effects on temperature preference in side-blotched lizards: Implications for evolutionary response to climate change.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 3, n° 7, p. 1977–1991, 2013. ISBN: 2045-7758, ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.614.

PARMESAN, C. **Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, [s.l.], v. 37, n° 1, p. 637–669, 2006. ISBN: 1543-592X, ISSN: 1543-592X, DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100.

PEREIRA, A. G.; SCHRAGO, C. G. **Arrival and diversification of mabuyine skinks (Squamata: Scincidae) in the Neotropics based on a fossil-calibrated timetree.** *PeerJ*, [s.l.], v. 5, p. e3194, 2017. ISSN: 2167-8359, DOI: 10.7717/peerj.3194.

PHILLIPS, B. L. et al. **Heat hardening in a tropical lizard: geographic variation explained by the predictability and variance in environmental temperatures.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 30, n° 7, p. 1161–1168, 2016. ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12609.

PHILLIPS, N. D. and A. **Guidance on the use of the IUCN protected area management categories.** [s.l.]: [s.n.], 2006. 58 p. ISBN: 9782831708287.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

ROBIN, J. et al. **pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves.** *BMC Bioinformatics*, [s.l.], v. 12, p. 77, 2011.

ROCHA, C. F. D. et al. **Ecology and Natural History of the Easternmost Native Lizard Species in South America, *Trachylepis atlantica* (Scincidae), from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 43, n° 3, p. 450–459, 2009. ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/07-267R2.1.

SANDEL, B. et al. **The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism.** *Science*, [s.l.], v. 334, n° 6056, p. 660–664, 2011. ISBN: 0036807510959203, ISSN: 10959203, DOI: 10.1126/science.1210173.

SEARS, M. W. et al. **Configuration of the thermal landscape determines thermoregulatory performance of ectotherms.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 113, n° 38, p. 10595–10600, 2016. ISBN: 1091-6490 (Electronic)r0027-8424 (Linking), ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1604824113.

SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. **Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: A review.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 175, n° 8, p. 533–541, 2005. ISBN: 0174-1578, ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-005-0007-1.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

_____. **Response to Comment on “Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches”.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6029, p. 537–537, 2011. ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1195348.

_____. **Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, Phrynocephalus, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai—Tibetan Plateau.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 13, n° 4, p. 450–470, 2018. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12315.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n° 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

THUILLER, W. et al. **Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions.** *Ecography*, [s.l.], v. 27, n° 2, p. 165–172, 2004. ISBN: 0906-7590, ISSN: 09067590, DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03673.x.

VUUREN, D. P. VAN et al. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WAKE, D. B.; VREDENBURG, V. T. **Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 105, n° Supplement 1, p. 11466–11473, 2008. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0801921105.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WATANABE, S. et al. **MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments.** *Geoscientific Model Development*, [s.l.], v. 4, p. 845–872, 2011.
WICKHAM, H. **gplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.** *Springer-Verlag New York*, [s.l.], 2016.

WOOD, S. N. **Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd Edition).** *Journal of Statistical Software*, [s.l.], v. 86, n° Book Review 1, p. 1–5, 2017. ISBN:

9781498728331, ISSN: 1548-7660, DOI: 10.18637/jss.v086.b01.

YIN, L. et al. **How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America?** *Climate Dynamics*, [s.l.], v. 41, n^o 11–12, p. 3127–3143, 2013. ISBN: 0930-7575 1432-0894, ISSN: 09307575, DOI: 10.1007/s00382-012-1582-y.

YUAN, F. L. et al. **Ecophysiological variation across a forest-ecotone gradient produces divergent climate change vulnerability within species.** *Ecography*, [s.l.], 2018. ISSN: 16000587, DOI: 10.1111/ecog.03427.

ZAJITSCHK, S. R. K. et al. **The effect of coloration and temperature on sprint performance in male and female wall lizards.** *Biological Journal of the Linnean Society*, [s.l.], v. 107, n^o 3, p. 573–582, 2012. ISSN: 00244066, DOI: 10.1111/j.1095-8312.2012.01963.x.

ZUUR, A. F.; IENO, E. N.; MEESTERS, E. H. W. G. **A Beginner's Guide to R.** [s.l.]: [s.n.], 2009. ISBN: 9780387938363.

AMAZÔNIA

CONTEXTUALIZAÇÃO

A Amazônia apresenta uma vastidão de ambientes bastante complexos, e abriga a biodiversidade terrestre mais rica do planeta (FEELEY; SILMAN; FRANKLIN, 2016), com mais de 450 espécies de répteis reconhecidas. O bioma cobre cerca de oito milhões de quilômetros quadrados ao longo de nove países da América do Sul, e possui cerca de 440 unidades de conservação, que ocupam aproximadamente 30% da sua área total (EVA et al., 2005; PRÜSSMANN; SUAREZ; GUEVARA, 2016). O maior percentual de área preservada está no Brasil (59%; PRÜSSMAN; SUAREZ; GUEVARA, 2016), que por sua vez apresenta o maior sistema de áreas protegidas no mundo (BERNARD; PENNA; ARAÚJO, 2014). Apesar disso, nos últimos anos direcionamentos políticos do governo brasileiro vem enfraquecendo esse sistema através de medidas provisórias e projetos de lei que visam permitir a exploração de recursos para explorar seu potencial econômico, principalmente dentro da Amazônia (AZEVEDO-SANTOS et al., 2017; BERNARD; PENNA; ARAÚJO, 2014). As perspectivas políticas atuais do país são ainda mais alarmantes, uma vez que o presidente eleito em 2018 ainda não emitiu propostas efetivas que suportem as questões ambientais (BOLSONARO, 2018; EDITORIAL, 2018).

A Amazônia apresenta uma grande heterogeneidade de habitats e climas, servindo como fonte de calor e umidade essencial para os trópicos (CHENG et al., 2013). Além disso, possui um papel vital na regulação do sistema climático global, apresentando impactos na variação da precipitação ao longo dos dois hemisférios (CHENG et al., 2013; WERTH, 2002). Devido à sua complexidade, a variabilidade climática e sua potencial influência na biodiversidade ainda é pouco compreendida, o que dificulta o entendimento da influência das mudanças climáticas no sistema (CHENG et al., 2013). Apesar disso, algumas tendências vêm sendo observadas, tais como a redução geral nas taxas de precipitação e o aumento da duração e intensidade de períodos mais secos, principalmente na região sudeste da Amazônia (FEELEY; REHM, 2012; FIELD et al., 2014; ZELAZOWSKI et al., 2011), o que levou à mudanças na composição das florestas (ESQUIVEL-MUELBERT et al., 2018).

Nas próximas seções, buscou-se mensurar a vulnerabilidade do bioma, através da definição da sua exposição à diferentes fatores climáticos e sensibilidade da vegetação, e da avaliação das perspectivas políticas do Brasil e suas possíveis consequências para a

conservação do bioma após as eleições presidenciais de 2018. Além disso, buscou-se ainda mensurar a vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas no bioma e avaliar o papel das unidades de conservação na sua preservação.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO-SANTOS, V. M. et al. **Removing the abyss between conservation science and policy decisions in Brazil.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 26, n° 7, p. 1745–1752, 2017. ISBN: 0960-3115, ISSN: 15729710, DOI: 10.1007/s10531-017-1316-x.

BERNARD, E.; PENNA, L. A. O.; ARAÚJO, E. **Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 28, n° 4, p. 939–950, 2014. ISBN: 1523-1739 (Electronic)r0888-8892 (Linking), ISSN: 15231739, DOI: 10.1111/cobi.12298.

BOLSONARO, J. **O Caminho Da Prosperidade: Proposta de Plano de Governo.** In: *Plano de Governo*. [s.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://divulgacandcontas.tse.jus.br/candidaturas/oficial/2018/BR/BR/2022802018/280000614517/proposta_1534284632231.pdf>.

CHENG, H. et al. **Climate change patterns in Amazonia and biodiversity.** *Nature communications*, [s.l.], v. 4, p. 1411, 2013. ISBN: 2041-1723, ISSN: 2041-1723, DOI: 10.1038/ncomms2415.

EDITORIAL. **Brazil's new president adds to global threat to science.** *Nature*, [s.l.], v. 563, p. 5–6, 2018.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. et al. **Compositional response of Amazon forests to climate change.** *Global Change Biology*, [s.l.], n° February, p. 1–19, 2018. ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.14413.

EVA, H. et al. **A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia.** [s.l.]: [s.n.], 2005. 1-52 p. ISBN: 9279000128, DOI: ISBN 9279000128.

FEELEY, K. J.; REHM, E. M. **Amazon's vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 18, n° 12, p. 3606–3614, 2012. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.12012.

FEELEY, K. J.; SILMAN, M. R.; FRANKLIN, J. **Disappearing climates will limit the efficacy of Amazonian protected areas.** *Diversity and Distributions*, [s.l.], v. 22, n° 11, p. 1081–1084, 2016. ISSN: 14724642, DOI: 10.1111/ddi.12475.

FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.

PRÜSSMANN J., SUAREZ C., GUEVARA O., V. A. **Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático.** [s.l.], p. 50, 2016.

WERTH, D. **The local and global effects of Amazon deforestation.** *Journal of Geophysical*

Research, [s.l.], v. 107, n° D20, p. 8087, 2002. ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1029/2001JD000717.

ZELAZOWSKI, P. et al. **Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet.** *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [s.l.], v. 369, n° 1934, p. 137–160, 2011. ISBN: 1364-503X, ISSN: 1364503X, DOI: 10.1098/rsta.2010.0238.

4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS, INSTABILIDADE POLÍTICA NO BRASIL E PERSPECTIVAS DA VULNERABILIDADE DA PAN-AMAZÔNIA

Manuscritos submetidos:

Diele-Viegas, L. M., and Rocha, C. F. D. Brazil's political instability and perspectives of Amazon vulnerability to climate change. *Em revisão(Science)*.

RESUMO

É previsto que a Amazônia será bastante afetada pelas mudanças climáticas, e as Unidades de Conservação (UCs) podem servir como boas estratégias para preservar o ambiente, uma vez que podem inibir o desmatamento e o avanço de incêndios naturais e servir como suporte para diferentes habitats e assembleias de espécies. O Brasil abriga cerca de 60% da Pan-Amazônia, o que representa mais de 4 milhões de quilômetros quadrados de floresta amazônica, das quais 59% está sob proteção de 257 UCs. Apesar disso, nos últimos anos o governo brasileiro vem enfraquecendo o sistema de UCs, e as perspectivas futuras são problemáticas uma vez que o mais novo presidente eleito não emitiu propostas efetivas para suportar as causas ambientais. Foi visto que o aumento na temperatura ambiental na Amazônia pode chegar a 9°C em algumas regiões, e a precipitação pode diminuir até 2000 mm. A combinação destas previsões com as perspectivas políticas do Brasil pode levar a um colapso iminente do ecossistema, com consequências drásticas para o sistema climático mundial.

Palavras-chave: Aquecimento global. Floresta Amazônica. Perspectivas políticas. Colapso do ecossistema.

ABSTRACT

Amazonia is predicted to be strongly affected by climate change, and protected areas (PAs) maybe useful conservation strategies, since it can inhibit the deforestation and fire advance and supports different habitats and species assemblages. Brazil hosts almost 60% of total Pan-Amazonia, which represents more than four million square kilometers of Amazon forest, of which 59% are under protection of 257 PAs. However, in the last years, Brazilian government has been weakening its PAs' system, and future perspectives are problematic because the newest president elected has not emitted effective purposes supporting environmental causes. It was showed that increases in environmental temperature may reach 9°C in some Pan-Amazonia regions and decreases in precipitation may reach up to 2000mm. Combining these predictions with Brazilian political perspectives may lead to an impending ecosystem collapse, with drastic consequences to World's climatic system.

Keywords: Global warming. Amazon forest. Political perspectives. Ecosystem collapse.

4.1 Introdução

A Amazônia abriga cerca de um quarto das espécies terrestres do mundo, e conta com cerca de 15% da fotossíntese terrestre global, sendo seus serviços ecossistêmicos de importância mundial (DIRZO; RAVEN, 2003). O bioma possui um papel primordial no estoque mundial de carbono, e, por conseguinte, na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas ao redor do mundo, uma vez que estoca cerca de metade do carbono das florestas tropicais (YANG et al., 2018).

Nos últimos anos, o bioma tem sido ameaçado principalmente pela extração inegal de madeira e pela expansão da agricultura e pecuária (SWANN et al., 2015), porém as previsões para o futuro indicam ainda uma ameaça iminente das mudanças climáticas (NOBRE et al., 2016). Isso pode levar a reduções nas taxas de precipitação e aumento da duração e intensidade das secas, especialmente na região sul da Amazônia, onde as interações das mudanças climáticas com o uso da terra são mais fortes (FEELEY; REHM, 2012; MALHI; WRIGHT, 2004). Estudos recentes previram uma diminuição do carbono acumulado na Amazônia no longo prazo devido ao aumento da taxa de mortalidade e da rotatividade de árvores (BRIENEN et al., 2015; YANG et al., 2018). Além disso, o aumento das secas pode reduzir a biomassa, a absorção de carbono e a produtividade primária (FELDPAUSCH et al., 2016). Alguns modelos sugerem que essas alterações podem induzir a substituição da floresta por uma área mais aberta e com vegetação degradada (SALAZAR; NOBRE, 2010). O desmatamento pode potencializar esses efeitos, aumentando as emissões de carbono e influenciando as condições climáticas em uma escala local, regional e global (LAURANCE et al., 2011; MALHI; WRIGHT, 2004; WERTH, 2002).

Áreas protegidas, como as unidades de conservação (UCs), apresentam de maneira geral um efeito inibidor no desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2010). Desta forma, podem ser bons indicadores para definir a capacidade adaptativa inerente a uma determinada área, sendo cruciais para a conservação deste ambiente e das espécies ali inseridas.

A Pan-Amazônia apresenta aproximadamente 30% da sua área dentro de UCs, sendo 59% destas no Brasil (PRÜSSMANN; SUAREZ; GUEVARA, 2016). A maioria das UCs da Amazônia brasileira foi criada após o fim da ditadura militar no Brasil, que durou de 1964 a 1985. O período da ditadura foi marcado pela visão de que a Amazônia seria um “grande vazio”, o que levou a uma dinâmica acelerada de desmatamento justificada pela necessidade

de progresso como uma forma de legitimar o estado (HECHT, 2011). Apesar disso, 25 das UCs da Amazônia foram criadas neste período, sendo 19 categorizadas como de proteção integral. No início dos anos 2000, o governo brasileiro estabeleceu um plano participativo de conservação sistemático, abrangendo todos os biomas do país (FONSECA; VENTICINQUE, 2018), e então 126 UCs foram criadas até o final de 2014. Conseqüentemente, as emissões de gases do efeito estufa foram reduzidas em 54% entre 2005 e 2012, principalmente pelo fato do desmatamento ter sido reduzido em 78% (ROCHEDO et al., 2018). Porém, após 2007, o governo passou a implementar algumas medidas provisórias que enfraqueceram o sistema de UCs do Brasil, alterando a categoria de unidades de proteção integral para uso sustentável, ou diminuindo a extensão em área das UCs, apesar das tentativas de especialistas de alertar acerca da importância destas áreas (e.g., SCARANO; GUIMARÃES; SILVA, 2012), sob a justificativa da necessidade de gerar e transmitir energia ou explorar o potencial econômico da Amazônia (AZEVEDO-SANTOS et al., 2017; BERNARD; PENNA; ARAÚJO, 2014).

Apesar da maioria da porção brasileira do bioma estar atualmente sob proteção, as previsões de uso da terra para 2050 indicam que a expansão da agricultura eliminará 40% das florestas dentro destas áreas e até 85% fora delas, em um cenário que assume que as tendências de desmatamento atuais irão se manter e não serão criadas novas áreas de proteção ambiental (SWANN et al., 2015; SOARES-FILHO et al., 2006). O sistema, por si só, está alcançando um ponto de inflexão para virar um ecossistema desmatado, com características de savana, o que pode levar a consequências catastróficas para os ciclos climáticos e hidrológicos mundiais (LOVEJOY; NOBRE, 2018; MAGNUSSON et al., 2018). Isso é um reflexo das medidas implementadas pelos tomadores de decisão em resposta a circunstâncias políticas e econômicas nacionais e internacionais (SCARANO et al., 2018; PERZ; ARAMBURÚ; BREMNER, 2005).

Baseado em um cenário de emissões de gases do efeito estufa (a partir daqui uso a sigla EGEE) equivalente ao RCP 6.0, diversas ecoregiões da Amazônia são passíveis de perder as condições climáticas atuais, aumentando a vulnerabilidade de qualquer população biológica que seja especializada nessa condição (FEELEY; REHM, 2012). Apesar dessa previsão ser alarmante, ela pode ainda estar subestimada, uma vez que é baseada apenas em poucos fatores climáticos e em um cenário otimista de EGEE, além de não considerar a posição do governo brasileiro em relação às questões ambientais. Desta forma, a presente seção visa avaliar a vulnerabilidade da Pan-Amazônia frente às mudanças climáticas com base na interação entre a magnitude e a frequência das mudanças no clima aos quais o bioma é exposto, sua sensibilidade à exposição que sofre e a sua capacidade em manter sua estrutura, composição e

funcionamento na presença dessas mudanças(DAWSON et al., 2011; OFORI et al., 2017; SMALL–LORENZ et al., 2013).Desta forma, buscou-se mensurar a sua exposição a diversos fatores climáticos e bioclimáticos, considerando dois cenários de EGEE em dois períodos temporais. Além disso, busca-se avaliar a sensibilidade da produtividade da vegetação da floresta amazônica, baseada em SEDDON et al. (2016),que relacionam a variação da produtividade com a variação de diversos fatores climáticos. Por fim, buscou-se discutir a potencial resiliência do bioma às mudanças climáticas considerando as suas unidades de conservação e avaliar as possíveis consequências das atuais perspectivas políticas do Brasil para a conservação amazônica.

4.2 Materiais e Métodos

Todas as análises foram feitas em ambiente R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). As tendências climáticas da Pan-Amazônia foram caracterizadas com base nos rasters de previsões para precipitação mensal (Prec), temperatura mensal mínima e máxima (Tmin e Tmax), e outras 19 variáveis bioclimáticas obtidos através da base de dados do WorldClim (HIJMANS et al., 2005). Foram utilizados três modelos de circulação global (GCMs) para as avaliações do bioma (HADGEM2-ES = HE, MIROC-ESM = MRe MPI-ESM-LR = MP) devido a sua boa performance para mensurar camadas climáticas na América do sul (ANAV et al., 2013; WATANABE et al., 2011; YIN et al., 2013), em uma resolução de 2.5 minutos.

O clima atual foi caracterizado através da interpolação de dados das estações meteorológicas ao redor do mundo, considerando o período de 1950 a 2000, feita por HIJMANS et al. (2005). As previsões futuras foram feitas para o período de 2060 a 2080, referido como 2070 (VUUREN et al., 2014). Foi utilizado o modelo representativo de EGEE (*Representative Concentration Pathways*, RCPs) que assume um cenário de emissão realista, ou +8.5 W/m² (RCP 8.5), onde prevê-se que não haverá uma redução nas emissões atuais (VUUREN et al., 2011, 2014). Os limites geográficos do bioma Amazônico e suas UCs foram baixados da plataforma *Geovisor of Conservation Opportunities in the Amazon Biome under Climate Change Considerations* (2017).

Para definir a exposição do bioma e suas áreas de proteção, mensurou-se a diferença entre os valores previstos e os valores atuais dos fatores climáticos avaliados para cada GCM, dentro dos limites geográficos considerados, através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015). Para avaliar se os modelos climáticos diferem entre si, foram feitos testes de análise de variância (ANOVA), e, quando significativo, testes Tukey HSD para definir a menor diferença entre as variáveis.

Para determinar a sensibilidade da produtividade da floresta Amazônica, utilizou-se o índice de sensibilidade da vegetação desenvolvido por SEDDON et al. (2016), que compara independentemente a variação relativa da produtividade da vegetação com a variação relativa da temperatura do ar, disponibilidade de recursos hídricos e cobertura de nuvens para cada 5 km² de grade para os meses em que a evapotranspiração foi tida como relacionada. Por fim, foi calculada a média da sensibilidade do bioma e suas UCs utilizando os pacotes raster e rgdal. A capacidade de resiliência da Pan-Amazônia foi quantificada com base na extensão do bioma que se encontra dentro de áreas protegidas (SOARES-FILHO et al., 2010). Em seguida,

foi discutido de que maneira o grau de influência humana nas diferentes categorias de áreas protegidas definidas pela IUCN (*International Union for Conservation of Nature*; PHILLIPS, 2006) poderia influenciar na sua capacidade adaptativa.

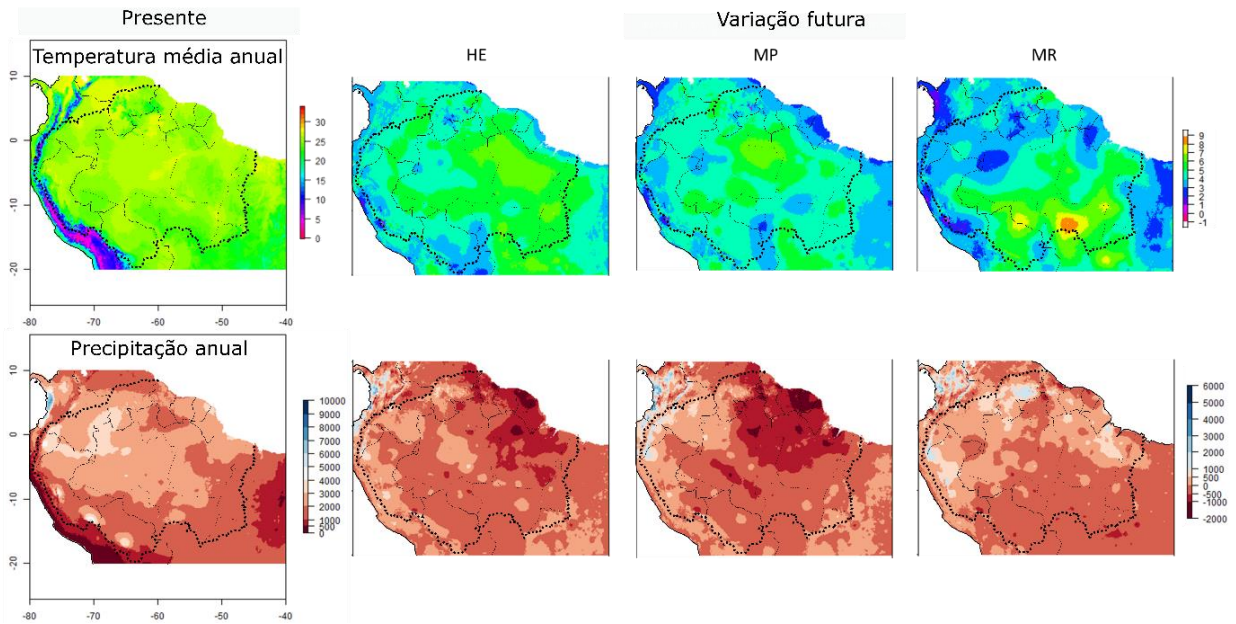
4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Mudanças climáticas

As previsões indicaram um aumento na temperatura média anual variando de 2°C a 9°C até 2070 ao longo da extensão da Pan-Amazônia (Figura 1). O bioma estará exposto a um aumento médio de 4.6°C a 5°C, considerando os três modelos avaliados. HE e MP apresentam padrões similares de variação na temperatura em todo o bioma, com a porção brasileira da Amazônia alcançando a maior variação na temperatura (Até 7°C no estado do Pará, para HE, e na região Noroeste do estado do Amazonas, para MP; Figura 1). O modelo MR teve a maior heterogeneidade ao longo do bioma. Para alguns pontos, como na região ocidental da Amazônia, foi previsto um aumento de 2°C-3°C, enquanto na região do extremo-sul do bioma, no Ecótono Amazônia-Cerrado, foi previsto um aumento de 8°C-9°C (Figura 1). Estes resultados indicam um aumento de aproximadamente 2.5°C em relação às previsões anteriores realizadas em um cenário otimista de EGEE (FEELEY; REHM, 2012).

Para a precipitação anual do bioma, foi prevista uma diminuição média de 12.8% no modelo MP (= -295,1 mm) e 10.2% no modelo HE (= -233,6 mm), enquanto para o modelo MR foi previsto um aumento médio de 2.9% (= +67,7 mm). Novamente, os modelos HE e MP apresentaram uma variação similar, alcançando uma diminuição máxima de 2000 mm na região norte da Amazônia, principalmente nas Guianas, Suriname e estado do Amapá, e de 1000 mm na região adjacente a essa (Figura 23). Para o modelo MR, neste mesmo local foi prevista uma diminuição de 500 mm de precipitação, porém um aumento de 500 mm na região adjacente (Figura 23). Apesar destas diferenças, para todos os três modelos foi previsto que a região Sul e Sudeste do bioma se torne ao menos 500 mm mais seca. Essa consistência entre os modelos concordou parcialmente com estudos anteriores, onde prevê-se que a região sul da Amazônia estaria mais exposta à diminuição na precipitação anual devido às interações entre mudanças climáticas e uso da terra (FEELEY; REHM, 2012; MALHI; WRIGHT, 2004; ZELAZOWSKI et al., 2011), apesar das previsões na região norte do bioma para os modelos HE e MP mostrarem o oposto.

Figura 23 – Variação na média anual de temperatura e precipitação anual na Pan-Amazônia.



Legenda: Medidas de temperatura em °C e precipitação em milímetros. HE = HADGEM2-ES, MP = MPI-ESM-LR e MR = MIROC-ESM; modelos de circulação global.

Todas as demais variáveis de temperatura mostraram variações extremas para todos os modelos testados. Foi prevista uma diminuição na isothermalidade, indicando que a oscilação da temperatura diurna irá diminuir em relação à oscilação de temperatura anual. Considerando as demais variáveis de precipitação, março, o mês mais úmido, tenderá a ficar ainda mais úmido, e agosto, o mês mais seco, tenderá a ficar ainda mais seco. Além disso, foi previsto que o período mais quente do ano, que compreende os meses de julho a setembro, ficaria mais seco, ao passo que o período mais frio, de abril a junho, ficaria mais úmido (Tabela 8).

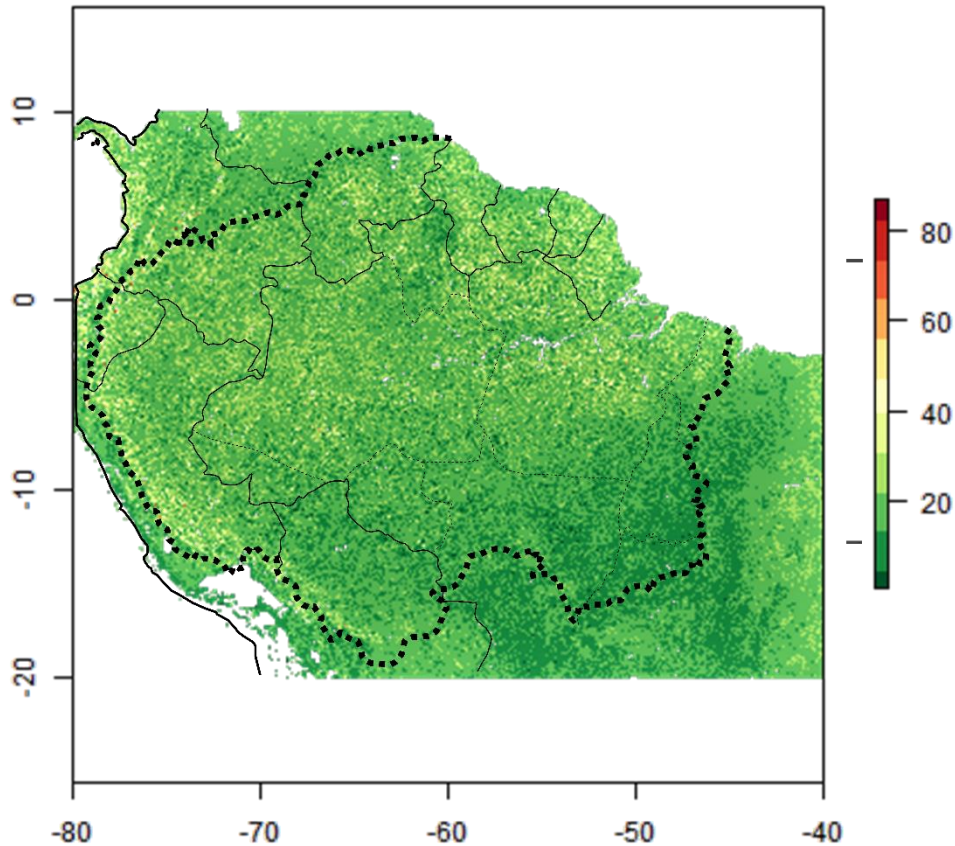
Tabela 8 - Exposição dos fatores climáticos na Pan-Amazônia.

Fator climático	HE	MP	MR
Temperatura média anual	+ 5.02°C	+ 4.60°C	+ 4.56°C
Varição média diurna	+ 0.37°C	+ 0.13°C	+ 0.96°C
Isotermalidade	-0.92%	-0.41%	-0.44%
Sazonalidade da Temperatura	65.91%	37.36%	55.22%
Máxima temperatura do mês mais quente	+ 6.87°C	+ 5.25°C	+ 6.31°C
Mínima temperatura do mês mais frio	+ 4.59°C	+ 4.41°C	+ 4.21°C
Varição da temperatura anual	+ 2.28°C	+ 0.84°C	+ 2.10°C
Média da temperatura do período mais úmido	+ 4.37°C	+ 4.33°C	+ 3.76°C
Média da temperatura do período mais seco	+ 5.72°C	+ 4.82°C	+ 5.49°C
Média da temperatura do período mais quente	+ 6.11°C	+ 5.19°C	+ 5.45°C
Média da temperatura do período mais frio	+ 4.48°C	+ 4.36°C	+ 4.06°C
Precipitação anual	-233.66 mm	-295.15 mm	+ 67.68 mm
Precipitação do mês mais úmido	+ 3.05 mm	+ 16.47 mm	+ 29.00 mm
Precipitação do mês mais seco	-13.18 mm	-24.67 mm	-1.90 mm
Sazonalidade da Precipitação	8.92%	14.13%	3.34%
Precipitação do período mais úmido	-32.86 mm	-23.85 mm	+ 53.31 mm
Precipitação do período mais seco	-39.16 mm	-59.99 mm	+ 8.98 mm
Precipitação do período mais quente	-119.81 mm	-51.63 mm	-67.84 mm
Precipitação do período mais frio	+ 70.95 mm	+ 44.17 mm	+ 268.88 mm
Temperatura mínima mensal	+ 6.88°C (Outubro)	+ 5.67°C (Outubro)	+ 6.23°C (Agosto)
Temperatura máxima mensal	+ 5.78°C (Outubro)	+ 5.26°C (Outubro)	+ 4.98°C (Setembro)
Precipitação mensal	-40.66 mm (Outubro)	- 58.78 mm (Fevereiro)	+32.15 mm (Maio)

Legenda: Exposição = variação entre as previsões futuras e os valores do presente. Previsões feitas para o ano de 2070, em um cenário realista de emissão de gases do efeito estufa. O mês com maior variação de precipitação, temperatura máxima e mínima está entre parênteses.

A média da sensibilidade estimada da vegetação do bioma foi baixa (19,69), porém a variação foi de 0,87 a 85,79 em todo o bioma, e na maior parte dele variou de 20 a 50 (Figura 24). Os valores mais baixos de sensibilidade estariam na região sul da Amazônia, também conhecida como o Arco do Desmatamento no Brasil, onde o uso exacerbado da terra pela agricultura e pecuária é a maior ameaça às florestas (NAHUR et al., 2012). Desta forma, a alta sensibilidade pode estar relacionada à redução da troca de gases feitas pelas árvores em ambientes mais quentes, uma vez que está associado às taxas de crescimento das florestas (SEDDON et al., 2016).

Figura 24 – Sensibilidade da produtividade da vegetação da Pan-Amazônia.



Legenda: Baseado no índice de sensibilidade desenvolvido por SEDDON et al. (2016). O gradiente varia do verde (pouco sensível) para o vermelho (muito sensível).

As UCs com enfoque em conservação de características naturais (Monumentos Naturais, Santuários e Zonas Reservadas) tiveram a maior exposição à temperatura média anual em relação às demais categorias, apresentando uma variação média de 25,41% (Tabela 9). Além disso, tiveram a menor exposição à precipitação anual, com uma variação média de 13,02% (Tabela 9). Já as UCs menos expostas à variação da temperatura média anual foram aquelas com enfoque na conservação por gestão ativa (Áreas de Uso de Recursos, Florestas Nacionais e Estaduais, Reservas Extrativistas e de Desenvolvimento Sustentável, entre outras) apresentando uma variação média de 18,01%. Estas também foram as UCs com maior exposição à precipitação anual em relação às demais, com variação média de 19,15% (Tabela 9). As UCs que apresentaram a vegetação menos sensível foram as regiões selvagens (Reservas Biológicas e de Vida Silvestre), com média de sensibilidade de 16,65%, e as mais sensíveis foram as com enfoque em conservação de características naturais, com média de

sensibilidade de 22,62% (Tabela 9). A exposição e sensibilidade de todas as UCs avaliadas estão descritas na Tabela S5.

Cerca de 30% da área total da Pan-Amazônia encontra-se dentro de áreas protegidas. As áreas de proteção são importantes para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, através do sequestro de carbono e armazenamento do mesmo como biomassa e no solo (CAMPBELL et al., 2008; GROSS et al., 2015). Considerando que as áreas protegidas são uma das mais ricas regiões de estoque de carbono, a gestão ativa destas áreas será necessária para preservar seu papel na mitigação das mudanças climáticas (GROSS et al., 2015). Desta forma, a identificação de como as UCs serão afetadas pelas mudanças climáticas é crucial para determinar a melhor estratégia para os gestores destas áreas. Unidades de Conservação com enfoque na conservação por gestão ativa tem alta influência humana, devido ao uso sustentável dos seus recursos naturais (PHILLIPS, 2006). Apesar disso, elas foram as UCs que em média apresentaram menor exposição às variações climáticas para o bioma. Desta forma, pode ser interessante buscar estratégias para otimizar o sequestro de carbono nas áreas menos expostas, como a expansão da área ocupada pelas UCs e a criação de corredores ecológicos entre estas visando a proteção das áreas pouco impactadas pelas mudanças climáticas (MAWDSLEY; O'MALLEY; OJIMA, 2009).

Tabela 9– Exposição e sensibilidade da vegetação da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (continua)

Fator climático	Modelo	Amazônia	Ia [38]	Ib [4]	II [96]	III [12]	IV [47]	V [55]	VI [186]
Temperatura média anual	HE	19.63%	20.25%	17.89%	21.13%	27.75%	18.07%	19.28%	19.65%
	MP	18.02%	18.73%	17.22%	20.35%	27.40%	17.08%	18.37%	18.33%
	MR	17.85%	19.03%	21.00%	19.71%	21.07%	18.87%	18.26%	18.36%
Variação média diurna	HE	3.57%	3.69%	5.88%	2.87%	1.70%	5.55%	4.41%	3.91%
	MP	1.21%	1.62%	1.50%	2.35%	2.49%	2.50%	1.87%	1.54%
	MR	9.18%	11.55%	15.24%	10.08%	7.60%	9.89%	10.76%	11.07%
Isotermalidade	HE	-11.72%	11.05%	12.51%	8.57%	5.73%	9.12%	11.76%	10.76%
	MP	-5.14%	5.70%	7.18%	6.26%	5.41%	4.99%	6.51%	5.62%
	MR	-5.61%	7.44%	2.65%	5.11%	2.51%	4.32%	8.54%	7.41%
Sazonalidade da Temperatura	HE	118.60%	154.37%	80.64%	106.34%	39.15%	70.59%	134.77%	148.46%
	MP	67.22%	78.57%	50.61%	66.73%	43.21%	36.15%	54.31%	80.65%
	MR	99.37%	162.84%	64.94%	98.15%	19.34%	63.42%	128.95%	161.49%
Máxima temperatura do mês mais quente	HE	21.26%	21.31%	19.94%	20.20%	19.14%	18.25%	20.52%	20.89%
	MP	16.25%	16.57%	16.46%	17.73%	18.81%	14.36%	16.13%	16.14%
	MR	19.54%	20.83%	22.50%	18.72%	14.32%	18.02%	19.80%	20.58%
Mínima temperatura do mês mais frio	HE	24.20%	26.49%	20.12%	30.10%	59.44%	22.09%	57.96%	25.96%
	MP	23.23%	26.53%	23.29%	29.53%	62.48%	21.19%	62.49%	26.12%
	MR	22.17%	25.49%	27.35%	28.10%	49.85%	23.50%	49.37%	25.18%
Variação da temperatura anual	HE	17.08%	16.87%	21.10%	12.72%	7.74%	16.51%	18.78%	16.63%
	MP	6.30%	6.78%	8.48%	8.47%	7.55%	7.50%	7.78%	6.51%
	MR	15.80%	18.29%	18.17%	13.17%	7.06%	13.81%	19.70%	17.77%
Média da temperatura do período mais úmido	HE	17.21%	18.05%	15.54%	19.05%	25.09%	15.96%	17.06%	17.51%
	MP	17.05%	18.32%	15.38%	19.18%	24.11%	17.34%	17.85%	17.66%
	MR	14.83%	15.33%	17.53%	17.69%	19.84%	16.60%	15.36%	14.37%

Tabela 2– Exposição e sensibilidade da vegetação da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (continuação)

Média da temperatura do período mais seco	HE	22.52%	22.68%	22.18%	24.01%	34.60%	20.91%	22.58%	21.84%
	MP	18.97%	20.01%	18.83%	21.53%	34.87%	17.71%	19.35%	19.43%
	MR	21.60%	23.42%	27.43%	22.64%	24.57%	22.64%	21.94%	23.10%
Média da temperatura do período mais quente	HE	23.37%	24.15%	21.18%	23.65%	26.95%	19.99%	22.20%	23.58%
	MP	19.86%	20.76%	19.46%	21.70%	26.29%	17.60%	19.25%	20.20%
	MR	20.85%	22.71%	22.35%	21.37%	19.73%	19.65%	20.84%	22.04%
Média da temperatura do período mais frio	HE	18.07%	18.89%	17.17%	20.77%	33.49%	18.08%	17.94%	18.35%
	MP	17.58%	19.11%	16.84%	20.69%	33.59%	17.20%	18.80%	18.21%
	MR	16.39%	17.04%	21.65%	19.71%	24.77%	19.86%	17.10%	15.96%
Precipitação anual	HE	-10.17%	12.45%	16.80%	10.29%	10.29%	20.33%	14.62%	13.52%
	MP	-12.84%	21.15%	16.67%	19.41%	13.15%	25.20%	18.09%	20.42%
	MR	2.95%	8.12%	11.02%	9.77%	15.63%	11.91%	9.41%	8.64%
Precipitação do mês mais úmido	HE	0.92%	10.58%	6.62%	11.50%	17.19%	8.24%	10.50%	10.34%
	MP	4.97%	18.32%	13.17%	24.30%	25.55%	21.13%	14.00%	16.33%
	MR	8.75%	15.74%	15.67%	16.90%	37.57%	19.89%	20.51%	15.00%
Precipitação do mês mais seco	HE	-19.47%	24.05%	37.04%	22.46%	16.06%	45.90%	32.19%	23.82%
	MP	-36.45%	24.11%	25.49%	24.07%	30.04%	34.79%	30.61%	24.99%
	MR	-2.81%	17.76%	23.58%	27.15%	30.01%	35.06%	25.84%	14.73%
Sazonalidade da Precipitação	HE	18.05%	14.82%	37.30%	20.71%	18.69%	49.56%	20.06%	15.79%
	MP	28.58%	27.91%	21.45%	34.99%	42.18%	33.59%	27.47%	26.27%
	MR	6.75%	21.95%	18.91%	23.65%	59.48%	33.26%	25.46%	21.44%
Precipitação do período mais úmido	HE	-3.57%	10.95%	8.61%	10.29%	14.78%	9.08%	10.88%	11.17%
	MP	-2.59%	20.73%	17.58%	23.79%	18.46%	25.03%	18.03%	19.20%
	MR	5.79%	13.55%	12.46%	13.83%	24.81%	15.81%	17.70%	12.47%

Tabela 2– Exposição e sensibilidade da vegetação da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (conclusão)

Precipitação do período mais seco	HE	-16.29%	22.77%	33.99%	20.11%	13.16%	40.07%	28.33%	23.19%
	MP	-24.95%	21.40%	29.97%	22.33%	25.43%	28.38%	24.52%	21.90%
	MR	3.73%	17.94%	21.73%	23.93%	26.79%	29.71%	22.07%	16.84%
Precipitação do período mais quente	HE	-28.13%	27.47%	44.38%	25.46%	18.14%	39.48%	33.15%	27.49%
	MP	-12.12%	50.79%	31.21%	32.40%	20.94%	32.80%	50.11%	49.76%
	MR	-15.93%	31.82%	32.31%	29.03%	17.66%	29.72%	29.30%	32.27%
Precipitação do período mais frio	HE	12.04%	69.12%	16.72%	79.20%	30.67%	64.49%	16.50%	66.56%
	MP	7.50%	143.86%	139.87%	102.94%	67.49%	37.89%	36.59%	168.88%
	MR	45.64%	186.22%	108.59%	126.86%	42.50%	78.69%	54.88%	201.12%
Temperatura máxima anual	HE	16.80%	17.08%	15.59%	17.17%	18.46%	15.40%	16.50%	16.72%
	MP	15.09%	15.77%	14.25%	16.43%	17.97%	14.05%	15.21%	15.22%
	MR	16.28%	17.22%	19.87%	16.91%	13.78%	16.82%	16.55%	16.54%
Temperatura mínima anual	HE	23.65%	23.37%	21.99%	24.80%	32.25%	21.54%	28.20%	22.97%
	MP	22.24%	23.60%	21.70%	25.26%	31.88%	22.81%	30.48%	23.28%
	MR	20.02%	20.30%	21.86%	21.45%	27.33%	21.99%	25.39%	20.20%
Precipitação média anual	HE	-10.95%	-12.95%	-20.62%	-7.55%	5.38%	-23.59%	-14.65%	-13.60%
	MP	-13.45%	-14.31%	-21.23%	-7.29%	2.69%	-22.17%	-15.56%	-16.31%
	MR	1.00%	-0.42%	-10.17%	3.58%	16.37%	-4.05%	-0.66%	0.41%
Sensibilidade da Vegetação	-	19.69%	19.68%	16.65%	20.86%	22.62%	19.40%	18.41%	20.03%

Legenda: Variação percentual dos fatores climáticos previstos em relação ao presente, considerando o cenário realista de emissões de gases do efeito estufa. HE = HADGEM2-ES, MP = MPI-ESM-LR e MR = MIROC-ESM; modelos de circulação global. Ia = Reservas Naturais Estritas, Ib = Regiões Selvagens, II = Proteção e Conservação de Ecossistemas, III = Conservação de Características Naturais, IV = Conservação por Gestão Ativa, V = Conservação de Paisagens e Recreação, VI = Uso Sustentável de Recursos Naturais, de acordo com a IUCN (PHILIPS, 2006). Número de territórios analisados entre colchetes.

4.3.2 Perspectivas políticas no Brasil: de mal a pior, se as ações não forem revertidas

Se as previsões relacionadas à influência das mudanças climáticas na Amazônia já são alarmantes, quando se considera a perspectiva política do Brasil isso se torna ainda pior. Em 2016, o governo brasileiro alterou a constituição para congelar os investimentos públicos em diferentes áreas, incluindo ciência, proteção da biodiversidade, tecnologia, inovação, educação e saúde pelos próximos 20 anos (LIVINGSTONE; SOARES; TRANSLATOR, 2016). Além disso, diversas leis ameaçando a conservação da biodiversidade foram recentemente propostas ou alteradas, tais como uma que prevê a supressão da vegetação nativa em áreas ao redor de cursos de água, propostas por políticos associados ao setor de agronegócio, conhecidos como “Bancada Ruralista”(MAGNUSSON et al., 2018).

Esse cenário deve ser fortemente revertido pelo novo presidente eleito no Brasil, de modo a incluir em seu plano de governo propostas que efetivamente beneficiem o meio ambiente (BOLSONARO, 2018). Após ser eleito, em Outubro de 2018, ele segue emitindo intenções de otimizar o setor agropecuário em detrimento da agenda ambiental, argumentando acerca da importância de se acabar com as disputas entre os ministérios da Agricultura e do Meio Ambiente e facilitar a gestão do espaço rural pelos agricultores (BOLSONARO, 2018). Sua primeira consideração foi fundir os dois ministérios, porém após diversas críticas ele voltou atrás e decidiu mantê-los separados. Apesar desta decisão, um de seus primeiros atos como presidente, em 01 de janeiro de 2019, foi atribuir as florestas públicas (e.g., reservas naturais legais), bem como a demarcação das terras indígenas, ao Ministério da Agricultura, retirando assim os mesmos da agenda do Ministério do Meio Ambiente e da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), respectivamente (BRASIL, 2019). Além disso, a ministra da Agricultura nomeada, líder da bancada ruralista, afirma acreditar que a sinergia entre os ministérios deve beneficiar ambos os lados, o que parece improvável, considerando que o Ministério do Meio Ambiente gerencia o ambiente e o Ministério da Agricultura é um usuário do ambiente. O primeiro, como gestor, fornece as licenças ambientais, e o segundo, como usuário, precisa solicitar tais licenças para utilizar o ambiente. Considerar uma sinergia focando nos interesses do usuário (a.k.a., agricultores) pode representar um retrocesso catastrófico na conservação ambiental, uma vez que um aumento nas taxas de desmatamento devido à expansão da agricultura poderia acelerar a mudança da floresta amazônica para um ecossistema não florestal, levando a alterações nos regimes de chuva e aumentando os efeitos negativos das mudanças no clima (LOVEJOY; NOBRE, 2018; MAGNUSSON et al., 2018). Além disso, outra proposta do novo presidente eleito seria aumentar as fronteiras agrícolas, flexibilizando a legislação que regula a exploração econômica em áreas de

proteção, considerando que, segundo ele, as áreas de proteção atrapalham o desenvolvimento. No entanto, além dos dados terem apontado exatamente para a importância das UCs na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, é sabido que o Brasil não necessita desmatar mais áreas para aumentar sua produção agrícola, uma vez que já existem áreas desmatadas suficientes para suportar essa expansão (MARTINELLI et al., 2010). As ações devem ir em direção a otimizar o uso da terra pela agricultura, de modo a aumentar a produtividade por hectare, o que já vem sendo feito em diferentes países (EWERT et al., 2005; TILMAN et al., 2002). Se a ideia de fazer os dois ministérios trabalharem juntos, uma ideia mais lógica e plausível seria exatamente o oposto do que foi proposto: absorver o órgão usuário do ambiente (Agricultura) no corpo que gerencia o ambiente (Ministério do Meio Ambiente).

Outra questão preocupante foi que o novo presidente eleito também demonstrou a intenção de retirar o Brasil do Acordo de Paris em relação às emissões de gases do efeito estufa (<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>), afirmando que o acordo prejudica a soberania do país e o mesmo seria ruim para os negócios, especialmente para o agronegócio. Além disso, seu indicado para ministro das relações internacionais declarou não apoiar as ciências climáticas e as pesquisas em mudanças climáticas, o que reforça as perspectivas de saída do acordo (WATTS, 2018). O Brasil é um dos maiores emissores de gases do efeito estufa, e, sem o comprometimento com o acordo, todos os esforços para evitar o desmatamento e diminuir as emissões feitos até agora seriam perdidos.

4.4 Conclusões

Os efeitos combinados das mudanças climáticas e as perspectivas políticas do Brasil podem levar a perdas irreversíveis em sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos, o que pode indicar um colapso iminente do ecossistema e consequentes implicações drásticas para a produtividade agrícola e manutenção humana. A redução do desmatamento dentro e fora das áreas protegidas pode ajudar a amenizar os efeitos das mudanças climáticas, aumentando as taxas de sequestro de carbono (GROSS et al., 2015). É importante também compreender o papel das unidades de conservação na redução da vulnerabilidade dos organismos devido às mudanças climáticas. Desta forma, os resultados obtidos aqui podem fornecer uma melhor fundamentação para os gestores das unidades buscarem estratégias para otimizar o sequestro de carbono nas áreas menos expostas. O detalhamento de tais sugestões e recomendações para os gestores está apresentada na seção 8.

A Floresta Amazônica tem um papel central na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em todo o mundo, portanto sua conservação deve ser prioridade para o governo do Brasil que iniciou em janeiro de 2019. Apesar das perspectivas serem preocupantes, a maioria das propostas do novo presidente eleito são ainda passíveis de serem revistas e revertidas, contribuindo para impedir que os cenários preditos ocorram. Além disso, a emenda constitucional que congela os investimentos públicos deve também ser revertida, e novas políticas públicas de conservação do ambiente devem ser implementadas. Caso contrário, o bioma amazônico, e todo o sistema climático global, estará em perigo.

4.5 Referências

ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.

AZEVEDO-SANTOS, V. M. et al. **Removing the abyss between conservation science and policy decisions in Brazil.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 26, n° 7, p. 1745–1752, 2017. ISBN: 0960-3115, ISSN: 15729710, DOI: 10.1007/s10531-017-1316-x.

BERNARD, E.; PENNA, L. A. O.; ARAÚJO, E. **Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 28, n° 4, p. 939–950, 2014. ISBN: 1523-1739 (Electronic)r0888-8892 (Linking), ISSN: 15231739, DOI: 10.1111/cobi.12298.

BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.

BOLSONARO, J. **O Caminho Da Prosperidade: Proposta de Plano de Governo.** In: *Plano de Governo*. [s.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://divulgacandcontas.tse.jus.br/candidaturas/oficial/2018/BR/BR/2022802018/280000614517/proposta_1534284632231.pdf>.

BRASIL. **Medida provisória nº 870, de 1º de janeiro de 2019.** *Diário Oficial da União*. Brasília, Distrito Federal: [s.n.], 2019. 23 p.

BRIENEN, R. J. W. et al. **Long-term decline of the Amazon carbon sink.** *Nature*, [s.l.], v. 519, n° 7543, p. 344–348, 2015. ISBN: doi:10.1038/nature14283, ISSN: 14764687, DOI: 10.1038/nature14283.

CAMPBELL, A. et al. **Carbon Storage in Protected Areas – Technical Report.** [s.l.]: [s.n.], 2008. ISBN: 9780735409606, DOI: 10.1063/1.3643567.

DIRZO, R.; RAVEN, P. H. **Global State of Biodiversity and Loss.** *Annual Review of Environment and Resources*, [s.l.], v. 28, n° 1, p. 137–167, 2003. ISBN: 0199-9885 (Print)r0199-9885 (Linking), ISSN: 1543-5938, DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105532.

EWERT, F. et al. **Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity.** *Agriculture, Ecosystems and Environment*, [s.l.], v. 107, n° 2–3, p. 101–116, 2005. ISBN: 0167-8809, ISSN: 01678809, DOI: 10.1016/j.agee.2004.12.003.

FEELEY, K. J.; REHM, E. M. **Amazon’s vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 18, n° 12, p. 3606–3614, 2012. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.12012.

FELDPAUSCH, T. R. et al. **Amazon forest response to repeated droughts.** *Global Biogeochemical Cycles*, [s.l.], v. 30, n° 7, p. 964–982, 2016. ISBN: 1944-9224, ISSN: 19449224, DOI: 10.1002/2015GB005133.Received.

FONSECA, C. R.; VENTICINQUE, E. M. **Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning.** *Perspectives in Ecology and Conservation*, [s.l.], v. 16, n° 2, p. 61–67, 2018. ISSN: 25300644, DOI: 10.1016/j.pecon.2018.03.001.

GROSS, J. et al. **Responding to Climate Change: Guidance for protected area managers and planers.** [s.l.]: [s.n.], 2015. 110 p. ISBN: 9782831718347.

HECHT, S. B. **The new Amazon geographies: Insurgent citizenship, “Amazon Nation” and the politics of environmentalisms.** *Journal of Cultural Geography*, [s.l.], v. 28, n° 1, p. 203–223, 2011. ISBN: 0887-3631, ISSN: 08873631, DOI: 10.1080/08873631.2011.548500.

HIJMANS, J. R. et al. **Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.** *International Journal of Climatology*, [s.l.], v. 25, n° 15, p. 1965–1978, 2005. ISBN: 1097-0088, ISSN: 08998418, DOI: 10.1002/joc.1276.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.** *R package version 2.6-7.*, [s.l.], 2017.

LAURANCE, W. F. et al. **Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 144, n° 1, p. 548–557, 2011. ISBN: 0006-3207, ISSN: 00063207, DOI: 10.1016/j.biocon.2010.10.010.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. **Amazon Tipping Point.** *Science Advances*, [s.l.], v. 4, n° 2, p. eaat2340, 2018. ISBN: 2375-2548, ISSN: 23752548, DOI: 10.1126/sciadv.aat2340.

MAGNUSSON, W. E. et al. **Effects of Brazil’s Political Crisis on the Science Needed for Biodiversity Conservation.** *Frontiers in Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 6, n° October, p. 1–5, 2018. ISSN: 2296-701X, DOI: 10.3389/fevo.2018.00163.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. **Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 359, n° 1443, p. 311–329, 2004. ISBN: 0962-8436, ISSN: 09628436, DOI: 10.1098/rstb.2003.1433.

MARTINELLI, L. A. et al. **A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária.** *Biota Neotropica*, [s.l.], v. 10, n° 4, p. 323–330, 2010. ISBN: 1000040003, ISSN: 1676-0603, DOI: 10.1590/S1676-06032010000400036.

MAWDSLEY, J. R.; O’MALLEY, R.; OJIMA, D. S. **A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 23, n° 5, p. 1080–1089, 2009. ISBN: 1523-1739 (Electronic)n0888-8892 (Linking), ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x.

NAHUR, A. et al. **Desmatamento e mudanças climáticas.** In: IN VAZQUES, R.; GONÇALVEZ, M. (Orgs.). *ARPA: Programa Áreas Protegidas da Amazônia – Um novo caminho para a conservação da Amazônia.* [s.l.]: [s.n.], 2012.

NOBRE, C. A. et al. **Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a**

novel sustainable development paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [s.l.], v. 113, n° 39, p. 10759–10768, 2016. ISBN: 1091-6490 (Electronic)0027-8424 (Linking), ISSN: 1091-6490, DOI: 10.1073/pnas.1605516113.

PERZ, S. G.; ARAMBURÚ, C.; BREMNER, J. **Population, land use and deforestation in the Pan Amazon Basin: A comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú and Venezuela.** *Environment, Development and Sustainability*, [s.l.], v. 7, n° 1, p. 23–49, 2005. ISBN: 1387-585X, ISSN: 1387585X, DOI: 10.1007/s10668-003-6977-9.

PHILLIPS, N. D. and A. **Guidance on the use of the IUCN protected area management categories.** [s.l.]: [s.n.], 2006. 58 p. ISBN: 9782831708287.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

ROCHEDO, P. R. R. et al. **The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 8, n° 8, p. 695–698, 2018. ISSN: 17586798, DOI: 10.1038/s41558-018-0213-y.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A. **Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia.** *Geophysical Research Letters*, [s.l.], v. 37, n° 17, p. 1–5, 2010. ISBN: 0094-8276, ISSN: 00948276, DOI: 10.1029/2010GL043538.

SCARANO, F. R. et al. **Chapter 6: Options for governance and decision-making across scales and sectors.** *In IPBES (2018): The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas.* Rice, J., Seixas, C. S., Zaccagnini, M. E., Bedoya-Gaitán, M., and Valderrama, N. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, pp. 521–581.

SCARANO, F. R.; GUIMARÃES, A.; SILVA, J. M. **Lead by Example.** *Nature*, [s.l.], v. 486, p. 26, 2012. ISSN: 15402991.

SEDDON, A. W. et al. **Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability.** *Nature*, [s.l.], v. 531, n° 7593, p. 229–232, 2016. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature16986.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n° 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Modelling conservation in the Amazon basin.** *Nature*, [s.l.], v. 440, n° 7083, p. 520–523, 2006. ISBN: 0028-0836, ISSN: 14764687, DOI: 10.1038/nature04389.

SWANN, A. L. S. et al. **Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate.** *Agricultural and Forest Meteorology*, [s.l.], v. 214–215, p. 12–24, 2015. ISBN: 0168-1923, ISSN: 01681923, DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.07.006.

TILMAN, D. et al. **Agricultural sustainability and intensive production practices.** *Nature*, [s.l.], v. 418, n° August, p. 671–677, 2002. ISBN: 0028-0836, ISSN: 00170070, DOI: 10.1080/11263508809430602.

VUUREN, D. P. VAN et al. **The representative concentration pathways: An overview.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 109, n° 1, p. 5–31, 2011. ISBN: 0165-0009, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.

_____. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WATANABE, S. et al. **MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments.** *Geoscientific Model Development*, [s.l.], v. 4, p. 845–872, 2011.

WERTH, D. **The local and global effects of Amazon deforestation.** *Journal of Geophysical Research*, [s.l.], v. 107, n° D20, p. 8087, 2002. ISSN: 0148-0227, DOI: 10.1029/2001JD000717.

YANG, Y. et al. **Post-drought decline of the Amazon carbon sink.** *Nature Communications*, [s.l.], v. 9, n° 1, 2018. ISBN: 4146701805, ISSN: 20411723, DOI: 10.1038/s41467-018-05668-6.

YIN, L. et al. **How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America?** *Climate Dynamics*, [s.l.], v. 41, n° 11–12, p. 3127–3143, 2013. ISBN: 0930-7575 1432-0894, ISSN: 09307575, DOI: 10.1007/s00382-012-1582-y.

ZELAZOWSKI, P. et al. **Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet.** *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [s.l.], v. 369, n° 1934, p. 137–160, 2011. ISBN: 1364-503X, ISSN: 1364503X, DOI: 10.1098/rsta.2010.0238.

5 VULNERABILIDADE NO NÍVEL DE COMUNIDADE: LAGARTOS DA AMAZÔNIA

Manuscrito em preparação:

Diele-Viegas, L. M., Santos, D. I. S., Santos, G. C., Cavalcante, V. H., Campelo, P.H., Martins, L., Pantoja, J. A., Caetano, G. H. O., Santos, J. C. Colli, G. R., Werneck, F. P., Avila-Pires, T. C. S., Miles, D. B., Sinervo, B. e Rocha, C. F. D. Vulnerability of Amazonian lizards to climate change.

RESUMO

A Amazônia é passível de sofrer um aumento de até 5°C na temperatura média anual até 2070 por conta das mudanças climáticas. De maneira geral, os lagartos são considerados bons modelos de estudo para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade devido à sua sensibilidade a variações de temperatura. No entanto, estudos focando na fisiologia térmica de lagartos amazônicos são escassos, e, conseqüentemente, a vulnerabilidade das espécies em um cenário de mudanças climáticas ainda é pouco conhecida. Além disso, embora as Unidades de Conservação (UCs) tenham um papel importante na preservação da biodiversidade local, nenhum estudo avaliou a potencial presença das espécies de lagartos nas UCs da Amazônia a nível de comunidade. Com isso, a presente seção teve como objetivo avaliar a influência das mudanças climáticas na comunidade de lagartos da Amazônia, considerando sua fisiologia térmica e características biológicas, além de definir potenciais áreas prioritárias para a conservação destas espécies com base na sua distribuição e risco de extinção local e delimitar as UCs que potencialmente abrigam mais espécies de lagartos dentre as espécies avaliadas. Os resultados demonstram que a comunidade amostrada apresenta uma unidade composicional ao longo do bioma. Desta forma, em um cenário de mudanças climáticas, a perda de ambientes termicamente adequados pode levar a uma diminuição na área de ocupação das espécies, o que por conta da sobreposição de nicho pode potencializar as chances de competição interespecífica. Todas as UCs com mais de 20 espécies avaliadas se encontram na região do entorno do rio Amazonas, principalmente na região oriental do bioma. Tais áreas também possuem a maior convergência biótica e estão mais próximas a regiões metropolitanas. Além disso, estas também são as áreas passíveis de apresentar a maior perda de adequabilidade térmica até 2070 devido às mudanças climáticas,

reduzindo a probabilidade de ocorrência das espécies para até 40%. Desta forma, se faz necessário implementar políticas de sensibilização da população acerca da importância de se preservar a biodiversidade local, além de um sistema de resgate de fauna eficiente e a criação de corredores ecológicos, uma vez que o estresse ambiental nestas áreas pode levar a um aumento na ocorrência destes lagartos em perímetro urbano e a extinções locais de um grande número de espécies, mesmo considerando aquelas que apresentam plasticidade comportamental.

Palavras-chave: Comunidade de lagartos. Amazônia. Mudanças Climáticas. Conservação.

ABSTRACT

The Amazon rainforest is likely to experience an increase of up to 5°C in annual mean temperature by 2070 due to global warming. Lizards are usually considered good models to evaluate the influences of climate change on biodiversity due to its sensitivity to temperature variation. However, studies focusing on thermal physiology of amazonian lizards are scarce, and, consequently, the vulnerability of these species to climate changes are still little known. Besides, although protected areas (PAs) has a major role in local biodiversity preservation, there are no studies evaluating the potential presence of lizards in Amazonian PAs at community level. This, this chapter aimed to evaluate the influence of climate changes in Amazonian lizards' community considering its thermal physiology and biological characteristics, besides to define potential priority areas for species conservation based on its distribution and local extinction risk and to delimit the PAs which harbor more species among the evaluated species. The results indicate that the sampled community showed a compositional unity along the biome. Thus, in a climate change scenario, the loss of thermally ideal environments may lead to a decrease in the species occupation area, which due to the niche overlap may increase the interspecific competition. All protected areas with over than 20 evaluated species are in the region surrounding the Amazon river, mostly at the oriental portion of the biome. Those areas also presented the greatest biotic convergence and are closer to metropolitan regions. Besides, these are also the areas that are most likely to lose thermal adequacy by 2070 due to climate changes, decreasing the occurrence probability of the species to up to 40%. Thus, it is needed to create ecological corridors, and to implement policies to raise public awareness about the importance of preserving local biodiversity, as well as an efficient wildlife rescue system, since the environmental stress in these areas may lead to na increase of the occurrence of these lizards in urban perimeter and to local extirpations of a high number of species, even considering those with behavioral plasticity.

Palavras-chave: Lizard community. Amazonia. Climate Change. Conservation.

5.1 Introdução

As mudanças climáticas representam um dos maiores agentes de extinção de espécies ao longo da escala evolutiva e um dos principais causadores da crise atual na biodiversidade global (CEBALLOS et al., 2015). O crescimento das populações humanas e o aumento na demanda de recursos promoveu um aumento de $0,85^{\circ}\text{C}$ na temperatura média da Terra entre 1901 e 2012 (FIELD et al., 2014). Até o final do século XXI, espera-se um aumento de mais $4,8^{\circ}\text{C}$, considerando um cenário no qual as emissões de gases do efeito estufa se mantenham nas taxas atuais (FIELD et al., 2014).

A Amazônia cobre cerca de oito milhões de quilômetros quadrados da América do Sul (EVA et al., 2005), abrangendo oito países e um território europeu (Guiana Francesa) e abrigando cerca de 210 espécies de lagartos conhecidas (UETZ et al. 2018). Conforme previsto na seção 4 da presente tese, a Amazônia é passível de sofrer um aumento de até 5°C na temperatura média anual até 2070, podendo alcançar $6,1^{\circ}\text{C}$ considerando a média para o período mais quente do ano. Além disso, prevê-se uma redução de aproximadamente 234 mm na precipitação anual, sendo 120 mm somente no período mais quente do ano. Isso pode resultar em um dossel mais aberto, com maior taxa de aporte de luz e calor até o nível do solo e um aumento na temperatura nos microhabitats dos lagartos, o que pode vir a afetar a diversidade desse grupo na região (DIELE-VIEGAS et al., 2018).

Lagartos são ectotérmicos, o que significa que sua temperatura corpórea (T_c) depende das fontes de calor oriundas do ambiente (HUEY; STEVENSON, 1979). Consequentemente, é essencial para estas espécies assegurar ambientes adequados para a manutenção da T_c dentro dos limites adequados para garantir o funcionamento apropriado dos seus processos comportamentais e fisiológicos, e consequentemente garantir a sobrevivência dos indivíduos e, portanto, a manutenção da espécie na região (HUEY; STEVENSON, 1979). Alguns lagartos podem manter temperaturas corpóreas nos níveis ambientais através do termoconformismo (HUEY, 1982; HUEY; SLATKIN, 1976; RUIBAL, 1961), ou alcançar diferentes níveis de termorregulação ativa (DIELE-VIEGAS et al., 2018; VITT; SARTORIUS; AVILA-PIRES, 1998).

Para acessar a vulnerabilidade de organismos às alterações no ambiente em que estão inseridos, é necessário realizar uma abordagem integrativa que avalie a sua exposição, sensibilidade e capacidade de se adaptara essas alterações (WILLIAMS et al., 2008). De maneira geral, os lagartos são considerados bons modelos de estudo para avaliar a influência

das mudanças climáticas na biodiversidade devido à sua sensibilidade às variações de temperatura (DIELE-VIEGAS; ROCHA, 2018). Apesar disso, estudos focando na fisiologia térmica de lagartos amazônicos são escassos, e, conseqüentemente, o mesmo se dá em relação à vulnerabilidade das espécies, com exceção de *Kentropyx calcarata* (DIELE-VIEGAS et al., 2018; PONTES-DA-SILVA et al., 2018). Além disso, como visto na seção 4, Unidades de Conservação (UCs) têm um papel importante na preservação da biodiversidade local, principalmente aquelas com alta capacidade adaptativa devido à baixa influência antrópica, embora nenhum estudo tenha avaliado a potencial presença das espécies de lagartos nas UCs da Amazônia a nível de comunidade.

A presente seção teve como objetivo avaliar a influência das mudanças climáticas na comunidade de lagartos da Amazônia, considerando sua fisiologia térmica e características biológicas para mensurar sua vulnerabilidade e avaliar em que extensão os lagartos terão a capacidade de lidar com as mudanças climáticas previstas, em especial para o ambiente térmico amazônico previsto para o ano de 2070. Além disso, buscou-se definir potenciais áreas prioritárias para a conservação destas espécies com base na sua distribuição e risco de extinção local, além de delimitar as UCs que potencialmente abrigam mais espécies de lagartos dentre as espécies avaliadas.

5.2 Materiais e Métodos

Para avaliar a vulnerabilidade da comunidade, foram utilizados os dados de fisiologia térmica dos lagartos amazônicos coletados entre 2014 e 2016 e publicados em DIELE-VIEGAS et al. (2018), além de dados coletados em Alta Floresta, Mato Grosso (09° 52'S, 56° 05'W), Parque Nacional Mapinguari, Amazonas (8° 47'S, 64° 37'W) e Parque Nacional Campos Amazônicos, Amazonas (8° 34'S 61° 50'W), entre julho e dezembro 2017, seguindo o protocolo adaptado de PARANJPE et al. (2012, Figura 25).

Figura 25 – Pontos de amostragem de de Lagartos na Amazônia.



Legenda: YNP = Yasuni National Park; LABS = Los Amigos Biological Station; FAP = Floresta Nacional do Amapá; FCAX = Floresta Nacional de Caxiuanã; RFAD = Reserva Florestal Adolpho Ducke; AF = Alta Floresta; CPC = Centro de Pesquisas Canguçu; PCA = Parque Nacional Campos Amazônicos; PMAP = Parque Nacional Mapinguari. As linhas azuis indicam os rios que cortam a Amazônia. Linhas pontilhadas indicam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas indicam os limites dos países sul-americanos.

Dados adicionais de fisiologia térmica foram obtidos sob licenças de coleta fornecidas à Dra. Fernanda Pinho Werneck e ao Dr. Guarino Rinaldi Colli pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), de números 50381 e 57707-2 e autorização do comitê de ética da Universidade de Brasília e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Todos os esforços foram tomados para minimizar o desconforto para os animais avaliados. Os indivíduos foram capturados durante busca ativa ao longo de seu período de atividade e com o uso de armadilhas de interceptação e queda, revisadas duas vezes por dia. A manutenção dos indivíduos em cativeiro, bem como os testes de temperatura operativa (T_{oa}), temperatura preferencial e intervalo entre as temperaturas voluntárias mínimas, VT_{min} , e máximas, VT_{max} (T_{set}), e tolerância térmica, ou o intervalo entre os limites críticos mínimos (CT_{min}) e máximos (CT_{max}) das espécies, seguiram o protocolo descrito na seção 3.

5.2.1 Análises

Para avaliar a estrutura da meta-comunidade (i.e., conjunto de locais associados através da interação entre as espécies) dos lagartos avaliados nas nove localidades amostradas, foram mensuradas a coerência, aglomeração e rotatividade de 52 espécies através do pacote *metacom* (DALLAS, 2018), no ambiente R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018), com base na matriz de caracteres exposta na Tabela 10. A coerência visa avaliar se as espécies que compõem a metacomunidade respondem a um mesmo gradiente ambiental; a aglomeração visa quantificar a sobreposição dos limites de distribuição das espécies no gradiente ambiental; e, por fim, a rotatividade visa determinar se a diversidade é estruturada por processos que levam à substituição ou perda de espécies ao longo do gradiente (BRAGA; OLIVEIRA; CERQUEIRA, 2017). Dados de distribuição geográfica destas espécies foram recuperados a partir da literatura e das coleções herpetológicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (CH-MPEG) e da Universidade de Brasília (CHUNB). Para avaliar a eficácia de termorregulação das espécies (E), ou o grau em que os animais conseguem termorregular ativamente, foram utilizados índices de acurácia de T_c (\bar{a}_p), ou o grau em que a T_c se relaciona com T_{set} , e a qualidade térmica do ambiente (\bar{a}_e), ou o grau em que a T_{oa} se relaciona com a T_{set} (HERTZ et al., 1993).

Tabela 10 - Matriz de espécies x locais amostrados (continua)

	FAP	RFAD	FCAX	PMAP	PCA	AF	LABS	YNP	CPC
<i>Alopoglossus angulatus</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Chatogekko amazonicus</i>	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Ameiva ameiva</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Anolis brasiliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Anolis nitens</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Anolis transversalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Anolis ortonii</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	0
<i>Anolis chrysolepis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anolis punctatus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arthrosaura reticulata</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Arthrosaura sp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Arthrosaura kockii</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cercosaura argulus</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Cercosaura ocellata</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	0
<i>Cercosaura eigenmanni</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Cercosaura sp</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Cnemidophorus sp</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Cnemidophorus cryptus</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	0
<i>Cnemidophorus cf gramivagus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Copeoglossum nigropunctatum</i>	1	1	1	1	0	1	0	0	1
<i>Gonatodes humeralis</i>	1	1	1	0	0	1	0	0	1
<i>Gonatodes anullaris</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hemidactylus mabouia</i>	1	1	1	0	0	1	0	0	0
<i>Hemidactylus frenatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Iphisa elegans</i>	1	0	1	0	1	1	0	0	0
<i>Iguana iguana</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	1
<i>Kentropyx altamazonica</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Kentropix calcarata</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1
<i>Leposoma sp</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Leposoma cf osvaldoi</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leposoma guianense</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leposoma percarinatum</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Mabuya sp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Manciola guaporicola</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Norops fuscoauratus</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	0
<i>Norops tandai</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Norops sp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Pseudogonatodes</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pseudogonatodes guianensis</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plica plica</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Plica umbra</i>	1	1	1	1	1	0	0	1	0
<i>Ptychoglossus brevifrontalis</i>	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Rondonops biscutatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Tabela 10 - Matriz de espécies x locais amostrados (continuando)

	FAP	RFAD	FCAX	PMAP	PCA	AF	LABS	YNP	CPC
<i>Thecadactylus rapicauda</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	0
<i>Thecadactylus solemonensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Tretioscincus agilis</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Salvator merianae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Tropidurus sp</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Tropidurus cf oreadicus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Tupinambis sp</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Tupinambis teguixin</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Uranoscodon superciliosus</i>	1	1	0	0	0	1	0	0	0

Legenda: YNP = Yasuni National Park; LABS = Los Amigos Biological Station; FAP = Floresta Nacional do Amapá; FCAX = Floresta Nacional de Caxiuana; RFAD = Reserva Florestal Adolpho Ducke; AF = Alta Floresta; CPC = Centro de Pesquisas Canguçu; PCA = Parque Nacional Campos Amazônicos; PMAP = Parque Nacional Mapinguari.

Para prever a variação causada pelo aquecimento global na E e \bar{a}_e , foi considerada a variação na T_{oa} a partir da variação anual da temperatura máxima da Amazônia (T_{max} , WorldClim), selecionada por não ser afetada pelas temperaturas noturnas. As futuras T_{oa} s foram medidas como a diferença entre os valores de temperatura previstos e os atuais, através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015) no ambiente R.

Para avaliar o risco de extinção das espécies, foi feita uma modelagem mecanicista de distribuição que levou em consideração dados bióticos e abióticos, através dos pacotes *biomod2* (THUILLER et al., 2016) e *dismo* (HIJMANS et al., 2016), no ambiente R. Os dados abióticos considerados foram temperatura máxima do ambiente (T_{max}), precipitação (Prec) e as 19 variáveis bioclimáticas da base de dados do WorldClim (worldclim.org).

Foram computadas as horas de restrição de atividade (H_r), ou o período em que a espécie precisa restringir sua atividade por conta de condições climáticas desfavoráveis, através da regressão de H_r em função de $T_{max} - VT_{max}$. Os dados de distribuição das espécies foram utilizados para identificar áreas no bioma amazônico que pudessem constituir um potencial refúgio com ambiente térmico apropriado para a persistência de cada espécie em particular na Amazônia (regiões de convergência biótica). Desta forma, as H_r foram computadas para todos os meses do ano, e estes valores foram utilizados para definir os limites críticos em ecofisiologia e reprodução da espécie (fenologia; SINERVO et al., 2010). O limite de 95% de confiança na distribuição de H_r foi utilizado como limite crítico de distribuição do táxon (SINERVO et al., 2010, 2018). Se os valores de H_r computados no futuro excedem estes limites, assumiu-se que o local (1 x 1 km) não poderá mais sustentar a

espécie, indicando alto risco de extirpação local. Por fim, com base nas análises individuais, buscou-se avaliar a probabilidade de persistência da comunidade de lagartos da Amazônia através da sobreposição das análises individuais das espécies, considerando as suas características de fisiologia térmica e as características climáticas do bioma.

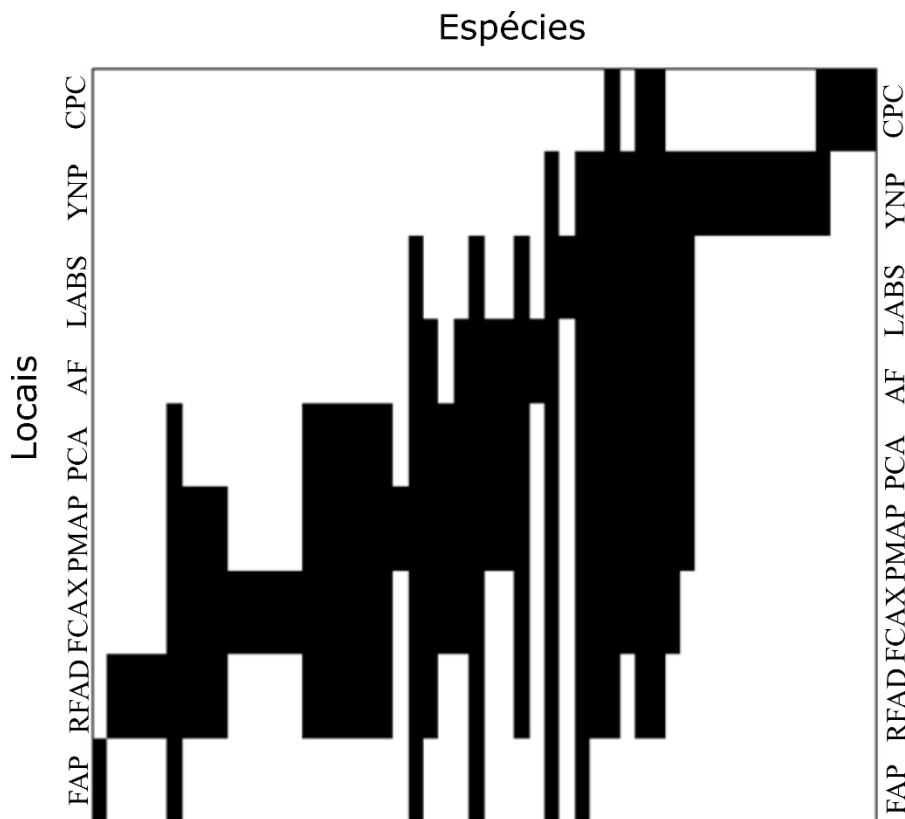
Para a modelagem para o futuro, foi utilizado o modelo de circulação global MPI-ESM-LR (*Max Planck Institute Earth System Model*) sob o cenário de vias de concentração representativa (*Representative Concentration Pathways*, RCP) que assume 8.5 W/m^2 , referido como RCP 8.5, para as décadas de 2060-2080, referido como 2070 (VUUREN et al., 2014). Desta forma, foi utilizado o modelo climático que melhor captura os padrões observados de precipitação e temperatura durante o período controle em escala regional e global (ANAV et al., 2013).

Para delimitar as áreas potenciais para a conservação das espécies avaliadas, foi feita uma análise panbiogeográfica através do software Croizat 2.1.0 (CAVALCANTI, 2009), conforme metodologia descrita na seção 1 da presente tese. Para tal, foram calculados os traços de distribuição coincidente (traços generalizados) das espécies avaliadas através de seus pontos de ocorrência, considerando-se um valor de congruência igual a 1.0, o que indica uma congruência total entre a distribuição das espécies. Então, as regiões de convergência biótica, ou áreas potenciais para a conservação das espécies, foram definidas como as localidades onde dois ou mais traços generalizados se sobrepõe (ECHEVERRÍA-LONDOÑO; MIRANDA-ESQUIVEL, 2011; MORRONE, 2004). Por fim, foram definidas as UCs em que as espécies avaliadas são passíveis de ocorrer, através dos pacotes *rgdal* (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017), *dismo* (HIJMANS et al., 2016) e *rgeos* (BIVAND et al., 2018) no ambiente R. Para tal, foram consideradas as UCs até 1,5 km próximas dos pontos de distribuição das espécies. Os limites geográficos do bioma Amazônico e suas UCs foram baixados da plataforma *Geovisor of Conservation Opportunities in the Amazon Biome under Climate Change Considerations* (2017).

5.3 Resultados

As análises de meta-comunidade indicaram um alto valor de coerência na distribuição das espécies entre as localidades amostradas ($z = 9,298118e+00$, $p < 0,001$). Além disso, também indicaram uma alta rotatividade, apesar de não ser estatisticamente significativo (2057, $z = 1,82$, $p = 0,07$), e uma alta aglomeração (1,27, $p < 0,001$), conforme pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Ocorrência de 52 espécies de lagartos nas nove localidades amostradas no presente estudo.



Legenda: YNP = Yasuni National Park; LABS = Los Amigos Biological Station; FAP = Floresta Nacional do Amapá; FCAX = Floresta Nacional de Caxiuanã; RFAD = Reserva Florestal Adolpho Ducke; AF = Alta Floresta; CPC = Centro de Pesquisas Canguçu; PCA = Parque Nacional Campos Amazônicos; PMAP = Parque Nacional Mapinguari.

Dezesseis espécies foram avaliadas em termos de sua eficácia de termorregulação (E), acurácia de T_c e qualidade térmica do ambiente ($\bar{\alpha}_c$), devido à disponibilidade de dados de fisiologia térmica (Tabela 11). *Leposoma percarinatum* foi a espécie que teve menor acurácia

de T_c , enquanto *Uranoscodon superciliosus* teve a maior acurácia de T_c em relação a T_{set} . Já em termos de \bar{a}_e , o bioma apareceu como termicamente ideal somente para *Dactyloa punctata* e *Kentropyx altamazonica*, embora o valor de \bar{a}_e para *Uranoscodon superciliosus* indique que o ambiente estaria próximo de ser termicamente ideal para esta espécie também. Por fim, *Alopoglossus angulatus*, *Chatogekko amazonicus*, *Norops chrysolepis* e *Leposoma percarinatum* possuíram as menores taxas de termorregulação ativa, embora possam evitar ativamente ambientes termicamente favoráveis (Tabela 11).

Para o ano de 2070, foi prevista uma diminuição na qualidade térmica do ambiente do bioma Amazônico para todas as espécies avaliadas, representada pelo aumento do valor de \bar{a}_e . Considerando as taxas de E , previu-se que *Dactyloa punctata* e *Uranoscodon superciliosus* seriam capazes de termorregular ativamente com sucesso no cenário previsto, assim como a maioria das espécies avaliadas, que também tiveram valores positivos de eficácia de termorregulação. Outras espécies, como *Copeoglossum nigropunctatum* e *Kentropyx calcarata*, que atualmente possuem grande capacidade de ativamente evitar mesmo os ambientes termicamente adequados por motivos adversos, tenderão a perder essa capacidade com o aumento da temperatura do ambiente previsto para 2070 (Tabela 11).

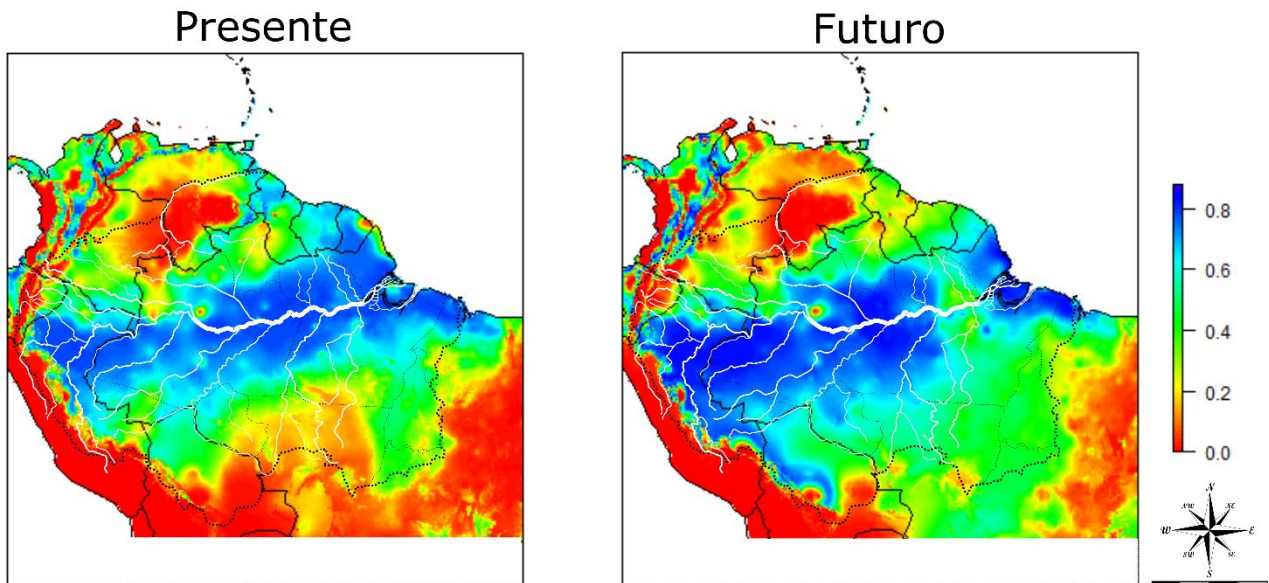
Tabela 11 - Acurácia de T_c (\bar{a}_b), qualidade térmica (\bar{a}_e) e eficácia de termorregulação (E) das espécies de lagartos da Amazônia.

	\bar{a}_b	Período	\bar{a}_e	E
<i>Alopoglossus angulatus</i>	1,55	Presente	1,45	-0,07
		2070	7,72	0,85
<i>Arthrosaura reticulata</i>	1,17	Presente	1,35	0,13
		2070	6,79	0,83
<i>Chatogekko amazonicus</i>	1,71	Presente	1,50	-0,07
		2070	6,35	0,81
<i>Copeoglossum nigropunctatum</i>	1,66	Presente	0,07	-13,71
		2070	3,04	0,39
<i>Dactyloa punctata</i>	0,00	Presente	0,00	-
		2070	3,67	1,00
<i>Gonatodes humeralis</i>	1,71	Presente	0,75	-35,51
		2070	5,78	0,73
<i>Kentropyx altamazonica</i>	0,89	Presente	0,00	-
		2070	0,62	-0,44
<i>Kentropyx calcarata</i>	1,62	Presente	0,22	-12,77
		2070	1,63	-0,20
<i>Leposoma percarinatum</i>	4,06	Presente	2,20	-0,89
		2070	8,42	0,52
<i>Norops chrysolepis</i>	0,39	Presente	0,22	-0,76
		2070	3,39	0,89
<i>Norops fuscoauratus</i>	0,84	Presente	0,49	-0,81
		2070	4,30	0,84
<i>Norops ortonii</i>	1,37	Presente	0,28	-3,11
		2070	2,41	0,57
<i>Plica plica</i>	2,11	Presente	1,25	-7,68
		2070	5,97	0,70
<i>Plica umbra</i>	1,47	Presente	1,12	-2,79
		2070	5,07	0,82
<i>Tretioscincus agilis</i>	0,66	Presente	0,25	-1,65
		2070	4,43	0,90
<i>Uranoscodon superciliosus</i>	0,00	Presente	0,04	1,00
		2070	3,33	1,00

O modelo mecanicista de distribuição das espécies recuperou para o presente uma faixa de adequabilidade térmica alta que coincide com as planícies e terras baixas amazônicas (Figura 27). Já em relação ao futuro, o modelo prevê uma diminuição da adequabilidade térmica na região do Pará, Suriname e Guiana, com a probabilidade de ocorrência das espécies variando de 40 a 60%. Por fim, o modelo previu um aumento da adequabilidade térmica no limite ocidental do bioma, na região do Perú e Bolívia, onde a probabilidade de

ocorrência das espécies alcança valores acima de 80%, e na região do Mato Grosso, no ecótono entre a Amazônia e o Cerrado, onde a probabilidade de ocorrência foi de quase zero no presente para aproximadamente 50% em 2070 (Figura 27).

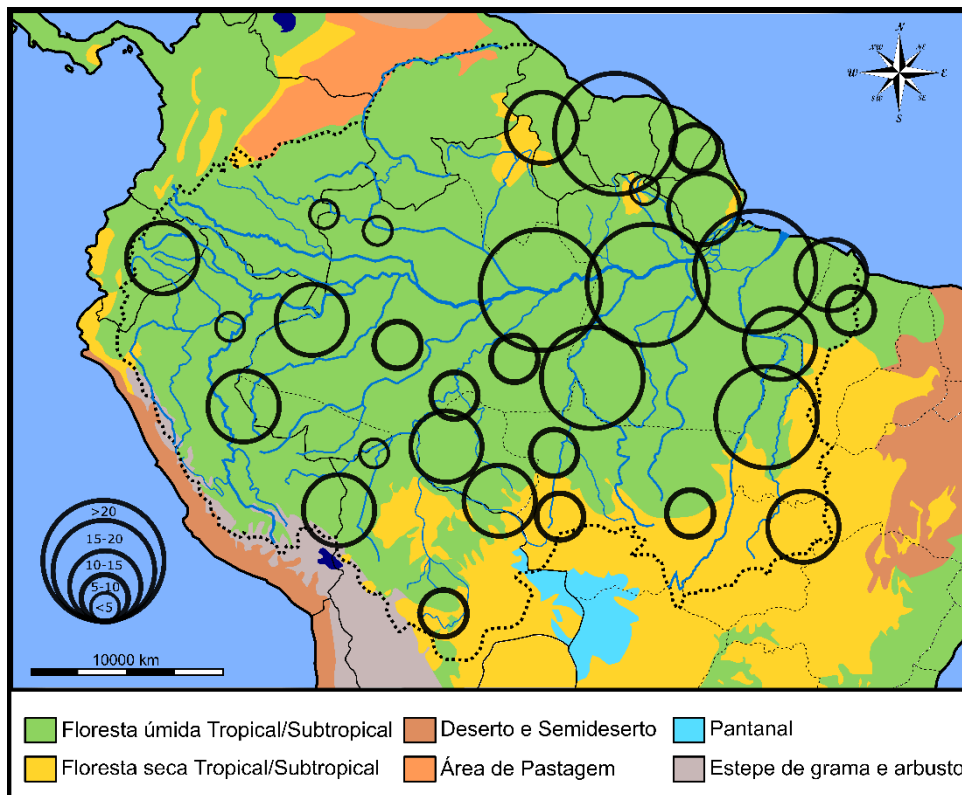
Figura 27 – Adequabilidade térmica da Amazônia para a comunidade de lagartos estimada a partir da sobreposição dos modelos individuais das espécies.



Legenda: Gradiente de coloração variando de menos (vermelho) para mais (azul) adequado termicamente. Linhas brancas representam os rios que cortam a Amazônia, com a linha mais grossa representando o rio Amazonas. Linhas pontilhadas representam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas representam os limites dos países sul-americanos. Foi incluído um total de 46 espécies na análise (Figura S4).

De acordo com a análise panbiogeográfica, as regiões do Pará e Amazonas oriental aparecem como as maiores áreas potenciais para a conservação das espécies analisadas (Figura 28). Além disso, alguns outros pontos parecem potencialmente relevantes: a região do Suriname, no limite equatorial do bioma e na região do Arco do desmatamento, em Rondônia e no ecótono Amazônia-Cerrado na divisa entre o Pará e Tocantins (Figura 28).

Figura 28 – Áreas potenciais para a conservação de Lagartos na Amazônia.



Legenda: O tamanho dos círculos indica a quantidade gradual de espécies potencialmente presentes na região. As linhas azuis indicam os rios que cortam a Amazônia, com a linha mais grossa representando o rio Amazonas. Linhas pontilhadas indicam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas indicam os limites dos países sul-americanos.

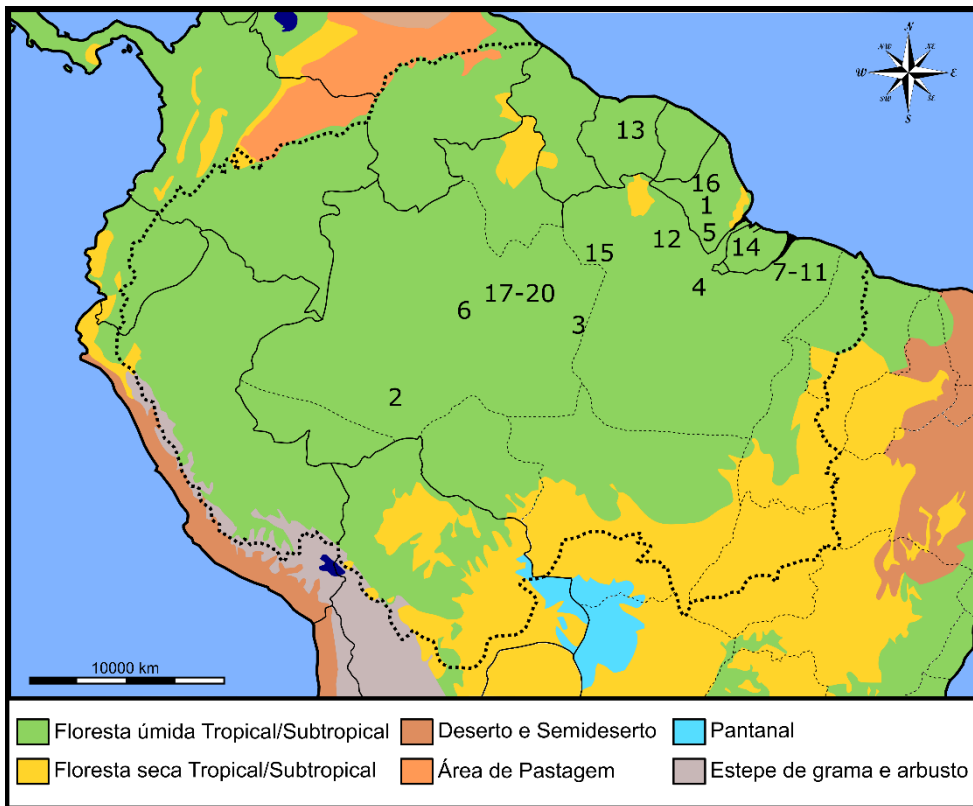
Foi visto que as espécies são passíveis de ocorrer em 304 UCs da Amazônia, das quais 94 potencialmente abrigam mais de 10 espécies dentre as espécies avaliadas (Tabela S6). Em relação às UCs com maior diversidade, 20 potencialmente abrigam mais de 20 espécies, sendo 10 no Pará, seis no Amazonas, três no Amapá e uma no Suriname (Tabela 12, Figura 29). Destas, sete permitem a gestão de recursos naturais, seis são paisagens protegidas onde a interação de pessoas com a natureza é permitida, duas são voltadas para a gestão de espécies e habitats, quatro são áreas protegidas com pouca ou nenhuma modificação antrópica, e uma não foi categorizada de acordo com a IUCN (Tabela 12).

Tabela 12 - Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas.

Unidades de Conservação	País	Estado BR	Categoria IUCN	No. de espécies
PNM Cancão	Brasil	AP	NA	21
FLONA Iquiri	Brasil	AM	VI	21
PARNA Amazônia	Brasil	PA	II	21
FLONA Caxiuanã	Brasil	PA	VI	21
RESEX Rio Cajari	Brasil	AP	VI	22
RDS Piagaçu Purus	Brasil	AM	VI	22
Parque Estadual Utinga	Brasil	PA	II	23
ARIE Museu Parque Seringal	Brasil	PA	IV	23
ARIE Parque Ambiental Antonio Danubio Lourenço da Silva	Brasil	PA	IV	23
APA Ilha do Combú	Brasil	PA	V	23
APA Região Metropolitana de Belém	Brasil	PA	V	23
FLOTA Paru	Brasil	PA	VI	23
Nature Park Brownsberg	Suriname	-	II	23
APA Arquipélago do Marajó	Brasil	PA	V	24
FLONA Saracá - Taquera	Brasil	PA	VI	24
FLOTA do Amapá	Brasil	AP	VI	25
Parque Estadual Sumaúma	Brasil	AM	II	25
APA Parque Linear do Bindá	Brasil	AM	V	25
APA Taruma/Ponta Negra	Brasil	AM	V	25
APA Margem Direita do Rio Negro - Setor Paduari - Solimões	Brasil	AM	V	27

Legenda: APA = Área de Proteção Ambiental; ARIE = Área de Relevante Interesse Ecológico; FLONA = Floresta Nacional; FLOTA = Floresta Estadual; PARNA = Parque Nacional; PNM = Parque Natural Municipal; RDS = Reserva de Desenvolvimento Sustentável; RESEX = Reserva Extrativista; BR = Brasil; AP = Amapá; PA = Pará; AM = Amazonas; II = Parque Nacional; IV = Área protegida para a gestão de habitats ou espécies; V = Paisagem Protegida; VI = Área protegida para gestão de recursos; NA = Não avaliado; de acordo com a IUCN.

Figura 29 – Unidades de Conservação que potencialmente abrigam mais de 20 espécies avaliadas.



Legenda: Linhas pontilhadas indicam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas indicam os limites dos países sul-americanos. 1) PNM Cancão, 2) FLONA Iquiri, 3) PARNA Amazônia, 4) FLONA Caxiuanã, 5) RESEX Rio Cajari, 6) RDS Piagaçu Purus, 7) Parque Estadual Utinga, 8) ARIE Museu Parque Seringal, 9) ARIE Parque Ambiental Antonio Danubio Lourenço da Silva, 10) APA Ilha do Combú, 11) APA Região Metropolitana de Belém, 12) FLOTA Paru, 13) Nature Park Brownsberg, 14) APA Arquipélago do Marajó, 15) FLONA Saracá – Taquera, 16) FLOTA do Amapá, 17) Parque Estadual Sumaúma, 18) APA Parque Linear do Bindá, 19) APA Taruma/Ponta Negra, 20) APA Margem Direita do Rio Negro - Setor Paduari – Solimões.

5.4 Discussão

A presente seção apresenta o primeiro estudo que avalia a vulnerabilidade de uma comunidade de lagartos tropicais frente às mudanças climáticas. Foi previsto que há uma tendência de diminuição da qualidade térmica do ambiente para o futuro em comparação ao momento presente para todas as espécies avaliadas, o que significa que, para alcançar T_{cs} próximas ou dentro das $T_{set,s}$, as espécies terão que termorregular ativamente (HERTZ et al., 1993). Portanto, a maioria das espécies avaliadas pode apresentar adaptações comportamentais para lidar com as flutuações de temperatura, o que reforça o papel do comportamento de termorregulação de amenizar os impactos das mudanças climáticas nos lagartos (AGUADO; BRAÑA, 2014). Porém, foi observado que isto pode não ocorrer com duas espécies heliotérmicas, *Copeoglossum nigropunctatum* e *Kentropyx calcarata*. Este resultado está de acordo com o estudo de PONTES-DA-SILVA et al. (2018), que previram a extinção de até 92,8% das populações de *K. calcarata* até 2070.

O modelo de risco de extinção utilizado se baseia no conceito de um limite crítico governando a distribuição atual dos táxons, onde se os valores de H_r computados para o futuro excederem esse limite naquele local (1x1 km), então este não sustentará mais as populações locais. Uma das vantagens do modelo é a possibilidade de se estimar a confiabilidade de futuros modelos de extinção, uma vez que este foi validado através da observação de extinções em oito famílias do mundo (SINERVO et al., 2011). HARTE et al. (2004) e THUILLER et al. (2004) criticaram outros modelos de distribuição de espécies que não validaram sua confiabilidade, ou habilidade de prever de maneira confiável as extinções observadas devido às mudanças climáticas no período contemporâneo [1975-presente, (HARTE et al., 2004; THUILLER et al., 2004)]. A estimativa de confiabilidade utilizada aqui permitiu decompor a confiabilidade ao estimar o erro de amostragem associado com o grau de certeza da distribuição geográfica das espécies, referido como erro de amostragem, e o erro de processo associado com a projeção de extinção em si, ou o processo de se estimar a extinção com o modelo de extinção (SINERVO et al., 2010, 2011).

Foi visto que há um padrão de aumento gradual da concentração e tamanho de áreas potenciais para conservação de espécies na porção oriental em relação à porção ocidental da Amazônia, indicando haver uma considerável aglomeração de espécies na região oriental, sobretudo nas planícies e terras baixas amazônicas. Além disso, foi visto também que todas as UCs com mais de 20 espécies avaliadas se encontram nesta região, que ainda apresenta uma alta adequabilidade térmica para as espécies avaliadas. Isto reforça os resultados encontrados

em um estudo prévio de alfa e beta diversidade de répteis Squamata no bioma, que constatou haver uma divisão evidente na composição de espécies a norte e a sul do Rio Amazonas (SILVA; SITES, 1995). Além disso, é sabido que a dinâmica do rio é um fator importante na criação e manutenção da alta diversidade de espécies na região superior do bioma (beta diversidade), uma vez que causa um alto distúrbio, variação e rotatividade local na estrutura da floresta (SALO et al., 1986).

A maioria das UCs com mais de 20 espécies avaliadas encontra-se na região metropolitana, tanto do Pará (APA Ilha do Cumbú, APA Região Metropolitana de Belém, Parque Estadual Utinga, ARIE Parque Ambiental Antônio Danúbio e ARIE Museu Parque Seringal), quanto do Amazonas (Parque Estadual Sumaúma, APA Parque Linear do Bindá, APA Taruma/Ponta Negra). Isto demonstra a fragilidade destes ambientes, que muitas vezes são manchas isoladas de floresta dentro do perímetro urbano (e.g., Parque Estadual Sumaúma e Parque Estadual Utinga). A ausência de corredores ecológicos isola as populações destas áreas, o que em um eventual cenário de estresse ambiental local pode resultar em uma alta vulnerabilidade das populações locais (MAWDSLEY; O'MALLEY; OJIMA, 2009). Além disso, o desenvolvimento urbano pode influenciar diretamente estas espécies, alterando a sua distribuição, seus padrões de ocupação e a organização de assembleias (GERMAINE; WAKELING, 2001). Com isso, em um cenário de estresse ambiental é possível que haja um aumento na ocorrência destas espécies em um perímetro urbano, o que, sem uma política de sensibilização da população local e um sistema de resgate de fauna eficiente, pode significar um grande risco para a sua sobrevivência.

Embora os resultados obtidos Na presente seção indiquem que algumas espécies potencialmente poderiam lidar com os efeitos das mudanças climáticas através de mudanças efetuadas no comportamento termorregulatório, também foi visto que as áreas com maior convergência biótica de lagartos da Amazônia também seriam as áreas mais próximas a regiões metropolitanas, sugerindo a fragilidade destes ambientes. Além disso, estas também são as áreas passíveis de apresentar a maior perda de adequabilidade térmica até 2070 devido às mudanças climáticas, reduzindo a probabilidade de ocorrência das espécies para até 40%. Desta forma, se faz necessário implementar políticas de sensibilização da população acerca da importância de se preservar a biodiversidade local, além de um sistema de resgate de fauna eficiente e a criação de corredores ecológicos, uma vez que o estresse ambiental nestas áreas pode levar a extirpações locais de um grande número de espécies, mesmo considerando aquelas que possuem plasticidade comportamental.

5.5 Referências

AGUADO, S.; BRAÑA, F. **Thermoregulation in a cold-adapted species (Cyren's Rock Lizard, *Iberolacerta cyreni*): influence of thermal environment and associated costs.** *Canadian Journal of Zoology*, [s.l.], v. 92, n° 11, p. 955–964, 2014. ISBN: 0008-4301, ISSN: 0008-4301, DOI: 10.1139/cjz-2014-0096.

ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.

BIVAND, R. et al. **rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS').** *R package version 0.3-28*, [s.l.], 2018.

BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.

BRAGA, C.; OLIVEIRA, J. A.; CERQUEIRA, R. **Metacomunidades: uma introdução aos termos e conceitos.** *Oecologia Australis*, v.21, n° 2, 108-118, 2017. DOI: 10.4257/oeco.2017.2102.02

CEBALLOS, G. et al. **Accelerated modern human – induced species losses : Entering the sixth mass extinction.** *Science Advances*, [s.l.], v. 1, n° June, p. 1–6, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400253.

DALLAS, T. **metacom: Analysis of the “Elements of Metacommunity Structure”.** *R package version 1.5.1.*, [s.l.], 2018. ISBN: 9781493921218, DOI: 10.1034/j.1600-0706.2002.970210.x>.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, 2018. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

DIELE-VIEGAS, L. M.; ROCHA, C. F. D. **Unraveling the influences of Climate Change in Lepidosauria (Reptilia).** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 78, n° April, p. 401–414, 2018. ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.005.

EVA, H. et al. **A proposal for defining the geographical boundaries of Amazonia.** [s.l.]: [s.n.], 2005. 1-52 p. ISBN: 9279000128, DOI: ISBN 9279000128.

FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.

GERMAINE, S. S.; WAKELING, B. F. **Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson , Arizona , USA.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 97, p. 229–237, 2001. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00115-4.

HARTE, J. et al. **Biodiversity conservation: Climate change and extinction risk.** *Nature*, [s.l.], v. 430, n° 6995, p. 2719, 2004. ISBN: 1476-4687 (Electronic)n0028-0836 (Linking),

ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature02718.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

HIJMANS, R. et al. **Package “dismo”: Species Distribution Modeling.** [s.l.], p. 67, 2016. ISBN: 0471252182, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.07.022.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.** *R package version 2.6-7.*, [s.l.], 2017.

HUEY, R. B. **Temperature, physiology, and the ecology of reptiles.** *Biology of the Reptilia Vol. 12. Physiology C. Physiological Ecology*, [s.l.], v. 12, p. 25–91, 1982. ISBN: 0122746120, ISSN: 09670637, DOI: 10.1016/j.dsr.2014.07.003.

HUEY, R. B.; SLATKIN, M. **Cost and Benefits of Lizard Thermoregulation.** *The Quarterly Review of Biology*, [s.l.], v. 51, n° 3, p. 363–384, 1976.

HUEY, R. B.; STEVENSON, R. D. **Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches.** *Integrative and Comparative Biology*, [s.l.], v. 19, n° 1, p. 357–366, 1979. ISBN: 0003-1569, ISSN: 15407063, DOI: 10.1093/icb/19.1.357.

MAWDSLEY, J. R.; O’MALLEY, R.; OJIMA, D. S. **A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 23, n° 5, p. 1080–1089, 2009. ISBN: 1523-1739 (Electronic)n0888-8892 (Linking), ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x.

MORRONE, J. J. **Homología Biogeográfica: Las Coordinadas Espaciales de la Vida.** *Cuadernos del Instituto de Biología. Mexico: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Mexico.*, [s.l.], v. 37, 2004.

PARANJPE, D. A. et al. **Measuring Thermal Profile of Reptiles in Laboratory and Field.** In: ANDREW SPINK, FABRIZIO GRIECO, OLGA KRIPS, LEANNE LOIJENS, LUCAS NOLDUS, P. Z. (Org.). Utrecht, The Netherlands: [s.n.], 2012. 460-462 p. ISBN: 9789074821872.

PONTES-DA-SILVA, E. et al. **Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, 2018. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

RUIBAL, R. **Thermal Relations of Five Species of Tropical Lizards Author(s): Rodolfo Ruibal Source:** *Evolution*, [s.l.], v. 15, n° 1, p. 98–111, 1961.

SALO, J. et al. **River Dynamics and the Diversity of Amazon Lowland Forest.** *Nature*, [s.l.], v. 322, p. 254–258, 1986. DOI: 10.1038/322254a0.

SILVA, N. J.; SITES, J. W. **Patterns of Diversity of Neotropical Squamate Reptile Species with Emphasis on the Brazilian Amazon and the Conservation Potential of Indigenous Reserves.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 9, n° 4, p. 873–901, 1995.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

_____. **Response to Comment on “Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches”.** *Science*, [s.l.], v. 332, n° 6029, p. 537–537, 2011. ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1195348.

_____. **Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai—Tibetan Plateau.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 13, n° 4, p. 450–470, 2018. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12315.

THUILLER, A. W. et al. **The biomod2 package: the updated object-oriented version of BIOMOD package.** [s.l.], n° 2, p. 1–104, 2016.

THUILLER, W. et al. **Effects of restricting environmental range of data to project current and future species distributions.** *Ecography*, [s.l.], v. 27, n° 2, p. 165–172, 2004. ISBN: 0906-7590, ISSN: 09067590, DOI: 10.1111/j.0906-7590.2004.03673.x.

UETZ, P. et al. **The Reptile Database.** [s.l.], 2018.

VITT, L. J.; SARTORIUS, S. S.; AVILA-PIRES, T. C. S. **Use of time, space, and food by the gymnophthalmid lizard *Prionodactylus eigenmanni* from the western Amazon of Brazil.** [s.l.], v. 1688, p. 1681–1688, 1998.

VUUREN, D. P. VAN et al. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WILLIAMS, S. E. et al. **Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change.** *PLoS biology*, [s.l.], v. 6, n° 12, 2008. ISBN: 1545-7885, ISSN: 15457885, DOI: 10.1371/journal.pbio.0060325.

6 EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DINÂMICA POPULACIONAL DE TRÊS ESPÉCIES DE LAGARTOS AMAZÔNICOS

Manuscrito submetido:

Diele-Viegas, L. M., Werneck, F. P. e Rocha, C. F. D. Climate change effects on population dynamics of three species of Amazonian lizards. *Em revisão (Comparative Biochemistry and Physiology Part A)*.

RESUMO

A escassez de dados sobre a história natural e ecologia de lagartos ainda limita o entendimento da dinâmica populacional de diversas espécies. A presente seção bucou avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na dinâmica populacional de três espécies de lagartos (*Ameiva ameiva*, *Gonatodes humeralis* e *Norops fuscoauratus*) em duas localidades da Amazônia Brasileira. Foi calculado um índice de tolerância combinando dados de adequabilidade térmica do ambiente com o modelo b-d, que considera taxas de sobrevivência e reprodução para calcular a dinâmica populacional. Assim, as taxas de crescimento populacional foram simuladas com base nas temperaturas operativas atuais e previstas em cenários realista e otimista de emissão de gases do efeito estufa. Além disso, foi avaliada se a sensibilidade das taxas vitais ao crescimento populacional é passível de ser alterada pelas mudanças climáticas. Foi previsto que as duas populações de *G. humeralis* e uma população de *N. fuscoauratus* são passíveis de se extinguirem localmente em ambos os cenários de emissão de gases, enquanto *A. ameiva* pode experimentar diminuições populacionais em ambas as localidades, mas sem extirpação local. Este estudo representa o primeiro esforço para avaliar a sensibilidade e elasticidade de populações de lagartos frente às mudanças climáticas e demonstra a variabilidade geográfica destas características em três espécies generalistas e amplamente distribuídas. É importante realçar a necessidade de novos estudos focando em espécies com diferentes padrões biogeográficos, tais como espécies endêmicas e habitat-especialistas, para fornecer uma base teórica e empírica para a elaboração de estratégias e ações de conservação baseadas em dados biológicos para minimizar as chances de extirpações locais das populações por conta das mudanças climáticas.

Keywords: Demografia. Sensibilidade. Aquecimento global. Extinção local. Amazônia.

ABSTRACT

The scarcity of data on lizards' natural history and ecology still limits the understanding of population dynamics for many species. The present chapter attempt to evaluate possible effects of climate change on the population dynamics of three lizard species (*Ameiva ameiva*, *Gonatodes humeralis* and *Norops fuscoauratus*) in two Amazonian localities (Caxiuanã National Forest and Ducke Reserve). A tolerance index was calculated combining environmental thermal adequacy with the b-d model, which consider survival and reproductive rates to calculate population dynamics. Thus, population growth rates were simunated based on current and future environmental operative temperatures, considering an optimistic and a realistic scenario of greenhouse gases emissions (GGE), and evaluate if the sensitivity of vital traits to population growth rate are likely to be trigged by climate change. Both populations of *G. humeralis* and Ducke's population of *N. fuscoauratus* were likely to become locally extinct under both scenarios of GGE, while *A. ameiva* is likely to experiencepopulations decreases in both locations, but without reaching a scenario of local extinction. This study represents the first effort to evaluate lizard population's sensitivity and elasticity to climate change and demonstrate the geographic variability of these characters in three widespread and habitat-generalist species. The need of new studies focusing on species with different biogeographic patterns such as endemic and habitat-specialists, is highlighted, in order to provides the theoretical and empirical basis for biologically informed conservation strategies and actions, in order to minimize the chances of populations' extinction due to climate changes.

Keywords: Demography. Sensitivity. Global warming. Local extinction. Amazon.

6.1 Introdução

Lagartos podem evoluir ou desenvolver plasticamente diferentes limites fisiológicos de acordo com o ambiente em que vivem (SCHEFFERS et al., 2014), o que permite uma influência significativa da variação na temperatura do ambiente em suas respostas comportamentais e fisiológicas (CAMACHO; RUSCH, 2017; CLUSELLA-TRULLAS; CHOWN, 2014; WITHERS, 1992). A maioria das espécies neotropicais possuem temperaturas corporais (T_c s) que refletem as temperaturas ambientais (HUEY; SLATKIN, 1976; HUEY, 1982; RUIBAL, 1961), porém algumas possuem um certo grau de termorregulação ativa ao utilizar mecanismos comportamentais que resultam em T_c s mais elevadas em relação às temperaturas do ar e do substrato (KIEFER; SLUYS; ROCHA, 2007; VITT et al., 1998). As T_c s de lagartos afetam diretamente seu desempenho e aptidão, e podem determinar o grau de vulnerabilidade de uma população em determinado ambiente (BUCKLEY; HUEY, 2016; SINCLAIR et al., 2016). Experimentos em laboratório mostram que a T_c em lagartos tropicais ativos frequentemente excedem temperaturas preferenciais (T_{pref}) observadas em gradientes térmicos controlados, comumente aproximando-se dos limites térmicos de atividade das (DIELE-VIEGAS et al., 2018; DU; YAN; JI, 2000; PONTES-DA-SILVA et al., 2018).

As mudanças projetadas em relação ao aumento na média de temperatura da superfície da Terra para o final do século 21 variam de 1,85°C, em um cenário que assume uma diminuição moderada nas taxas atuais de emissão de gases do efeito estufa (*Representative Concentration Patway*, RCP 4.5, cenário otimista), a 3,7°C em um cenário que assume que não haverá reduções nas taxas de emissões atuais (RCP 8,5, realista; FIELD et al., 2014). Ambas as previsões podem levar os lagartos a excederem seus limites térmicos, gerando um estresse térmico que requer estratégias comportamentais ou adaptativas para ser combatido (e.g., DEWITT, 1967; HOFFMANN; SGRÒ, 2011; MUNOZ et al., 2016). Estes cenários impõem aos lagartos (e outros organismos) um balanço entre aquecimento ambiental, termorregulação, flexibilidade comportamental, adaptação fisiológica e vulnerabilidade, o que pode ter um importante papel na capacidade adaptativa das espécies em resposta às mudanças climáticas (BEEVER et al., 2017; GUNDERSON; STILLMAN, 2015).

As populações devem ser plásticas na sua tolerância térmica e fenologia ou ser capazes de adaptar-se evolutivamente aos novos cenários térmicos. Caso contrário, elas são passíveis de serem extintas (OFORI et al., 2017; SINERVO et al., 2010). Uma vez que

respostas adaptativas podem potencialmente se diferenciar entre os diferentes estágios de vida de uma população, é importante identificar qual destes estágios seria mais vulnerável às alterações climáticas (SINCLAIR et al., 2016).

A variação entre as características de reprodução e história natural entre espécies pode ocorrer devido à história filogenéticas ou às pressões seletivas recentes (DUNHAM, 1994). Com isso, restrições ambientais podem cercear sua reprodução e desempenho em nível ótimo (e.g., IRSCHICK et al., 1999; PIANKA; PARKER, 1975; SHINE, 1992). Como consequência, as interações entre comportamento e fisiologia de um lagarto em seu ambiente térmico podem afetar as taxas de crescimento populacionais e a persistência da população no ambiente (BUCKLEY; EHRENBERGER; ANGILLETTA, 2015; PORTER; TRACY, 1983; SINERVO; ADOLPH, 1989). Por esta razão, a manutenção da T_c dentro dos limites fisiológicos das espécies é essencial para a sua sobrevivência (BOGERT, 1959).

O conhecimento acerca de como os lagartos respondem comportamentalmente ou fisiologicamente às mudanças climáticas é crucial para estimar sua tolerância e vulnerabilidade, além de viabilizar previsões futuras sobre a persistência de populações e espécies (MUNOZ et al., 2016; WILLIAMS et al., 2008). Apesar da frequência de estudos em populações naturais ter aumentado após os trabalhos pioneiros de Blair (1960) e Tinkle (1967) sobre a demografia e história natural de dois lagartos da América do Norte, ainda há pouca informação disponível acerca das taxas de reprodução e sobrevivência de lagartos (DUNHAM, 1994; MILES; DUNHAM, 1992; MILES; DUNHAM, 1993), e sobre o efeito das mudanças climáticas na fauna de lagartos neotropicais, especialmente na região Amazônica (ver seção 1 da presente tese). Neste estudo, eu busquei derivar indicadores demográficos a partir de aspectos térmicos de populações de *Ameiva ameiva* (Teiidae), *Gonatodes humeralis* (Sphaerodactylidae), e *Norops fuscoauratus* (Dactyloidae) de duas localidades na Amazônia brasileira, além de avaliar os possíveis efeitos das mudanças climáticas na sua dinâmica populacional. Apesar de apresentarem fisiologia e comportamento distintos, estas três espécies possuem distribuição ampla nos neotrópicos, vivendo sob diferentes condições ambientais através do gradiente latitudinal em que sua distribuição está inserida. Portanto, populações locais são passíveis de apresentarem diferentes respostas às condições ambientais locais, o que torna essas espécies interessantes modelos interessantes de estudo.

Uma vez que não existem estudos disponíveis para as espécies-alvo com estimativas de taxa de sobrevivência populacional baseadas em trabalhos de campo, tais quase estudos de marcação e recaptura, eu estimei um índice de tolerância baseado no conceito de tolerância

térmica voluntária como uma aproximação da sobrevivência (os limites superior e inferior das temperaturas estressante; CAMACHO; RUSCH, 2017; HUEY, 1982). O índice de tolerância foi considerado como a relação entre o limite superior de temperatura relacionado à restrição da atividade do animal e a temperatura operativa do ambiente (T_{oa}) em que o animal ocorre. Desta forma, combinamos os conceitos de adequabilidade térmica do ambiente com o modelo b-d e consideramos o índice de tolerância como uma característica vital para calcular a dinâmica populacional. O conceito de adequabilidade térmica considera que os habitats serão termicamente ideais se o conjunto de temperaturas ambientais disponíveis no micro-habitat ocupado pelo animal está dentro do espectro de temperaturas entre os limites mínimo e máximo de temperaturas voluntárias deste animal (VT_{min} and VT_{max} ; HERTZ et al., 1993). O b-d, ou modelo de nascimento-morte, por sua vez considera a relação entre as taxas de sobrevivência e reprodução para calcular a dinâmica populacional (STADLER, 2009; VOLKOV et al., 2003).

Para avaliar se o índice de tolerância e as taxas reprodutivas são sensíveis à taxa de crescimento populacional de lagartos, eu analisei sua sensibilidade, ou a resposta das taxas de crescimento à perturbações nas características vitais, e sua elasticidade, que quantifica a contribuição das taxas vitais para as taxas de crescimento (KROON et al., 2000). Por fim, eu simulei uma possível resposta da população ao aumento de temperatura previsto para o final do século 21 (FIELD et al., 2014), permitindo uma avaliação preliminar do potencial impacto das mudanças climáticas nestas populações. Desta forma, o objetivo da presente seção foi responder as seguintes questões: 1) Como a taxa de crescimento das populações analisadas responde aos seus índices de tolerância e taxas reprodutivas? 2) Em que extensão as características térmicas das espécies e sua dinâmica populacional estão relacionadas? 3) A que previsões podemos chegar sobre a influência das mudanças climáticas nestas populações para o final do século 21?

6.2 Materiais e Métodos

6.2.1 Espécies alvo

Ameiva ameiva (Teiidae; Figura 30) ocorre do Panamá, na América Central, até o norte da Argentina, na região leste dos Andes, e está presente tanto em florestas, quanto em vegetação de áreas abertas. A espécie frequentemente é encontrada termorregulando ativamente em áreas ensolaradas (a.k.a., espécie heliotérmica), o que resulta em T_c que podem exceder em até 12°C a temperatura do ar (AVILA-PIRES, 1995; DIELE-VIEGAS et al., 2018; DUELLMAN, 1978).

Figura 30 – *Ameiva ameiva*.



Fonte: Mauro Teixeira Junior; Direito de uso de imagem concedido.

Gonatodes humeralis (Sphaerodactylidae; Figura 31) é amplamente distribuída na Amazônia e arredores, sendo considerada uma das espécies de lagartos mais comuns em algumas partes do bioma. Sua distribuição alcança a costa da Venezuela e Guianas, bem como a ilha de Trinidad e Tobago ao norte e parte do bioma Cerrado em ambientes de floresta ao sul (AVILA-PIRES, 1995; MIRANDA; RICCI-LOBÃO; ROCHA, 2010). É encontrada principalmente em porções sombreadas de troncos de árvores e base de palmeiras, em até dois metros de altura, em todos os tipos de florestas e mesmo em parques urbanos com alguma densidade de árvores (AVILA-PIRES, 1995). É uma espécie termoconformista, o que significa que apresenta T_c bastante relacionada com a temperatura do ar e substrato, embora algumas

vezes 1–2°C mais altas(DIELE-VIEGAS et al., 2018; MIRANDA; RICCI-LOBÃO; ROCHA, 2010; VITT; ZANI; BARROS, 1997).

Figura 31– *Gonatodes humeralis*.



Fonte: Mauro Teixeira Jr.; direito de uso de imagem concedido.

Norops fuscoauratus (Dactyloidae; Figura 32) ocorre ao longo de toda a Amazônia e em parte da Mata Atlântica, ao longo da costa Brasileira, alcançando o sul do Espírito Santo (VANZOLINI, 1980). Assim como *G. humeralis*, é um morador de floresta, encontrado predominantemente pulando através da vegetação, principalmente em troncos, ramos e galhos a aproximadamente um metro de altura em relação ao solo. *Norops fuscoauratus* é também uma espécie termoconformista, com T_c relacionada à temperatura do substrato, mas em média 1.6°C mais alta do que este(DIELE-VIEGAS et al., 2018; VITT et al., 2003).

Figura 32 – *Norops fuscoauratus*.



Fonte: A autora.

6.2.2 Tabela de vida

As tabelas de vida foram construídas com base na literatura e dos dados de campo. Os grupos etários foram categorizados baseados em dados de tamanho corpóreo da literatura relacionados a condição reprodutiva para cada espécie, uma vez que dados diretos de idade não estão disponíveis. Considerando a escassez de dados e incertezas associadas, as taxas de crescimento populacional foram interpretadas com cautela e algumas possibilidades alternativas foram testadas. Para *A. ameiva*, eu considerei como classe etária 0 os indivíduos com tamanho corpóreo inferior a 88 mm; classe etária 1 indivíduos com tamanho corpóreo igual ou maior que 88 mm e menor que 125 mm; e classe etária 2 indivíduos com tamanho corpóreo igual ou superior a 125 mm (COLLI, 1991; VITT; COLLI, 1994). Para *G. humeralis*, eu considerei como classe etária 0 indivíduos com tamanho corpóreo menor que 31 mm; classe etária 1 indivíduos com tamanho corpóreo igual ou maior que 31 mm e inferior a 35 mm; e classe etária 2 indivíduos com tamanho corpóreo igual ou maior que 35 mm (AVILA-PIRES, 1995; VITT; ZANI; BARROS, 1997). Para *N. fuscoauratus*, eu considerei como classe etária 0 indivíduos com tamanho corpóreo inferior a 37 mm, classe etária 1 indivíduos com tamanho corpóreo variando de 37 mm a 40 mm; e classe etária 2 indivíduos com tamanho corpóreo igual ou superior a 40 mm (AVILA-PIRES, 1995; VITT et al., 2003).

As taxas reprodutivas também foram obtidas a partir de dados da literatura. O tamanho da ninhada de *A. ameiva* varia geograficamente, além de estar relacionado ao tamanho corpóreo (VITT.; COLLI, 1994). Desta forma, eu considerei os dados reprodutivos de duas populações do estudo de Vitt e Colli (1994), selecionadas devido à proximidade geográfica e de paisagem em relação às duas populações avaliadas aqui: Santa Cruz da Serra (Rondônia) e Rio Xingú, próximo à Altamira (Pará). Em Rondônia, a população apresentou média de tamanho corpóreo de 114 mm, tamanho corpóreo mínimo na maturidade de 88mm e média de tamanho da ninhada de 3,2 ovos, enquanto no Xingu esses números foram, respectivamente, 125,3mm, 109mm e 4,4 ovos. Baseando-me nestes dados e assumindo uma reprodução por ano para p classe etária 2, eu considerei uma taxa reprodutiva de 3,2 ovos na classe etária 1 ($88\text{mm} \leq \text{SVL} < 125\text{mm}$) e 4,4 na classe etária 2 ($\text{SVL} \geq 125\text{mm}$).

Apesar das fêmeas de *G. humeralis* produzirem apenas um ovo por evento reprodutivo, elas comumente retornam ao ninho ao menos uma vez, em curtos intervalos, para pôr ovos adicionais (AVILA-PIRES, 1995; MESQUITA et al., 2015; VITT et al., 2000). Fêmeas maiores tendem a investir relativamente menos energia na produção de cada ovo, o que sugere que elas podem produzir ovos mais frequentemente, resultando em uma taxa reprodutiva maior que a de fêmeas menores (VITT; ZANI; BARROS, 1997). Com isso, foram avaliadas duas possibilidades de taxas reprodutivas para esta espécie: b_x1) sem diferença entre fêmeas menores e fêmeas maiores com ambas produzindo dois ovos por ano, considerando um retorno ao ninho; b_x2) fêmeas menores produzindo dois ovos por ano, com um retorno ao ninho, e fêmeas maiores produzindo três ovos por ano, com dois retornos ao ninho.

A informação disponível em relação à *N. fuscoauratus* mostra que as fêmeas podem colocar apenas um ovo por ninhada, apesar de depositar até três ninhadas por ano (MESQUITA et al., 2015; VITT et al., 2008). Considerando a falta de evidências relacionando o tamanho corpóreo e o tamanho da ninhada para a espécie, mas a tendência geral de haver uma relação entre essas características (WINCK; ROCHA, 2012), eu avaliei duas possibilidades: b_x1) mesma taxa de reprodução para os diferentes tamanhos de fêmeas, com ambos produzindo três ovos por ano; b_x2) fêmeas menores produzindo um ovo por ano e fêmeas maiores produzindo três ovos por ano.

O índice de tolerância foi estimado considerando os dados de fisiologia térmica das populações analisadas, através da seguinte fórmula:

$$t_x = \frac{V_x}{N_x} \quad [1]$$

Onde t_x é o índice de tolerância na classe etária x ; V_x é o número de indivíduos na classe etária x cuja VT_{max} exceda a temperatura operativa do micro-habitat onde a população ocorre (T_e); e N_x é o número total de indivíduos na classe etária x . A VT_{max} corresponde ao limite superior de preferência de temperatura de atividade do animal (KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016), o que significa que temperaturas ambientais acima deste valor excedem a temperatura ideal para os animais permanecerem ativos. Portanto, considerou-se que somente os animais com $VT_{max} > T_e$ podem ser termicamente adaptados ao ambiente e, portanto, devem tolerar a sua temperatura.

6.2.3 Dados de campo

Foram obtidos dados fisiológicos durante duas expedições à Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará (1°27'S, 51°17'W) e uma expedição para a Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, (2°57'S, 59°55'W), entre junho de 2015 e abril de 2016. Ambas as localidades são caracterizadas pela condição isotérmica (baixa variação de temperatura), consequência da alta umidade relativa do ar durante o ano (COSTA et al., 2012; LUIZÃO; VASCONCELOS, 2002). Não há muita diferença entre as estações chuvosas, ocorrendo de janeiro a junho em Caxiuanã e dezembro a maio na Ducke. Apesar disso, Caxiuanã possui uma estação seca mais intensa, com 2-3 meses de menos de 60 mm de precipitação (**A**mda classificação de Köppen), enquanto a Ducke é categorizada como **Af** (COSTA et al., 2012; LUIZÃO; VASCONCELOS, 2002). Em ambas as localidades, a vegetação é representada predominantemente por Floresta ombrófila densa de terras baixas (terra firme), com a Ducke apresentando maior diversidade e densidade de árvores que Caxiuanã (COSTA et al., 2012; LUIZÃO; VASCONCELOS, 2002; STEEGE et al., 2003). Ambas as áreas também diferem topograficamente – As altitudes de Caxiuanã variam de 0 a 80 m, com a maior parte da Floresta de terra firme ocorrendo em altitudes de 40 a 60 m; A Floresta da Reserva Ducke é mais complexa topograficamente, apresentando platôs de 80 a 140 m (BACCARO et al., 2008).

Os lagartos foram capturados através de busca ativa e armadilhas de funil. O primeiro método consiste na busca visual na serrapilheira, troncos de árvores e vegetação em geral, cobrindo diferentes microambientes potencialmente ocupados por *G. humeralis* e *N.*

fuscocauratus, no período entre 8:00 e 17:00. As armadilhas de funil foram instaladas em áreas abertas e tinham aberturas em ambas as extremidades. Uma isca (geralmente grilos) foi colocada dentro das armadilhas para atrair indivíduos de *A. ameiva*. As armadilhas eram abertas todos os dias às 10:00, e as inspeções ocorreram às 11:00, 12:00, 13:00 e 14:00, horário que abrange o pico de atividade da espécie. Após esse período, as armadilhas eram fechadas para evitar a captura de outros animais até o dia seguinte.

Os animais foram transportados para o laboratório em sacos de pano, e o tempo entre a captura e a chegada no laboratório não ultrapassou duas horas. Em seguida, os animais foram mantidos em recipientes de plástico, com água disponível para evitar desidratação e buracos na tampa para facilitar as trocas gasosas. Não houve acesso à alimento até o final dos testes, que foram conduzidos durante seu período de atividade. Após os experimentos, os indivíduos foram liberados em seu local de captura original. Um máximo de 10 indivíduos de cada espécie foram depositados nas coleções herpetológicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), no Pará, e no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA-H), no Amazonas. Os procedimentos de eutanásia e fixação utilizados estão descritos nas seções 4 e 5, assim como o procedimento para medir a VT_{max} e a T_e . Para este último, 10 sensores de temperatura (HOBO 2x External Temperature Data Logger) com modelos de PVC pequenos foram posicionados na floresta, perto de raízes, troncos caídos e serapilheira, buscando cobrir o espectro de tipos de micro-habitats utilizados por *G. humeralis* e por *N. fuscocauratus*; e outros 10 foram posicionados nos limites florestais e em áreas abertas, com modelos maiores, simulando o micro-habitat utilizado por *A. ameiva*. Foi considerado como T_e a média de temperaturas obtidas por hora do dia durante o período de atividade das espécies.

O tamanho da amostra de cada classe etária foi baseado no número de indivíduos em que o VT_{max} foi medido em cada população. Foram testados um total de 22 indivíduos de *A. ameiva* em Caxiuanã e 20 na Ducke; 61 indivíduos de *G. humeralis* em Caxiuanã e 34 na Ducke; e 45 indivíduos de *N. fuscocauratus* em Caxiuanã e 50 na Ducke.

6.2.4 Análise dos dados

Todas as análises foram conduzidas em ambiente R 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). Para estimar a taxa de crescimento populacional, (λ), primeiro foi calculado o tamanho da população no evento reprodutivo seguinte ($er+1$). Para isso, foram considerados como número total de indivíduos da classe etária 0 em $er+1$ o produto do número total de indivíduos das classes etárias 1 e 2 em er e suas taxas reprodutivas [$Ce0_{re+1}=(b_j \times Ce1_{er})+(b_a \times$

Ce_{2_{re}}]); o número total de indivíduos da classe etária 1 foi considerado como o produto do número de indivíduos da classe etária 0 em *er* e sua taxa de tolerância [Ce_{1_{er+1}}=(t_j x Ce_{0_{er}})]; e o número total de indivíduos da classe etária 2 como o produto do número de indivíduos das classes etárias 1 e 2 e suas taxas de tolerância [Ce_{2_{re+1}}=(t_j x Ce_{1_{er}})+(t_a x Ce_{2_{re}})]. Em seguida, o λ foi calculado em função do número de indivíduos em uma *er* em relação ao *er* anterior. Como não foi possível levar outras pressões em consideração, tais como o envelhecimento e predação, considerou-se o λ como um limite superior de taxa de crescimento populacional.

Além disso, também foram calculados a sensibilidade do índice de tolerância e da taxa reprodutiva às alterações na taxa de crescimento populacional, através da equação característica deduzida da tabela de vida, a qual calcula a derivada de λ em relação à característica vital através da equação de Lotka e Euler (WALLINGA; LIPSITCH, 2007):

$$1 = \sum_{x=0}^L b_x \cdot t_x \cdot e^{-(\ln \lambda) \cdot x} \quad [2]$$

Com base nas tabelas de vida das populações analisadas, foi utilizada a seguinte equação característica:

$$\lambda^2 - t_0 \cdot b_1 \cdot \lambda - t_0 \cdot t_1 \cdot b_2 = 0 \quad [3]$$

Onde t_0 é o índice de tolerância da classe etária 0, t_1 é o índice de tolerância da classe etária 1, b_1 é a fertilidade da classe etária 1 e b_2 é a fertilidade da classe etária 2. A derivada de λ foi obtida em relação às diferentes características vitais (a_i 's) através do teorema da função implícita (LIMA, 2011), que prevê que todas as derivadas parciais de λ para os a_i 's podem ser obtidas derivando-se em relação a cada a_i e dividindo o resultado pela derivada da equação característica em relação a λ , como descrito abaixo:

$$\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial s_0} = -b_1 \cdot \lambda - b_2 \cdot t_1 \quad [4]$$

$$\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial s_1} = -b_2 \cdot t_0 \quad [5]$$

$$\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial b_1} = -t_0 \cdot \lambda \quad [6]$$

$$\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial b_2} = -t_0 \cdot t_1 \quad [7]$$

$$\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial \lambda} = 2 \cdot \lambda - b_1 \cdot t_0 \quad [8]$$

Desta forma, a sensibilidade foi calculada da seguinte maneira:

$$S(a_i) = - \frac{\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial a_i}}{\frac{\partial f(\lambda, a_i)}{\partial \lambda}} = - \frac{\partial \lambda}{\partial a_i} \quad [9]$$

E a elasticidade da seguinte maneira:

$$E(a_i) = S(a_i) \cdot \frac{a_i}{\lambda} \quad [10]$$

Por fim, simulou-se um aumento de 10% no a_i , de modo a permitir a estimativa da variação absoluta e relativa que isto poderia causar em λ , respectivamente:

$$V_{absolute}\lambda = S \cdot \left(\frac{a_i}{10}\right) \quad [11]$$

$$V_{relative}\lambda = 10 \cdot E \quad [12]$$

Para investigar os efeitos das mudanças climáticas futuras nas dinâmicas populacionais, futuras T_e s foram mensuradas como a soma dos valores atuais de T_e e a diferença entre as médias de temperatura anual (Bio1, WorldClim) previstas para o futuro em relação as atuais ($T_{e, futuro} = T_{e, presente} + (Bio1_{futuro} - Bio1_{presente})$), para a FLONA Caxiuanã e Reserva Ducke, extraídas através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015). Para tal, foram utilizadas camadas climáticas do modelo de circulação global MPI-ESM-LR (Max Planck Institute Earth System Model) a uma resolução de 0.0083333 graus (dimensionado em tamanho de célula de 1x1 km), o qual é o modelo climático que melhor capturou os padrões de temperatura e precipitação durante o período controle em escala global (ANAV et al., 2013). As T_e s futuras foram medidas para dois cenários de RCPs, um que assume +4.5 W/m² de força radioativa na atmosfera, referido aqui como RCP 4,5, e outro que assume +8.5 W/m², referido aqui como RCP 8,5, para as décadas de 2060–2080, referido aqui como 2070 (VUUREN et al., 2014). Em seguida, foi feita uma análise de priori de Jeffreys para calcular uma distribuição bayesiana posterior para cada índice de tolerância considerado aqui, buscando avaliar se as mudanças em λ e os eventuais declínios populacionais previstos ocorreram devido a efeitos aleatórios nos dados (Figura S5).

6.3 Resultados

Os indivíduos foram submetidos a uma média de T_e de 26,9°C em Caxiuanã, variando de 25,3°C a 28,8°C, e 27,9°C na Duce, variando de 23,9°C a 30,3°C. Foi previsto um aumento na temperatura média anual de 2,61°C em Caxiuanã, considerando o RCP 4,5, e 3,65°C considerando o RCP 8,5. Para a Duce, foi previsto um aumento de 2,87°C e 4,59°C para os RCPs 4,5 e 8,5, respectivamente. Desta forma, considerou-se que até 2070 os indivíduos serão submetidos a uma média de T_e de 29,49°C em Caxiuanã e 30,80°C na Duce em um cenário otimista, e 30,53°C em Caxiuanã e 32,52°C na Duce, em um cenário realista. As tabelas de vida de todas as populações estão representadas na Tabela 13, incluindo VT_{max} , t_x e b_x para todos os cenários avaliados e possibilidades de taxas reprodutivas.

Tabela 13 – Tabela de vida das populações analisadas.

		CE	$t_x(\text{ca})$	$t_x(\text{co})$	$t_x(\text{cr})$	b_{x1}	b_{x2}	N_0
<i>Ameiva ameiva</i>	Caxiuanã (29,22°C)	0	1	1	0,5	0	-	7
		1	0,71	0,29	0,21	3,2	-	14
		2	0	0	0,5	4,4	-	1
	Ducke (29,75°C)	0	0,83	0,5	0,17	0	-	6
		1	0,5	0,5	0,38	3,2	-	8
		2	0,5	0	0,5	4,4	-	6
<i>Gonatodes humeralis</i>	Caxiuanã (26,24°C)	0	0,5	0	0	0	0	8
		1	0,47	0,1	0	2	2	30
		2	0,46	0,08	0	2	3	13
	Ducke (28,26°C)	0	0,37	0	0	0	0	8
		1	0,5	0,2	0	2	2	10
		2	0,69	0,19	0,13	2	3	16
<i>Norops fuscoauratus</i>	Caxiuanã (28,52°C)	0	1	0,25	0	0	0	4
		1	1	1	1	3	1	3
		2	0,79	0,55	0,53	3	3	38
	Ducke (28,58°C)	0	0,6	0,1	0	0	0	9
		1	1	0,1	0,1	3	1	9
		2	0,59	0,1	0,1	3	3	32

Legenda: CE = classe etária; t_x = índice de tolerância (ca = cenário atual de emissão de gases do efeito estufa; co = cenário otimista; cr = cenário realista), b_{x1} = mesma taxa reprodutiva para ambas as classes etárias, b_{x2} = fêmeas menores produzindo menos ovos, N_0 = tamanho da amostra. Temperatura voluntária máxima (VT_{max}) entre parênteses.

Com exceção da população de *A. ameiva* de Caxiuanã, todas as populações apresentaram alto nível de confiança acerca da variação do lambda em ambos os cenários e taxas reprodutivas avaliadas (Tabela 14). Foi previsto que a população de *A. ameiva* da Ducke é passível de diminuir até 2070, considerando somente o cenário realista (RCP 8,5). Além disso, também foi previsto que ambas as populações de Caxiuanã e Ducke de *G. humeralis* tenderão a diminuir ao longo do tempo, considerando o cenário otimista (RCP 4,5) e ambas as possibilidades de taxa de reprodução avaliadas. Já para o cenário realista, ambas as populações são passíveis de alcançar um colapso imediato após um tempo de geração. Para *N.*

fuscoauratus, foi previsto que apenas a população da Ducke é passível de decair ao longo do tempo, considerando ambos os RCPs e possibilidades de taxa reprodutiva.

Tabela 14– Intervalos de confiança para as taxas de crescimento populacional.

		<i>Ameiva ameiva</i>			<i>Gonatodes humeralis</i>		<i>Norops fuscoauratus</i>	
		EGEE	IC	λ	IC	λ	IC	λ
b_{x1}	Caxiuanã	ca	2,97 – 4,10	2,29	0,67-1,99	1,26	1,88 – 3,77	2,30
		co	2,61 – 3,76	2,09	0,003 – 0,62	0,10	0,30 – 2,82	1,50
		cr	0,60 – 2,65	1,54	0,001 – 0,54	0,00	0,01 – 1,94	1,00
	Ducke	ca	1,88 – 3,82	1,98	0,47-1,82	1,15	1,34 – 3,47	1,93
		co	0,92 – 3,26	1,61	0,004 – 0,71	0,20	0,001 – 0,78	0,75
		cr	0,20 – 2,23	0,99	0,001 – 0,58	0,00	0,001 – 0,73	0,11
b_{x2}	Caxiuanã	ca	-	-	0,76-2,14	1,34	1,07 – 2,29	2,00
		co	-	-	0,005-0,65	0,10	0,29 – 1,79	1,42
		cr	-	-	0,001-0,53	0,00	0,02-1,33	1,00
	Ducke	ca	-	-	0,54 - 1,96	1,23	0,91 – 2,13	1,74
		co	-	-	0,006 – 0,75	0,20	0,001 – 0,35	0,47
		cr	-	-	0,001 - 0,60	0,00	0,001 – 0,35	0,11

Legenda: b_{x1} = mesma taxa reprodutiva para ambas as classes etárias, b_{x2} = fêmeas menores produzindo menos ovos, EGEE = Emissão de gases do efeito estufa, ca = cenário atual; co = cenário otimista; cr = cenário realista, IC = Intervalo de Confiança, λ = taxa de crescimento populacional. λ em negrito apresentam alto grau de confiança ($p < 0.05$).

Todas as populações apresentaram alta sensibilidade para as classes etárias 0 e 1 (Tabela 15). Além disso, com exceção da segunda possibilidade de taxa reprodutiva avaliada para *N. fuscoauratus*, todas as populações apresentaram alta elasticidade para a tolerância da classe etária 0 e as taxas de reprodução da classe etária 1 (Tabela 15). Considerando uma variação relativa hipotética de 10% na taxa de crescimento populacional, foi previsto que a

taxa vital mais impactada seria a tolerância da classe etária 0 para todas as populações(Tabela15).

Tabela 15- Sensibilidade e elasticidade das características vitais das populações avaliadas, com simulação de 10% da variação relativa no crescimento populacional em relação às taxas atuais.

		Caxiuana							Ducke					
		CV	A _i	S	E	V _{abs}	V _{rel}	λ _{sim}	A _i	S	E	V _{abs}	V _{rel}	λ _{sim}
<i>Ameiva ameiva</i>	b _{x1}	t _h	1,00	7,61	3,33	0,69	33,27	2,98	0,83	6,59	2,77	0,55	27,71	2,53
		t _j	0,71	3,20	1,00	0,23	9,99	2,52	0,50	2,83	0,71	0,14	7,14	2,12
		b _j	3,20	1,66	2,33	0,53	23,28	2,82	3,20	1,27	2,06	0,41	20,57	2,39
		b _a	4,40	0,52	1,00	0,23	9,99	2,52	4,40	0,32	0,71	0,14	7,14	2,12
<i>Gonotodes humeralis</i>	b _{x1}	t _h	0,50	2,28	0,91	0,11	9,07	1,37	0,38	2,12	0,69	0,08	6,91	1,23
		t _j	0,47	0,66	0,25	0,03	2,46	1,29	0,50	0,48	0,21	0,02	2,09	1,18
		b _j	2,00	0,42	0,66	0,08	6,61	1,34	2,00	0,28	0,48	0,06	4,82	1,21
		b _a	2,00	0,15	0,25	0,03	2,46	1,29	2,00	0,12	0,21	0,02	2,09	1,18
<i>Gonotodes humeralis</i>	b _{x2}	t _h	0,50	2,43	0,90	0,12	9,04	1,46	0,38	2,31	0,70	0,09	7,04	1,32
		t _j	0,47	0,89	0,31	0,04	3,10	1,38	0,50	0,66	0,27	0,03	2,66	1,26
		b _j	2,00	0,40	0,59	0,08	5,94	1,42	2,00	0,27	0,44	0,05	4,37	1,29
		b _a	3,00	0,14	0,31	0,04	3,10	1,38	3,00	0,11	0,27	0,03	2,66	1,26
<i>Norops fuscoauratus</i>	b _{x1}	t _h	1,00	6,20	2,70	0,62	27,01	2,92	0,60	4,26	1,32	0,26	13,23	2,19
		t _j	1,00	1,88	0,82	0,19	8,19	2,49	1,00	0,87	0,45	0,09	4,51	2,02
		b _j	3,00	1,44	1,88	0,43	18,82	2,73	3,00	0,56	0,87	0,17	8,72	2,10
		b _a	3,00	0,63	0,82	0,19	8,19	2,49	3,00	0,29	0,45	0,09	4,51	2,02
<i>Norops fuscoauratus</i>	b _{x2}	t _h	1,00	1,67	0,83	0,17	8,34	2,17	0,60	1,65	0,57	0,10	5,67	1,84
		t _j	1,00	1,00	0,50	0,10	5,00	2,10	1,00	0,62	0,36	0,06	3,59	1,80
		b _j	1,00	0,67	0,33	0,07	3,33	2,07	1,00	0,36	0,21	0,04	2,08	1,78
		b _a	3,00	0,33	0,50	0,10	5,00	2,10	3,00	0,21	0,36	0,06	3,59	1,80

Legenda: CV = característica vital, t_x = índice de tolerância, b_x = taxa reprodutiva, A_i = valores das características vitais, S = sensibilidade, E = elasticidade, V_{abs}= variação absoluta no crescimento populacional (λ), V_{rel} = variação relativa em λ, λ_{sim} = crescimento populacional simulado, com V_{rel}de 10%.

6.4 Discussão

Este foi o primeiro estudo integrando parâmetros de dinâmica populacional para estimar a sensibilidade de lagartos amazônicos frente às mudanças climáticas. Nossas interpretações foram baseadas em estimativas indiretas de tolerância ao aquecimento, considerando um índice que engloba ambos adequabilidade térmica do ambiente e o modelo de nascimento-morte para medir a dinâmica populacional. Dados fisiológicos vêm sendo utilizados para prever o risco de extinção de populações de lagartos, usualmente considerando temperaturas preferenciais ou VT_{max} como variável fisiológica informativa (KUBISCH; FERNÁNDEZ; IBARGÜENGOYTÍA, 2016; SINERVO et al., 2010, 2018). Especialmente nos últimos anos, os estudos têm focado em entender as relações entre o aquecimento do ambiente, a termorregulação, adaptação fisiológica, vulnerabilidade e extinção/persistência de populações nativas e espécies de lagartos (e.g., BUCKLEY et al., 2015; BUCKLEY; HUEY, 2016; MUNOZ et al., 2016), mas nenhum deles incorporou parâmetros de dinâmica populacional. Desta forma, o presente estudo é pioneiro na busca pela relação entre a fisiologia térmica e a taxa de crescimento populacional através de análises demográficas.

Nossos resultados demonstraram que ambas as populações de *G. humeralis* avaliadas, bem como a população da Ducke de *N. fuscoauratus*, são passíveis de se extinguirem localmente até 2070 em ambos os cenários de emissões de gases do efeito estufa considerados (RCP 4,5 e RCP 8,5). Apesar da Reserva Ducke ser atualmente uma reserva quase urbana, a Floresta Nacional de Caxiuanã está localizada próximo ao Arco do Desmatamento, região que marca a expansão da fronteira agrícola ao longo da borda entre o Norte e o Centro-Oeste do Brasil e coincide amplamente com a região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado (NAHUR et al., 2012). A trajetória do arco começa com o desmatamento provocado pela exploração seletiva de madeira e alta incidência de fogo, seguida pela conversão de milhares de quilômetros quadrados de savanas e florestas em pastos para alimentar a pecuária e plantações de soja, arroz e milho (NAHUR et al., 2012). Desta forma, a extinção local prevista para ambas as populações de *G. humeralis* devido à ausência de tolerância da classe etária 0 ao aumento da temperatura local pode ser um indicativo de fatores adicionais influenciando a vulnerabilidade destas populações, incluindo a proximidade em relação ao arco do desmatamento para a população de Caxiuanã e ao ambiente urbano para a população da Ducke.

Os modos com que os organismos podem lidar com as alterações nas condições ambientais por flexibilidade comportamental não são únicos e variam entre espécies em termos de capacidade adaptativa frente às mudanças climáticas (BEEVER et al., 2017). É importante ressaltar que, mesmo que ambas as populações de *A. ameiva* sejam passíveis de experimentar uma diminuição na sua taxa de crescimento populacional, para nenhuma delas foi previsto um cenário de extinção local, como foi previsto para *G. humeralis* e *N. fuscoauratus*. Isso pode ser devido às suas preferências térmicas, uma vez que *A. ameiva* apresenta temperatura de desempenho locomotor ótimo ($34,5^{\circ}\text{C}$) cerca de 6°C a 8°C mais alta que *G. humeralis* (26°C) e *N. fuscoauratus* ($27,8^{\circ}\text{C}$), e VT_{max} ($29,9^{\circ}\text{C}$) cerca de 1°C a 2°C mais alta (27°C e $27,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente; DIELE-VIEGAS et al., 2018), o que representa uma medida robusta acerca da tolerância térmica de lagartos (CAMACHO et al., 2018).

A característica vital mais sensível para todas as populações avaliadas em ambos os cenários de emissão de gases do efeito estufa foi a tolerância da classe etária 0, que também foi a característica vital mais impactada considerando uma variação hipotética na taxa de crescimento populacional. Este resultado é evidenciado pela simulação das mudanças previstas na dinâmica populacional devido às mudanças climáticas. A escassez de dados acerca da história natural e ecologia de lagartos limita o entendimento destes parâmetros para diversas espécies, restringindo análises populacionais mais profundas, especialmente em regiões megadiversas onde as espécies são relativamente pouco conhecidas (DUNHAM, 1994). Apesar dessa falta de informação, nossos resultados são consistentes com a ideia de que aumentos na temperatura do ambiente causados pelas mudanças climáticas tem o potencial de influenciar na dinâmica populacional dos répteis (LELIÈVRE et al., 2010).

Apesar de espécies heliotérmicas serem capazes e lidar com mudanças nas condições ambientais através da flexibilidade comportamental e capacidade adaptativa, e usualmente apresentarem VT_{max} mais altas que espécies termoconformadoras, o desempenho térmico de ectotérmicos em função da T_c tem sido considerado fixo ao longo da ontogenia (BEEVER et al., 2017; HEATWOLE; TAYLOR, 1987; SINCLAIR et al., 2016). Bases genéticas distintas para a adaptação de lagartos a ambientes térmicos distintos demonstram que fatores como a termorregulação circadiana podem ter um papel importante na adaptação das espécies e operar de maneira distinta em diferentes classes etárias (AKASHI et al., 2016). Além disso, quando a influência da T_c (e fatores que a influenciam) na ecologia e história natural de lagartos é testada, a temperatura média anual do ambiente é tida como negativamente

correlacionada com o tamanho da ninhada, idade na maturidade sexual e longevidade das espécies (MEIRI et al., 2013).

Desta forma, conclui-se que as populações da espécie termorreguladora ativa *A. ameiva* são passíveis de serem mais resistentes ao aumento de temperatura previsto em ambos os cenários de emissão de gases do efeito estufa (RCP 4,5 e RCP 8,5) em relação às demais espécies testadas. Além disso, ambas as populações de *G. humeralis*, bem como a população da Ducke de *N.fuscoauratus*, são passíveis de entrarem em colapso considerando ambos os cenários previstos, seja este colapso imediato ou ocorrendo dentro de poucas gerações. Estudos relacionados a sensibilidade e elasticidade associada a previsões de influência das mudanças climáticas nas populações fornecem a base teórica e empírica para estratégias conservacionistas biologicamente informativas, com o objetivo de minimizar as chances de que as previsões mais pessimistas se materializem, levando diversas espécies e populações de lagartos a se extinguirem.

6.5 Referências

- AKASHI, H. D. et al. **Differentially expressed genes associated with adaptation to different thermal environments in three sympatric Cuban Anolis lizards.** *Molecular Ecology*, [s.l.], v. 25, n° 10, p. 2273–2285, 2016. ISBN: 0962-1083, ISSN: 1365294X, DOI: 10.1111/mec.13625.
- ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.
- AVILA-PIRES, T. C. S. **Lizards of Brazilian Amazonia (Reptilia : Squamata).** [s.l.]: [s.n.], 1995. ISBN: 9073239400.
- BACCARO, F. B. et al. **A Reserva Ducke.** In: OLIVEIRA, M. L. et al. (Orgs.). *Reserva Ducke: A biodiversidade amazônica através de uma grade.* [s.l.]: Attema Design Editorial (ed), Manaus, 2008. p. 11–20.
- BEEVER, E. A. et al. **Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change.** *Frontiers in Ecology and the Environment*, [s.l.], v. 15, n° 6, p. 299–308, 2017. ISSN: 15409309, DOI: 10.1002/fee.1502.
- BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.
- BLAIR, W. F. **The rusty lizard: a population study.** [s.l.]: University of Texas Press, 1960.
- BOGERT, C. M. **How reptiles regulate their body temperature.** *Scientific American*, [s.l.], v. 200, n° 4, p. 105–120, 1959.
- BUCKLEY, L. B.; EHRENBERGER, J. C.; ANGILLETTA, M. J. **Thermoregulatory behaviour limits local adaptation of thermal niches and confers sensitivity to climate change.** *Functional Ecology*, [s.l.], v. 29, n° 8, p. 1038–1047, 2015. ISBN: 1365-2435, ISSN: 13652435, DOI: 10.1111/1365-2435.12406.
- BUCKLEY, L. B.; HUEY, R. B. **Temperature extremes: geographic patterns, recent changes, and implications for organismal vulnerabilities.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 22, n° 12, p. 3829–3842, 2016. ISBN: 1365-2486, ISSN: 13652486, DOI: 10.1111/gcb.13313.
- CAMACHO, A. et al. **Measuring behavioral thermal tolerance to address hot topics in ecology, evolution, and conservation.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, n° July 2017, p. 71–79, 2018. ISBN: 0093-691X, ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.009.
- CAMACHO, A.; RUSCH, T. W. **Methods and pitfalls of measuring thermal preference and tolerance in lizards.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 68, p. 63–72, 2017. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.03.010.
- CLUSELLA-TRULLAS, S.; CHOWN, S. L. **Lizard thermal trait variation at multiple scales: A review.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 184, n° 1, p. 5–21, 2014. ISBN: 0174-1578, ISSN:

01741578, DOI: 10.1007/s00360-013-0776-x.

COLLI, G. R. **Reproductive ecology of Ameiva ameiva (Sauria, Teiidae) in the Cerrado of central Brazil.** *Copeia*, [s.l.], v. 1999, n° 4, p. 1002–1012, 1991. ISBN: 0045-8511, ISSN: 0045-8511, DOI: 10.2307/1446095.

COSTA, A. C. L. et al. **Caracterização dos fatores abióticos: O clima da Floresta Nacional de Caxiuanã.** *Plano de Manejo da Floresta Nacional de Caxiuanã: Volume III - anexos.* [s.l.]: Brasília, DF, 2012.

DEWITT, C. B. **Precision of thermoregulation and its relation to environmental factors in the desert Iguana, *Dipsosaurus dorsalis*.** *Physiological Zoology*, [s.l.], v. 40, n° 1, p. 49–66, 1967.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, 2018. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

DU, W. G.; YAN, S. J.; JI, X. **Selected body temperature, thermal tolerance and thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in adult blue-tailed skinks, *Eumeces elegans*.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 25, n° 3, p. 197–202, 2000. ISBN: 0306-4565, ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/S0306-4565(99)00022-4.

DUELLMAN, W. E. **The biology of an equatorial herpetofauna in Amazonian Ecuador.** *Miscellaneous Publications*, [s.l.], n° 65, p. 1–352, 1978. ISBN: 9788578110796, ISSN: 1098-6596, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

DUNHAM, A. E. **Reproductive ecology. Introduction.** In: VITT, Laurie J.; PIANKA, E. R. (Orgs.). *Lizard ecology: historical and experimental perspectives.* [s.l.]: Princeton: Princeton University Press., 1994.

FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.

GUNDERSON, A. R.; STILLMAN, J. H.; GUNDERSON, A. R. **Plasticity in thermal tolerance has limited potential to buffer ectotherms from global warming.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 282, n° 20150401, p. 1–8, 2015. ISBN: 0962-8452, ISSN: 0962-8452, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.0401>.

HEATWOLE, H.; TAYLOR, J. **Ecology of Reptiles.** [s.l.]: 2nd ed., Surrey Beatty & Sons, Chipping Norton, NSW, 1987. ISBN: 0949324140.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.** *R package version 2.6-7.*, [s.l.], 2017.

HOFFMANN, A. a; SGRÒ, C. M. **Climate change and evolutionary adaptation.** *Nature*,

[s.l.], v. 470, n° 7335, p. 479–485, 2011. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature09670.

HUEY, R. B. ; SLATKIN, M. **Cost and Benefits of Lizard Thermoregulation.** *The Quarterly Review of Biology*, [s.l.], v. 51, n° 3, p. 363–384, 1976.

HUEY, R. B. **Temperature, physiology, and the ecology of reptiles.** *Biology of the Reptilia Vol. 12. Physiology C. Physiological Ecology*, [s.l.], v. 12, p. 25–91, 1982. ISBN: 0122746120, ISSN: 09670637, DOI: 10.1016/j.dsr.2014.07.003.

IRSCHICK et al. **Do Lizards Avoid Habitats in Which Performance Is Submaximal? The Relationship between Sprinting Capabilities and Structural Habitat Use in Caribbean Anoles.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 154, n° 3, p. 293–305, 1999. ISBN: 0003-0147, ISSN: 1537-5323, DOI: 10.1086/303239.

KIEFER, M. C.; SLUYS, M. VAN; ROCHA, C. F. D. **Thermoregulatory behaviour in *Tropidurus torquatus* (Squamata, Tropiduridae) from Brazilian coastal populations: An estimate of passive and active thermoregulation in lizards.** *Acta Zoologica*, [s.l.], v. 88, n° 1, p. 81–87, 2007. ISSN: 00017272, DOI: 10.1111/j.1463-6395.2007.00254.x.

KROON, H. DE et al. **Elasticities: A review of methods and model limitations (Special Feature).** *Ecology*, [s.l.], v. 81, n° 3, p. 607–618, 2000. ISBN: 00129658, ISSN: 0888-8892, DOI: 10.1890/0012-9658(2000)081[0607:EAROMA]2.0.CO;2.

KUBISCH, E. L.; FERNÁNDEZ, J. B.; IBARGÜENGOYTÍA, N. R. **Vulnerability to climate warming of *Liolaemus pictus* (Squamata, Liolaemidae), a lizard from the cold temperate climate in Patagonia, Argentina.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 186, n° 2, p. 243–253, 2016. ISBN: 1432-136X (Electronic)0174-1578 (Linking), ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-015-0952-2.

LELIÈVRE, H. et al. **Thermal strategies and energetics in two sympatric colubrid snakes with contrasted exposure.** *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*, [s.l.], v. 180, n° 3, p. 415–425, 2010. ISBN: 0174-1578, ISSN: 1432136X, DOI: 10.1007/s00360-009-0423-8.

LIMA, E. L. **Curso de análise.** 11 ed. ed. [s.l.]: Rio de Janeiro, IMPA, 2011. 1-148 p.

LUIZÃO, F. J.; VASCONCELOS, H. L. **Floresta Tropical Úmida (Manaus). Site 1.** *Os Sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração*, [s.l.], p. 11–27, 2002.

MEIRI, S. et al. **Are lizards feeling the heat? A tale of ecology and evolution under two temperatures.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 834–845, 2013. ISBN: 1466-8238, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/geb.12053.

MESQUITA, D. O. et al. **Juxtaposition and Disturbance: Disentangling the Determinants of Lizard Community Structure.** *Biotropica*, [s.l.], v. 47, n° 5, p. 595–605, 2015. ISSN: 17447429, DOI: 10.1111/btp.12236.

MILES, D. B.; DUNHAM, A. E. **Comparative analyses of phylogenetic effects in the life-history patterns of iguanid reptiles.** *The American Naturalist*, [s.l.], v. 139, n° 4, p. 848–869, 1992.

MILES, D.; DUNHAM, A. E. **Historical Perspectives in Ecology and Evolutionary Biology : The Use of Phylogenetic Comparative Analyses.** *Annual Review of Ecology and Systematics*, [s.l.], v. 24, p. 587–619, 1993. DOI: 10.1146/annurev.es.24.110193.003103.

MIRANDA, J. P.; RICCI-LOBÃO, A.; ROCHA, C. F. D. **Influence of structural habitat use on the thermal ecology of *Gonatodes humeralis* (Squamata : Gekkonidae) from a transitional forest in Maranhão , Brazil.** [s.l.], v. 27, n° 1, p. 35–39, 2010.

MUNOZ, M. M. et al. **Basking behavior predicts the evolution of heat tolerance in Australian rainforest lizards.** *Evolution*, [s.l.], v. 70, n° 11, p. 2537–2549, 2016. ISBN: 9788578110796, ISSN: 15585646, DOI: 10.1111/evo.13064.

NAHUR, A. et al. **Desmatamento e mudanças climáticas.** In: IN VAZQUES, R.; GONÇALVEZ, M. (Orgs.). *ARPA: Programa Áreas Protegidas da Amazônia – Um novo caminho para a conservação da Amazônia.* [s.l.]: [s.n.], 2012.

OFORI, B. Y. et al. **Influence of adaptive capacity on the outcome of climate change vulnerability assessment.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n° 1, 2017. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-017-13245-y.

PIANKA, E. R.; PARKER, W. S. **Ecology of Horned Lizards: A Review with Special Reference to *Phrynosomas Platyrhinos*.** *Copeia*, [s.l.], v. 1, n° 1, p. 141–162, 1975.

PONTES-DA-SILVA, E. et al. **Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, n° February, p. 50–60, 2018. ISBN: 0306-4565 (Print)0306-4565 (Linking), ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.013.

PORTER, W. P.; TRACY, C. R. **Biophysical analyses of energetics, time-space utilization and distributional limits.** In: HUEY, Raymond B.; PIANKA, E. R.; SCHOENER, T. W. (Orgs.). *Lizard ecology: studies of a model organism.* [s.l.]: Harvard Univ Press, Cambridge, MA., 1983. p. 55–83.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

RUIBAL, R. **Thermal Relations of Five Species of Tropical Lizards** Author(s): **Rodolfo Ruibal** Source:*Evolution*, [s.l.], v. 15, n° 1, p. 98–111, 1961.

SCHEFFERS, B. R. et al. **Microhabitats in the tropics buffer temperature in a globally coherent manner.** *Biology Letters*, [s.l.], v. 10, n° 12, p. 20140819–20140819, 2014. ISBN: 1744-9561, ISSN: 1744-9561, DOI: 10.1098/rsbl.2014.0819.

SHINE, R. **Relative Clutch Mass and Body Shape in Lizards and Snakes: Is Reproductive Investment Constrained or Optimized?***Evolution*, [s.l.], v. 46, n° 3, p. 828, 1992. ISBN: 0014-3820, ISSN: 00143820, DOI: 10.2307/2409650.

SINCLAIR, B. J. et al. **Can we predict ectotherm responses to climate change using thermal performance curves and body temperatures?** *Ecology Letters*, [s.l.], v. 19, n° 11, p. 1372–1385, 2016. ISBN: 1461-0248, ISSN: 14610248, DOI: 10.1111/ele.12686.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

_____. **Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai—Tibetan Plateau.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 13, n° 4, p. 450–470, 2018. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12315.

SINERVO, B.; ADOLPH, S. C. **Thermal sensitivity of growth rate in hatchling *Sceloporus* lizards: environmental, behavioral and genetic aspects.** *Oecologia*, [s.l.], v. 78, n° 3, p. 411–419, 1989. ISBN: 0029-8549, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/BF00379118.

STADLER, T. **On incomplete sampling under birth-death models and connections to the sampling-based coalescent.** *Journal of Theoretical Biology*, [s.l.], v. 261, n° 1, p. 58–66, 2009. ISBN: 0022-5193, ISSN: 00225193, DOI: 10.1016/j.jtbi.2009.07.018.

STEEGE, H. TER et al. **A spatial model of tree α -diversity and -density for the Amazon.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], v. 12, p. 1–19, 2003.

TINKLE, D. W. **The life and demography of the sideblotched lizard *Uta stansburiana*.** *Miscellaneous Publications - Museum of Zoology, University of Michigan*, [s.l.], v. 132, p. 1–182, 1967.

VANZOLINI, P. E. ***Coleodactylus septentrionalis*, sp. n., with notes on the distribution of the genus (Sauria, Gekkonidae).** *Papéis Avulsos de Zoologia*, [s.l.], v. 34, n° 1, p. 1–9, 1980.

VITT, J.; COLLI, G. R. **Geographical ecology of a Neotropical lizard: *Ameiva ameiva* (Teiidae) in Brazil.** *Canadian Journal of Zoology*, [s.l.], v. 72, n° November, p. 1986–2008, 1994. ISBN: 0008-4301, ISSN: 0008-4301, DOI: 10.1139/z94-271.

VITT, L. J. et al. **Niche segregation among sympatric Amazonian teiid lizards.** *Oecologia*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 0410, 2000. ISBN: 0029-8549, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s004420050047.

VITT, L. J.; ZANI, P. A.; BARROS, A. A. M. **Ecological variation among populations of the gekkonid lizard *Gonatodes humeralis* in the Amazon Basin.** *Copeia*, [s.l.], v. 1997, n° 1, p. 32–43, 1997. ISBN: 0045-8511, ISSN: 00458511, DOI: 10.2307/1447837.

VITT, L. J. et al. **The impact of individual tree harvesting on thermal environments of lizards in Amazonian rain forest.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 12, n° 3, p. 654–664, 1998. ISBN: 0888-8892, ISSN: 0888-8892, DOI: 10.1046/j.1523-1739.1998.96407.x.

VITT, Laurie J. et al. **Sharing Amazonian Rain-Forest Trees: Ecology of *Anolis punctatus* and *Anolis transversalis* (Squamata: Polychrotidae).** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 37, n° 2, p. 276–285, 2003. ISBN: 0022-1511, ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/0022-

1511(2003)037[0276:SARTEO]2.0.CO;2.

_____. **Ecology of *Anolis Nitens Brasiliensis* in Cerrado Woodlands of Cantão.** *Copeia*, [s.l.], v. 2008, n° 1, p. 144–153, 2008. ISBN: 0045-8511, ISSN: 0045-8511, DOI: 10.1643/CP-06-251.

VOLKOV, I. et al. **Neutral theory and relative abundance in ecology.** *Nature*, [s.l.], v. 424, n° 6952, p. 1035–1037, 2003. ISBN: 0028-0836, ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature01883.

VUUREN, D. P. VAN et al. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n° 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WALLINGA, J.; LIPSITCH, M. **How generation intervals shape the relationship between growth rates and reproductive em umbers.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 274, n° 1609, p. 599–604, 2007. ISBN: 0962-8452 (Print), ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.2006.3754.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

WILLIAMS, S. E. et al. **Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change.** *PLoS biology*, [s.l.], v. 6, n° 12, 2008. ISBN: 1545-7885, ISSN: 15457885, DOI: 10.1371/journal.pbio.0060325.

WINCK, G. R.; ROCHA, C. F. D. **Reproductive trends of Brazilian lizards (Reptilia, Squamata): The relationship between clutch size and body size in females.** *North-Western Journal of Zoology*, [s.l.], v. 8, n° 1, p. 57–62, 2012. ISSN: 18435629.

WITHERS, P. C. **Comparative Animal Physiology.** [s.l.]: Saunders College, Fort Worth Google Scholar, 1992.

7 BIOLOGIA TÉRMICA E O IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS POPULAÇÕES AMAZÔNICAS DE *CORALLUS HORTULANUS* (SQUAMATA: BOIDAE)

Manuscrito em revisão dos coautores:

Diele-Viegas, L. M. Santos, D. I. S., Santos, G. C., Cavalcante, V. H., Campelo, P.H., Martins, L., Pantoja, D., Pantoja, J. A., Caetano, G. H. O., Santos, J. C. Colli, G. R., Werneck, F. P., Avila-Pires, T. C. S., Miles, D. B., Sinervo, B. e Rocha, C. F. D. Thermal biology and climate change impacts on the Amazonian populations of the tree boa, *Corallus hortulanus*. *A ser submetido para Biological Conservation*.

RESUMO

A Floresta Amazônica é prevista de se tornar mais quente e seca nos próximos 100 anos por conta das mudanças climáticas. Unidades de Conservação (UCs) podem servir como zonas de mitigação dos efeitos do aumento da temperatura através da diminuição das taxas de desmatamento, uma vez que permitem altas taxas de estoque de carbono. A literatura corrente a respeito dos efeitos das mudanças climáticas em répteis squamata tem focado principalmente em lagartos, mas alguns estudos também sugerem alterações na distribuição e declínio populacional de serpentes. A presente seção visa apresentar alguns aspectos da biologia térmica da serpente *Corallus hortulanus* no bioma Amazônico. A qualidade térmica do ambiente ocupado pela espécie foi medida para o presente e para o futuro, e a probabilidade de persistência da espécie em um cenário de mudanças climáticas foi modelada considerando as UCs em que ela é passível de ocorrer. *Corallus hortulanus* já experimenta estresse térmico ambiental, de acordo com a qualidade térmica do bioma Amazônico, o que já se reflete na fisiologia térmica da espécie. Essa previsão é evidenciada pela sua larga tolerância térmica, a qual não é esperada para a maioria dos Squamata tropicais. Espera-se que a espécie experimente uma diminuição nas áreas termicamente adequadas, o que irá resultar em baixas probabilidades de ocorrência ao longo do bioma amazônico até 2070. Ao longo das 89 UCs em que a espécie é passível de ocorrer, o uso sustentável de recursos é permitido em 32, o que sugere a fragilidade destes ambientes. Além disso, a perda potencial de área dentro das UCs pode chegar a até 78% (Forest Plot Fundo Flamerich, Venezuela). Conclui-se que algumas estratégias, tais quais a implementação de políticas para sensibilizar a

população local, a ampliação das UCs e a criação de corredores ecológicos para reconectar áreas com boa adequabilidade térmica, podem ser essenciais para amenizar os efeitos das mudanças climáticas na sua sobrevivência.

Palavras-chave: Aquecimento global. Serpente. Modelo de distribuição de espécies. Unidades de Conservação.

ABSTRACT

The Amazon rainforest is predicted to become warmer and drier in the next 100 years due to climate change. Protected areas (PAs) can serve as buffer zones to mitigate effects of temperature increases by decreasing the rates of deforestation, since it will allow higher rates of carbon storage. Current literature on the effects of climate change on squamate reptiles has mostly focused on lizards, but some studies also suggest range shifts and population declines in snakes. This chapter aim to present some aspects of the thermal biology of the tree boa, *Corallus hortulanus*, in the Amazon Biome. Current and future thermal quality of the environment occupied by the species were evaluated and the probability of this species to persist in a future warmer Amazonia was modelled by considering the PAs where this taxon potentially occurs. *Corallus hortulanus* is already experiencing thermal stress in its environment as suggested by the low thermal quality in the Amazon Biome, which is already reflected in this taxon thermal physiology. This prediction is further evidenced by this species large range of thermal tolerances, which is not expected for most tropical squamates. The species is expected to experience a decrease in suitable areas, which will result in lower probabilities of occurrence all over the Amazon Biome by 2070. Among the 89 PAs in which the species is predicted to occur, the sustainable use of resources is allowed in 32, which suggest the fragility of this environment. Also, the loss the potential area loss inside PAs may reach up to 78% (Forest Plot Fundo Flamerich, Venezuela).It was concluded that some strategies, such as the implementation of politics to raise awareness of the local population, as well as the enlargement of the PAs and the creation of ecological corridors to reconnect areas with good thermal adequacy for this species may be paramount to buffer the effects of climate changes in its survival.

Keywords: Global Warming. Snake. Species Distribution Modeling. Protected Areas.

7.1 Introdução

Durante o século XXI é esperado que a Amazônia se torne mais quente e seca por conta das mudanças climáticas (ver seção 4 da presente tese), caso não sejam realizadas medidas mitigadoras indicadas pelo IPCC (FIELD et al., 2014). Em conjunto com a intensificação do uso da terra, isso pode levar a mudanças na estrutura das florestas, em um fenômeno conhecido como savanização (SAMPAIO et al., 2007). Essas mudanças nos padrões climáticos e na paisagem estão próximas de atingir um ponto crítico irreversível, o que pode levar a consequências negativas nos ciclos climáticos e hidrológicos globais (LOVEJOY; NOBRE, 2018). Tais mudanças abióticas podem ter impactos diretos na vulnerabilidade de organismos especializados, tais como espécies arbóreas ou dependentes temperatura do ambiente (FEELEY; REHM, 2012).

As Unidades de Conservação (UCs) podem inibir o avanço do desmatamento, amenizando os efeitos locais das mudanças climáticas e aumentando as taxas de armazenamento de carbono (RICKETTS et al., 2010). Apesar da sua criação não ter sido baseada em estudos voltados para avaliações de impacto das mudanças climáticas, muitas destas UCs irão eventualmente suportar diferentes ambientes e assembleias de espécies em um cenário de mudanças climáticas, atuando como um santuário de conservação da biodiversidade (GROSS et al., 2015). Dessa forma, uma vez que aproximadamente 30% do bioma está atualmente protegido, estas UCs tem sido consideradas como uma boa estratégia para proteger a biodiversidade amazônica de ameaças como uso da terra e das mudanças climáticas (GROSS et al., 2015; PRUSSMANN; SUÁREZ; CHAVES, 2017).

Serpentes são vertebrados ectotérmicos que dependem da temperatura do ambiente para alcançar suas temperaturas corpóreas ($T_{c,s}$) necessárias para manter seu metabolismo (HUEY; STEVENSON, 1979). A literatura acerca dos efeitos das mudanças climáticas em répteis Squamata tem focado principalmente em lagartos, com poucos estudos tratando de serpentes (Ver seção 1 da presente tese; e.g., CABRELLI; STOW; HUGHES, 2014; CATEN et al., 2017). Apesar disso, as previsões acerca de espécies e de declínio populacional indicam que as serpentes podem ser um grupo especialmente vulnerável (BOMBI et al., 2011; DAVIS et al., 2015; READING et al., 2010). Em florestas tropicais, a maioria das espécies apresenta menor tolerância às variações de temperatura em relação às espécies de ambientes temperados, uma vez que, de maneira geral, experimentam menores intervalos de variação na temperatura do ambiente (GEORGE et al., 2017; HUEY et al., 2009). Desta forma, serpentes

tropicais são passíveis de serem mais afetadas de forma negativa pelas mudanças climáticas do que as espécies de ambientes temperados, nos quais as condições climáticas são mais heterogêneas (GEORGE et al., 2017).

A presente seção tratou das nas populações amazônicas de *Corallus hortulanus* (Linnaeus, 1758) (Squamata: Boidae; Figura 33), uma espécie de serpente arborícola amplamente distribuída ao longo das Guianas, Amazônia e sudeste do Brasil (HENDERSON, 1997). Essa espécie é exclusivamente noturna, sendo normalmente encontrada a pelo menos um metro acima do solo em árvores ao longo da margem de rios, se escondendo na vegetação quando inativas (MARTINS; OLIVEIRA, 1999). Apesar de ser uma espécie amplamente distribuída, seu habitat e seus hábitos a tornam difícil de encontrar e capturar, o que em parte explica o fato de não haver estudos acerca de sua fisiologia térmica e, conseqüentemente, se desconhecer os potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre a espécie. Desta forma, nesta seção buscou-se caracterizar a biologia térmica de *C. hortulanus*, avaliar a qualidade térmica do bioma amazônico para a espécie e modelar seu risco de extinção local em um cenário de mudanças climáticas, considerando as UCs em que a espécie pode potencialmente ocorrer.

Figura 33 – *Corallus hortulanus*.



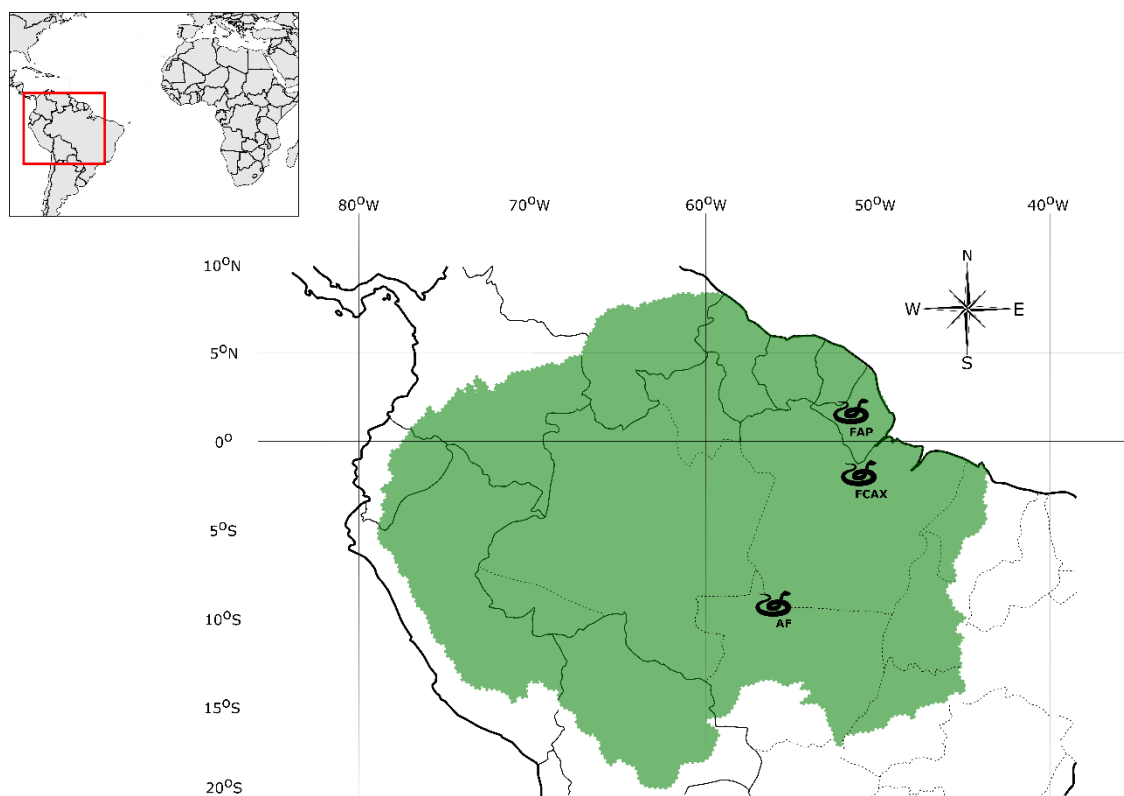
Fonte: (a) A autora, 2017.

7.2 Materiais e Métodos

7.2.1 Dados de campo

Foram coletados dados de fisiologia térmica de *C. hortulanus* em três localidades da Amazônia brasileira: Floresta Nacional do Amapá, Amapá (0°55'N, 51°36'W); Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará (1°44'S, 51°27'W); e município de Alta Floresta, Mato Grosso (09° 52'S, 56°05'W), entre setembro de 2015 e agosto de 2017 (Figura 34). As coletas fizeram parte dos projetos “Herpetofauna do Cerrado: Risco de Extinções Induzidas por Mudanças Climáticas”, coordenado pelo Dr. Guarino R. Colli (Universidade de Brasília), e “Biodiversidade e Mudanças Climáticas no ‘Arco do Desmatamento’ da Amazônia Brasileira”, coordenado pela Dra. Fernanda P. Werneck (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), e os dados foram obtidos sob licenças de coleta fornecidas pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) de número 13324-1, 49241 e 50381, e sob autorização do comitê de ética da Universidade de Brasília e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Todos os esforços foram tomados para minimizar o desconforto para os animais avaliados. Os indivíduos foram capturados através da busca ativa durante seu período de atividade e a manutenção em cativeiro seguiu o protocolo descrito na seção 3.

Figura 34 – Locais de amostragem de *Corallus hortulanus* na Floresta Amazônica.



Legenda: FAP = FLONA do Amapá; FCAX = FLONA Caxiuanã; AF = Alta Floresta. A área verde representa a extensão da Floresta Amazônica, enquanto as linhas pontilhadas mais finas representam os estados brasileiros e as linhas completas representam os limites internacionais.

Para caracterizar a fisiologia térmica dos animais, foram feitos testes de temperatura preferencial (T_{pref}) e temperatura crítica (máxima, CT_{max} , e mínima, CT_{min}) (DIELE-VIEGAS et al., 2018; adaptado de PARANJPE et al., 2012). A descrição da metodologia padrão dos testes de T_{pref} e críticos térmicos pode ser encontrada na seção 3. Como *C. hortulanus* é uma espécie noturna, o teste de T_{pref} foi adaptado com o posicionamento das lâmpadas de aquecimento na parte externa da caixa de madeira, de modo a permitir o aquecimento sem que a luz direta influenciasse no comportamento dos indivíduos.

Após os testes, o tamanho corpóreo dos indivíduos foi medido com uma régua de 0.1 mm de precisão. Todas as serpentes ($N = 9$) foram eutanasiadas com uma dose letal do anestésico Tiopental. Os espécimes foram posteriormente fixados em formol 10% e preservados em etanol 70%. As serpentes de Caxiuanã e Amapá (e respectivas amostras de tecido) foram depositadas na Coleção Herpetológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), enquanto as de Alta Floresta foram depositadas na Coleção Herpetológica da Universidade de Brasília (CHUNB).

Os dados de temperatura operativa ambiental (T_{oa}) foram obtidos através da instalação de Onset Hobo® data loggers (*U23-003 2 channel*) com modelos de PVC em uma gama de ambientes potencialmente utilizados pela espécie. Os dados foram coletados pelos Hobos a cada intervalo de um a dois minutos, tendo sido considerados somente os dados dos registros entre 17:00 e 2:00, período de atividade da espécie focal. A coleta de T_{oa} durou cerca de 10 dias em cada localidade, e os modelos consistiram em tubos de PVC pintados com tinta cinza brilhante, com cerca de 12 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro. Embora não represente o tamanho corpóreo real das serpentes, os modelos representam a região mediana do corpo, onde se localizam os órgãos vitais e onde também as medidas de temperatura corpórea foram efetuadas.

7.2.2 Análises

Todas as análises foram feitas em ambiente R3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). A extensão da preferência térmica, a extensão da tolerância térmica e a qualidade térmica do ambiente [\bar{a}_e ; (HERTZ et al., 1993)] foram calculados de acordo com a metodologia descrita na seção 3. Para prever a variação causada pelo aquecimento global na \bar{a}_e , foi considerada a variação na T_{oa} a partir da variação anual da temperatura média da Amazônia (Bio1, WorldClim). A variável Bio1 foi selecionada por ser afetada pelas temperaturas noturnas. As futuras T_{oas} foram medidas como a diferença entre os valores de temperatura previstos e os atuais, através dos pacotes raster (HIJMANS, 2017), rgdal (BIVAND; KEITT; ROWLINGSON, 2017) e gtools (WARNES; BOLKER; LUMLEY, 2015).

Além destes índices, o risco de extinção da espécie foi mensurado através de uma modelagem mecanicista que levou em consideração os dados biológicos da espécie. Os limites geográficos da Amazônia e suas áreas de proteção foram obtidos através da base de dados online *Geovisor of Conservation Opportunities in the Amazon Biome under Climate Change Considerations* (RAISG, 2017). Os dados de distribuição geográfica de *C. hortulanus* foram recuperados da literatura, nas coleções da CHUNB e MPEG e nas bases de dados Gbif e Vertnet (GBIF.ORG, 2018; VERTNET, 2018).

Os dados de distribuição foram utilizados para buscar por algum potencial refúgio climático em todo o bioma Amazônico. As horas de restrição de atividade (H_r) foram computadas para todos os meses do ano, e estes valores foram utilizados para definir os limites críticos em ecofisiologia e reprodução da espécie (SINERVO et al., 2010). O limite de 95% de confiança na distribuição de H_r foi utilizado como limite crítico de distribuição do

táxon (SINERVO et al., 2010, 2018). Se os valores de H_r computados no futuro excedem estes limites, assumiu-se que o local (1 x 1 km) não poderá mais sustentar a espécie. A confiabilidade da previsão sobre a espécie foi estimada pela avaliação do erro de amostragem associado com o grau de certeza da distribuição da espécie e o processo de estimativa do modelo de extinção (SINERVO et al., 2010, 2011, 2018). Desta forma, a probabilidade de persistência da espécie foi extraída tanto para o bioma como um todo, quanto para as unidades de conservação (UCs) em que a espécie é passível de ocorrer de acordo com sua distribuição atual.

Para as previsões acerca de \bar{a}_e de *C. hortulanus* e o cálculo de extinção, foi utilizado o modelo MPI-ESM-LR (*Max Planck Institute Earth System Model*) sob dois cenários de vias de concentração representativa (*Representative Concentration Pathways*, RCP) que assumem 4.5 W/m², referido como RCP 4.5, e 8.5 W/m², referido como RCP 8.5, para as décadas de 2060-2080, referido como 2070 (VUUREN et al., 2014). Desta forma, foi utilizado o modelo climático que melhor captura os padrões observados de precipitação e temperatura durante o período controle em escala regional e global (ANAV et al., 2013).

7.3 Resultados

As características de fisiologia térmica da serpente estão apresentadas na Tabela 16. A preferência térmica teve um alcance de 1,67°C, enquanto o alcance da tolerância térmica foi de 28,89°C. A T_{oa} experimentada pela espécie em cada localidade avaliada pode ser verificada na Tabela 17.

Tabela 16 - Dados de fisiologia térmica das populações de *Corallus hortulanus* avaliadas.

	T_{pref}	VT_{min}	VT_{max}	CT_{min}	CT_{max}
Alta Floresta (3)	27.90 ± 5.01	26.89 ± 4.74	28.72 ± 5.39	14.13 ± 2.65	33.83 ± 5.15
FLONA do Amapá (3)	28.10 ± 2.33	26.93 ± 3.11	29.03 ± 1.72	4.43 ± 0.45	39.27 ± 0.35
FLONA Caxiuanã (3)	23.83 ± 1.63	23.45 ± 1.34	24.25 ± 1.91	8.65 ± 3.04	40.97 ± 1.82
Média (9)	26.96 ± 3.58	26.05 ± 3.47	27.72 ± 3.78	9.13 ± 4.86	38.02 ± 4.23

Legenda: T_{pref} = Temperatura preferencial; VT_{min} = Temperatura voluntária mínima; VT_{max} = Temperatura voluntária máxima; CT_{min} = Temperatura crítica mínima; CT_{max} = Temperatura crítica máxima. FLONA = Floresta Nacional. Temperatura em °C ± Desvio Padrão. Tamanho da amostra por localidade é apresentado entre parênteses.

Tabela 17 - Temperatura operativa ambiental experimentada por *Corallus hortulanus* em três localidades da Amazônia brasileira.

	Alta Floresta (N=3)	FLONA do Amapá (N=3)	FLONA Caxiuanã (N=3)
5:00 PM	24.92 ± 1.70	26.57 ± 2.34	27.24 ± 3.23
6:00 PM	23.69 ± 1.43	26.50 ± 2.46	26.89 ± 2.71
7:00 PM	22.57 ± 1.34	26.47 ± 2.62	26.70 ± 2.76
8:00 PM	21.66 ± 1.28	26.54 ± 2.92	26.52 ± 2.75
9:00 PM	20.99 ± 1.28	26.46 ± 3.01	26.42 ± 2.94
10:00 PM	20.45 ± 1.30	26.39 ± 3.05	26.31 ± 3.06
11:00 PM	19.98 ± 1.35	26.52 ± 3.33	26.02 ± 2.96
12:00 AM	19.53 ± 1.39	26.50 ± 3.63	25.57 ± 2.73
1:00 AM	19.18 ± 1.41	26.43 ± 3.98	25.36 ± 3.08
2:00 AM	18.84 ± 1.42	26.29 ± 4.03	25.12 ± 3.24

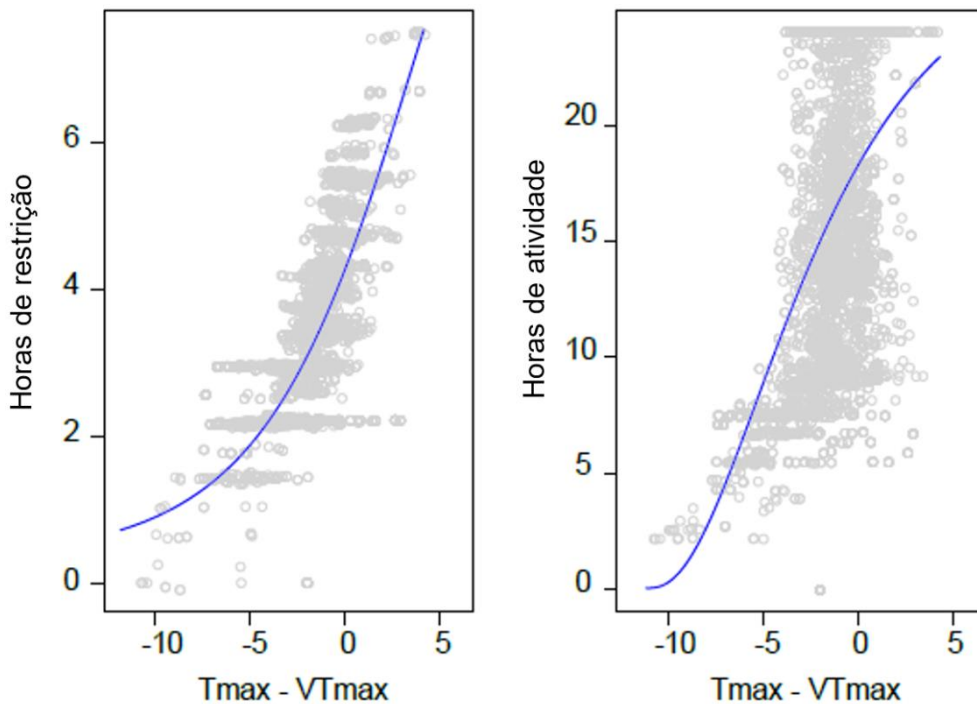
Legenda: Temperatura dada em °C ± Desvio Padrão. FLONA = Floresta Nacional.

A Amazônia apresenta uma adequabilidade térmica relativamente baixa para a espécie ($\bar{a}_e = 3,38$). Apesar disso, considerando o aumento de 4,60°C previsto na temperatura média

anual, previu-se que a mesma se tornará ainda menos adequada para a sobrevivência da espécie ($\bar{a}_e = 53,98$).

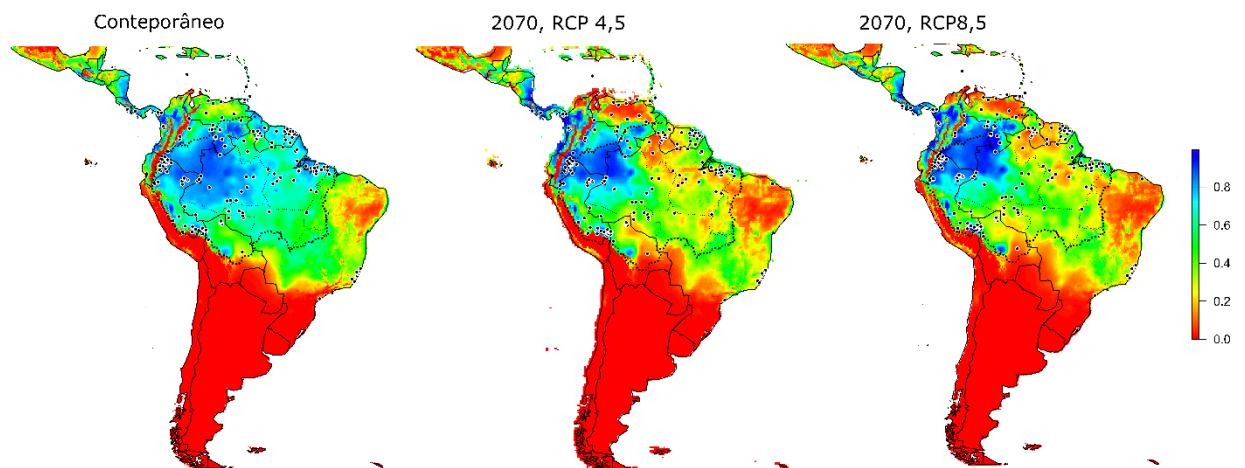
A dependência de H_r da espécie em $T_{max}-VT_{max}$ está ilustrada na Figura 35. Considerando toda a extensão do bioma, foi prevista uma redução de 30,5% na probabilidade de ocorrência da espécie considerando RCP 4,5, e 25,6% considerando RCP 8,5 (Figura 36). A maior parte das áreas com mais de 80% de adequabilidade térmica encontram-se atualmente na região do Amazonas, Perú, Colômbia, Equador e Venezuela, bem como na região do Marajó (Figura 36). As previsões para 2070 indicam uma redução da adequabilidade térmica no Marajó e no Amazonas para aproximadamente 50% (Figura 4). Além disso, em Roraima, Guiana e Suriname a adequabilidade térmica do ambiente para *C. hortulanus* atualmente gira em torno de 60 a 80%, mas as previsões demonstram uma tendência de redução, atingindo a completa inadequação em 2070 (Figura 36).

Figura 35 – Dependência das Horas de restrição (H_r) e Horas de atividade (H_a) de *Corallus hortulanus* em $T_{max} - Vt_{max}$.



Legenda: Pontos são os dados empíricos de temperatura operativa ambiental de *C. hortulanus*. A linha azul reflete a curva teórica de H_r e H_a , com base na Equação de Richards (SINERVO et al. 2010; 2018).

Figura 36 – Distribuição potencial atual e futura de *Corallus hortulanus*.



Legenda: A linha pontilhada representa a extensão do bioma amazônico enquanto as linhas pontilhadas mais finas representam os estados brasileiros e as linhas completas representam os limites internacionais. A graduação do mapa vai de 0 = ambiente termicamente inadequado a 1 = ambiente termicamente adequado.

O modelo previu que a distribuição contemporânea da espécie inclui atualmente 89 UCs, sendo 47 localizadas no Brasil (Tabela 18). Considerando o RCP 4,5, foi previsto um aumento na probabilidade de ocorrência da espécie em 15 UCs, sendo que quatro delas permite o uso sustentável de recursos e outras quatro não foram categorizadas (Tabela 18). Para todas as demais UCs foram previstas reduções na probabilidade de ocorrência da espécie, variando de -5,05% em uma área protegida para gestão de habitat, a -85,64% em um parque nacional (Tabela 18). Para o RCP 8,5, foi previsto um aumento na adequabilidade térmica para 19 UCs, sendo cinco de uso sustentável e quatro não categorizadas (Tabela 18). As previsões de perda de adequabilidade térmica variaram de -0,01% em um monumento natural, a -78,33% em uma UC não categorizada de acordo com a IUCN (Tabela 18).

Tabela 18 - Área de ocorrência potencial atual (AOPA) e futura (AOPF) de *Corallus hortulanus* dentro das Unidades de Conservação e potencial alteração na probabilidade de ocorrência da espécie (PAPO). (Continua)

Unidade de Conservação	País	Categoria IUCN	AOPA (km ²)	RCP 4.5		RCP 8.5	
				AOPF (km ²)	PAPO (%)	AOPF (km ²)	PAPO (%)
Reserva Biológica Jaru	Brasil	Ia	561.77	305.83	-45.56	262.17	-53.33
Estação Ecológica Maracá	Brasil	Ia	545.69	120.00	-78.01	186.14	-65.89
Estação Ecológica Serra dos Três Irmãos	Brasil	Ia	605.83	304.00	-49.82	293.34	-51.58
Reserva Biológica Limoncocha	Equador	Ia	814.00	899.00	10.44	938.00	15.23
Forest Biological Reserve Lucifer Dekou Dekou	Guiana Francesa	Ib	703.69	441.00	-37.33	349.63	-50.31
Parque Nacional Madidi	Bolívia	II	431.90	508.16	17.66	519.79	20.35
Parque Nacional Montanhas do Tumucumaque	Brasil	II	660.28	377.71	-42.80	345.62	-47.65
Parque Nacional Viruá	Brasil	II	577.90	83.00	-85.64	168.76	-70.80
Parque Estadual Guajará-Mirim	Brasil	II	559.94	252.50	-54.91	250.40	-55.28
Parque Estadual Sumaúma	Brasil	II	679.00	166.00	-75.55	278.00	-59.06
Parque Estadual Chandless	Brasil	II	639.32	473.00	-26.02	370.12	-42.11
Parque Nacional Amazônia	Brasil	II	677.57	193.25	-71.48	334.96	-50.56
Parque Nacional Nascentes do Lago Jari	Brasil	II	757.27	603.00	-20.37	611.47	-19.25
Parque Estadual Matupiri	Brasil	II	766.62	558.56	-27.14	573.27	-25.22
Parque Nacional Pico da Neblina	Brasil	II	795.20	697.07	-12.34	823.15	3.51
Parque Nacional Mapinguari	Brasil	II	638.83	361.21	-43.46	346.82	-45.71
Parque Estadual Utinga	Brasil	II	741.00	355.00	-52.09	390.00	-47.37
Parque Nacional Serra do Divisor	Brasil	II	674.50	567.09	-15.92	589.44	-12.61
Parque Nacional Natural Alto Fragua - Indiwasi	Colombia	II	310.68	799.00	157.18	686.45	120.95
Parque Nacional Natural Amacayacu	Colombia	II	805.58	813.67	1.00	816.31	1.33
Parque Nacional Yasuní	Equador	II	796.28	859.93	7.99	900.18	13.05
Parque Nacional Manu	Perú	II	679.57	635.91	-6.42	617.59	-9.12
Parque Nacional Bahuaja Sonene	Perú	II	687.44	777.13	13.05	778.80	13.29
Parque Nacional Güeppí-Sekime	Perú	II	768.27	805.50	4.85	862.33	12.24
National Park Serranía de la Neblina	Venezuela	II	793.86	752.00	-5.27	858.24	8.11

Tabela 18 - Área de ocorrência potencial atual (AOPA) e futura (AOPF) de *Corallus hortulanus* dentro das Unidades de Conservação e potencial alteração na probabilidade de ocorrência da espécie (PAPO). (Continuando)

Unidade de Conservação	País	Categoria IUCN	AOPA (km ²)	RCP 4.5		RCP 8.5	
				AOPF (km ²)	PAPO (%)	AOPF (km ²)	PAPO (%)
National Park Parima-Tapirapecó	Venezuela	II	724.29	589.02	-18.68	600.55	-17.08
National Park Yapacana	Venezuela	II	838.36	692.25	-17.43	956.06	14.04
Natural Monument Formaciones de Tepuyes	Venezuela	III	743.15	689.93	-7.16	743.05	-0.01
Refúgio de Vida Silvestre Metrôpole da Amazônia	Brasil	IV	742.00	385.50	-48.05	404.50	-45.49
Área de Relevante Interesse Ecológico Parque Ambiental Antonio Danubio Lourenço da Silva	Brasil	IV	708.00	355.00	-49.86	336.00	-52.54
Área de Relevante Interesse Ecológico Museu Parque Seringal	Brasil	IV	708.00	355.00	-49.86	336.00	-52.54
Regional Nature Reserve Trésor	Guiana Francesa	IV	786.75	747.00	-5.05	726.50	-7.66
National Nature Reserve La Trinité	Guiana Francesa	IV	727.84	530.00	-27.18	484.88	-33.38
National Nature Reserve Amana	Guiana Francesa	IV	663.00	341.00	-48.57	243.00	-63.35
Biotope Protection Order Sables blancs de Mana	Guiana Francesa	IV	689.00	402.00	-41.65	290.00	-57.91
National Nature Reserve Nouragues	Guiana Francesa	IV	755.82	659.50	-12.74	631.91	-16.39
National Nature Reserve Marais de Kaw-Roura	Guiana Francesa	IV	792.17	721.17	-8.96	716.92	-9.50
World Heritage Site Central Suriname Nature Reserve	Suriname	NA	676.99	208.20	-69.25	173.16	-74.42
Área Protegida Municipal Lago San José	Bolívia	NA	485.50	207.50	-57.26	306.50	-36.87
Área Protegida Municipal Lago Tumichucua	Bolívia	NA	478.00	216.00	-54.81	311.00	-34.94
Area Natural de Manejo Integrado Madidi	Bolívia	NA	398.83	513.57	28.77	462.87	16.06
Ramsar Site, Wetland of International Importance Reentrancias Maranhenses	Brasil	NA	631.01	500.71	-20.65	457.53	-27.49
National Park - Core Area Guyane (Parc Amazonien)	Guiana Francesa	NA	664.05	380.08	-42.76	350.63	-47.20
Ramsar Site, Wetland of International Importance Marais De Kaw	Guiana Francesa	NA	798.50	725.25	-9.17	712.50	-10.77
Zona Reservada Santiago Comaina	Perú	NA	749.02	835.00	11.48	875.73	16.92
Área de Conservación Regional Comunal Tamshiyacu Tahuayo	Perú	NA	776.60	729.80	-6.03	716.96	-7.68
Área de Conservación Regional Ampiyacu Apayacu	Perú	NA	819.13	833.40	1.74	848.86	3.63
Área de Conservación Regional Maijuna Kichwa	Perú	NA	828.60	847.14	2.24	858.70	3.63
Forest Plot Fundo Flamerich	Venezuela	NA	505.25	139.25	-72.44	109.50	-78.33
Forest Plot San Pedro	Venezuela	NA	597.38	481.71	-19.36	395.90	-33.73

Tabela 18 - Área de ocorrência potencial atual (AOPA) e futura (AOPF) de *Corallus hortulanus* dentro das Unidades de Conservação e potencial alteração na probabilidade de ocorrência da espécie (PAPO). (Continuando)

Unidade de Conservação	País	Categoria IUCN	RCP 4.5			RCP 8.5	
			AOPA (km ²)	AOPF (km ²)	PAPO (%)	AOPF (km ²)	PAPO (%)
Área de Proteção Ambiental Arquipélago do Marajó	Brasil	V	779.98	406.73	-47.85	485.00	-37.82
Área de Proteção Ambiental Região Metropolitana de Belém	Brasil	V	743.00	355.00	-52.22	400.00	-46.16
Área de Proteção Ambiental Parque Linear do Bindá	Brasil	V	674.00	176.00	-73.89	278.00	-58.75
Área de Proteção Ambiental Ilha do Combu	Brasil	V	788.00	386.00	-51.02	475.00	-39.72
Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses	Brasil	V	636.27	500.71	-21.30	470.62	-26.03
National Park - Buffer zone/Area of adhesion Guyane (Parc Amazonien)	Guiana Francesa	V	676.69	375.53	-44.50	321.31	-52.52
Regional Nature Park Guyane	Guiana Francesa	V	761.92	607.57	-20.26	600.68	-21.16
Reserva Nacional Amazônica Manuripi Heath	Bolívia	VI	569.77	404.40	-29.02	329.25	-42.21
Floresta Estadual de Faro	Brasil	VI	689.43	199.00	-71.14	322.72	-53.19
Reserva Extrativista Médio Purús	Brasil	VI	711.38	471.14	-33.77	432.32	-39.23
Floresta Nacional Caxiuanã	Brasil	VI	690.00	198.00	-71.30	298.50	-56.74
Reserva Extrativista Maracatiara	Brasil	VI	639.50	397.00	-37.92	370.00	-42.14
Reserva Extrativista Mogno	Brasil	VI	657.00	414.00	-36.99	392.00	-40.33
Floresta Nacional Jamari	Brasil	VI	689.57	465.67	-32.47	447.21	-35.15
Reserva Extrativista Garrote	Brasil	VI	625.33	363.50	-41.87	345.00	-44.83
Reserva Extrativista Lago do Capanã Grande	Brasil	VI	774.46	626.00	-19.17	643.40	-16.92
Floresta Nacional Tapajós	Brasil	VI	602.08	189.80	-68.48	192.02	-68.11
Reserva Extrativista Aquariquara	Brasil	VI	582.33	313.25	-46.21	272.67	-53.18
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Cujubim	Brasil	VI	793.70	719.09	-9.40	657.59	-17.15
Reserva Extrativista Seringueira	Brasil	VI	624.00	364.00	-41.67	340.67	-45.41
Reserva Extrativista Roxinho	Brasil	VI	621.50	364.00	-41.43	336.50	-45.86
Reserva Extrativista Terra Grande Pracuuba	Brasil	VI	777.32	317.50	-59.15	440.49	-43.33
Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Matupiri	Brasil	VI	737.07	453.00	-38.54	483.83	-34.36
Reserva Extrativista Massaranduba	Brasil	VI	635.00	380.00	-40.16	358.00	-43.62
Reserva Extrativista Mapuá	Brasil	VI	795.37	406.00	-48.95	532.33	-33.07

Tabela 18 - Área de ocorrência potencial atual (AOPA) e futura (AOPF) de *Corallus hortulanus* dentro das Unidades de Conservação e potencial alteração na probabilidade de ocorrência da espécie (PAPO). (Continuando)

Unidade de Conservação	País	Categoria IUCN	AOPA (km ²)	RCP 4.5		RCP 8.5	
				AOPF (km ²)	PAPO (%)	AOPF (km ²)	PAPO (%)
Floresta Estadual do Amapá	Brasil	VI	712.47	451.82	-36.58	459.61	-35.49
Floresta Nacional Amapá	Brasil	VI	687.62	435.83	-36.62	450.91	-34.42
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Igapó-Açu	Brasil	VI	769.65	562.80	-26.88	579.37	-24.72
Floresta Nacional Balata-Tufari	Brasil	VI	714.92	501.86	-29.80	510.69	-28.57
Reserva Extrativista Marinha Mocapajuba	Brasil	VI	773.00	518.50	-32.92	493.00	-36.22
Reserva Extrativista São João da Ponta	Brasil	VI	771.17	520.00	-32.57	500.83	-35.06
Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno	Equador	VI	793.15	843.43	6.34	898.13	13.24
Managed Resource Use Area Kanuku Mountains Protected Area	Guiana	VI	510.64	131.00	-74.35	131.59	-74.23
Wilderness Reserve/Managed Resource Use Area Iwokrama	Guiana	VI	678.23	259.33	-61.76	241.57	-64.38
Reserva Nacional Tambopata	Perú	VI	734.44	680.25	-7.38	692.30	-5.74
Bosque de Protección San Matias San Carlos	Perú	VI	717.83	767.00	6.85	738.02	2.81
Reserva Comunal Amarakaeri	Perú	VI	778.91	876.17	12.49	889.07	14.14
Reserva Comunal Airo Pai	Perú	VI	777.04	811.00	4.37	847.87	9.12
Biosphere Reserve Alto Orinoco-Casiquiare	Venezuela	VI	776.28	676.80	-12.81	856.00	10.27

Legenda: Previsões baseadas no cenário realista de emissões de gases do efeito estufa, para o período de 2060-2080. Valores positivos de PAPO indicam potencial aumento na probabilidade de ocorrência, enquanto valores negativos (em negrito) indicam potencial diminuição. Categorias da IUCN: Ia = Reserva Natural Estrita; Ib = Área de Vida Selvagem; II = Parque Nacional; III = Monumento Natural; IV = Área de Gestão de Espécie/Habitat; V = Paisagem Protegida; VI = Área protegida com uso sustentável de recursos.

7.4 Discussão

Foi constatado que, apesar de *C. hortulanus* apresentar uma variação restrita na preferência térmica, a espécie apresenta uma grande tolerância térmica. Esse resultado se opõe ao conceito geral de que espécies tropicais apresentariam menor tolerância a variações de temperatura (GEORGE et al., 2017; HUEY et al., 2009), indicando que *C. hortulanus* pode vir a apresentar um certo grau de resiliência às alterações climáticas, apesar de ficar desconfortável em temperaturas acima da sua faixa de ajuste.

A qualidade térmica da Amazônia é atualmente baixa para *C. hortulanus*, e ficará ainda mais baixa até 2070, considerando as previsões de alterações na temperatura do ambiente. Uma vez que as oportunidades de termorregulação são restritas em ambientes termicamente homogêneos, como as florestas tropicais (SEEBACHER; FRANKLIN, 2005), este resultado pode representar uma pressão seletiva para a otimização da habilidade de termorregulação da espécie, o que explicaria por que esta espécie possui um grande alcance de tolerância térmica.

Foi previsto que *C. hortulanus* vai experimentar uma diminuição na sua probabilidade de ocorrência média devido a alterações na adequabilidade térmica do bioma. Porém, a redução média prevista foi maior para o cenário mais otimista de emissão de gases do efeito estufa, indicando que a variação climática em escala local tem mais influência na vulnerabilidade da espécie do que a variação média do bioma. Considerando suas dimensões continentais, o bioma irá experimentar diferentes níveis de exposição às mudanças climáticas ao longo de sua extensão (vide seção 4). Desta forma, considerar a vulnerabilidade de uma espécie baseada na média para toda a extensão do bioma pode trazer um viés de interpretação devido à grande heterogeneidade climática da região.

Dentre as 89 UCs em que a espécie é passível de ocorrer, o uso sustentável de recursos é permitido em 32 delas. Destas, 13 são reservas extrativistas, o que significa que podem ser exploradas por agricultura e pecuária de subsistência (PHILLIPS, 2006). Isso pode indicar uma fragilidade destes ambientes, uma vez que o uso da terra pode levar a um aumento da perda de habitat da espécie em escala local, além de levar a um aumento dos efeitos locais das mudanças climáticas devido ao desmatamento (SOARES-FILHO et al., 2010). Com isso, nossas previsões para a probabilidade de ocorrência de *C. hortulanus* dentro dessas áreas podem vir a se tornar superestimadas, considerando que não foi avaliado no presente estudo o potencial aumento no desmatamento considerando o uso da terra nas UCs.

Serpentes são animais normalmente desprezados e temidos pelos humanos, o que leva a sua morte indiscriminada (VASCONCELOS-NETO et al., 2018). Considerando que reservas extrativistas são criadas com base na população humana local e o uso tradicional sustentável da floresta (AMARAL; RODRIGUES, 2017), uma alternativa para diminuir a vulnerabilidade da espécie nestas áreas seria promover a sensibilização da população local acerca da importância de se preservar a diversidade local de serpentes. Além disso, a expansão da área ocupada pelas UCs e a criação de corredores ecológicos entre estas, como visto nas seções 4 e 5, também pode auxiliar na conservação das espécies, permitindo a sua locomoção em busca de áreas mais adequadas termicamente e protegendo áreas pouco impactadas pelas mudanças climáticas (MAWDSLEY; O'MALLEY; OJIMA, 2009).

Os resultados encontrados Na presente seção sugerem que *C. hortulanus* (assim como *T. atlantica*, estudada na seção 3) já estaria sob os efeitos negativos das mudanças climáticas. *Corallus hortulanus* vive em ambientes com baixa qualidade térmica, o que se reflete em sua fisiologia. A probabilidade de ocorrência da espécie é passível de diminuir em todo o bioma até 2070, alcançando até 78% de potencial perda de área adequada dentro de algumas UCs, embora outras apresentem um potencial aumento da sua adequabilidade térmica. Estratégias como a adoção de políticas de sensibilização da população local, bem como a ampliação de UCs e a criação de corredores ecológicos reconectando áreas com boa adequabilidade térmica para a espécie, podem ser essenciais para que seja possível atenuar os efeitos das mudanças climáticas na sobrevivência da espécie.

7.5 Referências

- AMARAL, V. S.; RODRIGUES, J. C. **Conflicts and interests in the “construction” process of ER Mapuá, Marajó, Pará.** *InterEspaço*, [s.l.], v. 3, n° 8, p. 225–250, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v3n8p225-250> CONFLITOS.
- ANAV, A. et al. **Evaluating the land and ocean components of the global carbon cycle in the CMIP5 earth system models.** *Journal of Climate*, [s.l.], v. 26, n° 18, p. 6801–6843, 2013. ISBN: 0894-8755, ISSN: 08948755, DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00417.1.
- BIVAND, R.; KEITT, T.; ROWLINGSON, B. **Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library.** *R package version 1.2-16*, [s.l.], 2017.
- BOMBI, P. et al. **Potential effects of climate change on high- and low- abundance populations of the Gaboon viper (*Bitis*).** [s.l.], n° September 2017, 2011. ISSN: 0268-0130.
- CABRELLI, A.; STOW, A.; HUGHES, L. **A framework for assessing the vulnerability of species to climate change: a case study of the ustralian elapid snakes.** *Biodiversity and Conservation*, [s.l.], p. DOI 10.1007/s10531-014-0760-0, 2014.
- CATEN, C. Ten et al. **Evaluating the Effectiveness of Brazilian Protected Areas Under Climate Change.** *Tropical Conservation Science*, [s.l.], v. 10, p. 194008291772202, 2017. ISSN: 1940-0829, DOI: 10.1177/1940082917722027.
- DAVIS, M. A. et al. **Nowhere to go but up: Impacts of climate change on demographics of a short-range endemic (*Crotalus willardi obscurus*) in the sky-islands of southwestern North America.** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 10, n° 6, 2015. ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0131067.
- DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata).** *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n° 3, p. 1–23, 2018. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.
- FEELEY, K. J.; REHM, E. M. **Amazon’s vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 18, n° 12, p. 3606–3614, 2012. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.12012.
- FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.
- GBIF.ORG. **GBIF Occurrence Download.** 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.15468/dl.zrxehx>>. Acesso em: 19/nov./18.
- GEORGE, A. D. et al. **Resource selection by an ectothermic predator in a dynamic thermal landscape.** *Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 7, n° 22, p. 9557–9566, 2017. ISSN: 20457758, DOI: 10.1002/ece3.3440.
- GROSS, J. et al. **Responding to Climate Change: Guidance for protected area managers and planers.** [s.l.]: [s.n.], 2015. 110 p. ISBN: 9782831718347.

HENDERSON, R. W. **A taxonomic review of the *Corallus hortulanus* complex of neotropical tree boas.** *Caribbean Journal of Science*, [s.l.], v. 33, n° 3–4, p. 198–221, 1997. ISBN: 0008-6452, ISSN: 00086452.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

HIJMANS, R. J. **raster: Geographic Data Analysis and Modeling.** *R package version 2.6-7*, [s.l.], 2017.

HUEY, R. B. et al. **Why tropical forest lizards are vulnerable to climate warming.** *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, [s.l.], v. 276, n° 1664, p. 1939–48, 2009. ISBN: 0962-8452 (Print)n0962-8452 (Linking), ISSN: 0962-8452, DOI: 10.1098/rspb.2008.1957.

HUEY, R. B.; STEVENSON, R. D. **Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: A discussion of approaches.** *Integrative and Comparative Biology*, [s.l.], v. 19, n° 1, p. 357–366, 1979. ISBN: 0003-1569, ISSN: 15407063, DOI: 10.1093/icb/19.1.357.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. **Amazon Tipping Point.** *Science Advances*, [s.l.], v. 4, n° 2, p. eaat2340, 2018. ISBN: 2375-2548, ISSN: 23752548, DOI: 10.1126/sciadv.aat2340.

MARTINS, M.; OLIVEIRA, M. E. **Natural history of snakes in forests in the Manaus region, Central Amazonia, Brazil.** *Herpetological Natural History*, [s.l.], v. 6, n° 2, p. 78–150, 1999.

MAWDSLEY, J. R.; O'MALLEY, R.; OJIMA, D. S. **A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 23, n° 5, p. 1080–1089, 2009. ISBN: 1523-1739 (Electronic)n0888-8892 (Linking), ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x.

PARANJPE, D. A. et al. **Measuring Thermal Profile of Reptiles in Laboratory and Field.** In: ANDREW SPINK, FABRIZIO GRIECO, OLGA KRIPS, LEANNE LOIJENS, LUCAS NOLDUS, P. Z. (Org.). Utrecht, The Netherlands: [s.n.], 2012. 460-462 p. ISBN: 9789074821872.

PHILLIPS, N. D. and A. **Guidance on the use of the IUCN protected area management categories.** [s.l.]: [s.n.], 2006. 58 p. ISBN: 9782831708287.

PRUSSMANN, J.; SUÁREZ, C. F.; CHAVES, M. E. **Atlas de oportunidades de conservación en el bioma amazónico bajo consideraciones de cambio climático. Iniciativa Visión Amazónica.** [s.l.]: [s.n.], 2017. 80 p. ISBN: 9789588915463.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing.** *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.*, [s.l.], n° <https://www.R-project.org/>, 2018.

RAISG. **Amazon Geo-Referenced Socio-Environmental Information Network.** 2017. Disponível em: <<https://www.amazoniasocioambiental.org/>>.

READING, C. J. et al. **Are snake populations in widespread decline?** *Biology Letters*, [s.l.], v. 6, n^o 6, p. 777–780, 2010. ISBN: 1744-9561, ISSN: 1744957X, DOI: 10.1098/rsbl.2010.0373.

RICKETTS, T. H. et al. **Indigenous lands, protected areas, and slowing climate change.** *PLoS Biology*, [s.l.], v. 8, n^o 3, p. 6–9, 2010. ISBN: 1544-9173, ISSN: 15449173, DOI: 10.1371/journal.pbio.1000331.

SAMPAIO, G. et al. **Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion.** *Geophysical Research Letters*, [s.l.], v. 34, n^o 17, 2007. ISBN: 0094-8276, ISSN: 00948276, DOI: 10.1029/2007GL030612.

SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. **Physiological mechanisms of thermoregulation in reptiles: A review.** *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, [s.l.], v. 175, n^o 8, p. 533–541, 2005. ISBN: 0174-1578, ISSN: 01741578, DOI: 10.1007/s00360-005-0007-1.

SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n^o 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

_____. **Response to Comment on “Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches”.** *Science*, [s.l.], v. 332, n^o 6029, p. 537–537, 2011. ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/science.1195348.

_____. **Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Qinghai—Tibetan Plateau.** *Integrative Zoology*, [s.l.], v. 13, n^o 4, p. 450–470, 2018. ISSN: 17494877, DOI: 10.1111/1749-4877.12315.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n^o 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

VASCONCELOS-NETO, L. B. et al. **O conhecimento tradicional sobre as serpentes em uma comunidade ribeirinha no centro-leste da Amazônia.** *Ethnoscintia*, 3, ISSN: 2448-1998. DOI: 10.22276/ethnoscintia.v3i0.157

VERTNET. **VertNet Portal.** 2018. Disponível em: <<http://vertnet.org/>>. Acesso em: 28/nov./18.

VUUREN, D. P. VAN et al. **A new scenario framework for Climate Change Research: Scenario matrix architecture.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 122, n^o 3, p. 373–386, 2014. ISBN: 1058401309061, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-013-0906-1.

WARNES, G. R.; BOLKER, B.; LUMLEY, T. **gtools: Various R Programming Tools.** *R package version 3.5.0.*, [s.l.], 2015.

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

CONTEXTUALIZAÇÃO

A temática de mudanças climáticas e seus impactos na biodiversidade vem sendo abordada nas últimas décadas, sobretudo no meio acadêmico, por se tratar de um fenômeno global causado pelo homem que já apresenta evidência de consequências desastrosas (FIELD et al., 2014). Apesar do vasto conhecimento acadêmico acerca das alterações climáticas e seus efeitos locais, regionais e até mesmo globais (e.g., DUPOUÉ et al., 2017; FEELEY; SILMAN, 2016; SEDDON et al., 2016), a comunidade científica peca em levar os resultados de suas pesquisas para o público leigo, que por sua vez acaba não tomando conhecimento acerca das descobertas mais recentes na temática das mudanças climáticas.

Em 2006, o ex-vice-presidente dos Estados Unidos, jornalista e ecologista Al-Gore estreou o documentário “Uma Verdade Inconveniente”, onde expõe em 94 minutos as consequências das mudanças do clima causados pelo homem. O documentário foi transmitido ao redor do mundo, e ganhou o Oscar de melhor documentário e melhor canção original. Em 2017, Al-Gore lançou a sequência do documentário, “Uma verdade mais inconveniente”, onde transfere o debate para o palco político após a posse do atual presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, que defende a inexistência do fenômeno.

Apesar da relevância destes documentários para a divulgação das consequências das mudanças climáticas em um âmbito socioeconômico, as pesquisas sobre os efeitos destas mudanças na biodiversidade – e a implicação disso para a sociedade - ainda apresentam um déficit de divulgação para o público não especializado. No Brasil, esse déficit se mostra ainda maior, considerando que mesmo as pesquisas científicas sobre os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade ainda se encontram em fase inicial, havendo poucos artigos publicados considerando diferentes grupos de organismos. Desta forma, o foco da divulgação científica sobre as mudanças climáticas no Brasil ainda é voltado somente para o âmbito socioeconômico (e.g., ANDRADE; SILVA; SOUZA, 2014; FRANKE; HACKBART, 2008; IWAMA et al., 2016).

Os répteis são bons modelos para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade devido à sua ectotermia, ou seja, dependência da temperatura ambiental para regulação da temperatura corpórea e consequente manutenção fisiológica. Muitas espécies já foram avaliadas como vulneráveis às mudanças climáticas, e é previsto que extinções locais

ocorram em diversas famílias ao redor do mundo (SINERVO et al.2010, MEIRI et al.2013).

As partes I e II da presente tese buscaram avaliar os impactos das mudanças climáticas em dois diferentes sistemas: o Arquipélago de Fernando de Noronha e a Amazônia. Para o arquipélago, foi previsto que o aumento do nível do mar poderá inundar cerca de 35% da sua área total, além de uma inversão nos seus padrões climáticos, com a estação seca se tornando mais úmida e a estação úmida se tornando mais seca. Além disso, foi visto que a espécie de lagarto endêmica do arquipélago é altamente vulnerável às mudanças climáticas, sendo passível de se extinguir até 2070.

Já para a Amazônia, previu-se que os efeitos combinados das mudanças climáticas e as perspectivas políticas do Brasil podem levar a perdas irreversíveis em sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos, o que pode indicar um colapso iminente do ecossistema e consequentes implicações drásticas para produtividade agrícola e manutenção humana. A região apresenta grandes perdas de adequabilidade térmica para as espécies de lagartos avaliadas, bem como para uma espécie de serpente amplamente distribuída ao longo do bioma.

Ao longo do desenvolvimento da presente tese, foram gerados oito manuscritos publicados/submetidos em revistas científicas indexadas, demonstrando o alto volume de informação científica gerado pelo presente trabalho, o qual viabiliza a produção de material de divulgação robusto e acurado. Desta forma, Nas próximas seções buscou-se traduzir essa informação científica em produtos de divulgação, visando sensibilizar a comunidade não-científica acerca da influência das mudanças climáticas no sistema e biodiversidade (com enfoque nos répteis) do Arquipélago de Fernando de Noronha e da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. J. P.; SILVA, N. M.; SOUZA, C. R. **As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar.** *Desenvolvimento e Meio ambiente*, [s.l.], v. 31, p. 77–96, 2014.
- DUPOUÉ, A. et al. **Water availability and environmental temperature correlate with geographic variation in water balance in common lizards.** *Oecologia*, [s.l.], v. 185, n° 4, p. 561–571, 2017. ISBN: 0123456789, ISSN: 00298549, DOI: 10.1007/s00442-017-3973-6.
- FEELEY, K. J.; SILMAN, M. R. **Disappearing climates will limit the efficacy of Amazonian protected areas.** *Diversity and Distributions*, [s.l.], v. 22, n° 11, p. 1081–1084, 2016. ISBN: 1366-9516, ISSN: 14724642, DOI: 10.1111/ddi.12475.
- FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. ... II Contribution to the IPCC ...**, [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.
- FRANKE, I. L.; HACKBART, R. **Mudanças Climáticas: Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambientais e Políticas Públicas para a Adaptação no Brasil. IV Encontro Nacional da Anppas 4,5 e 6 de junho de 2008**, [s.l.], p. 2–26, 2008.
- IWAMA, Y. et al. **Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar.** [s.l.], 2016.
- MEIRI, S. et al. **Are lizards feeling the heat? A tale of ecology and evolution under two temperatures.** *Global Ecology and Biogeography*, [s.l.], v. 22, n° 7, p. 834–845, 2013. ISBN: 1466-8238, ISSN: 1466822X, DOI: 10.1111/geb.12053.
- SEDDON, A. W. et al. **Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability.** *Nature*, [s.l.], v. 531, n° 7593, p. 229–232, 2016. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature16986.
- SINERVO, B. et al. **Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches.** *Science*, [s.l.], v. 328, n° 5980, p. 894–899, 2010. ISBN: 0036-8075, ISSN: 00368075, DOI: 10.1126/science.1184695.

8 CONSERVAÇÃO EM FOCO

Produto enviado para os gestores das Unidades de Conservação pertinentes:

Diele-Viegas, L. M., Menezes, V. A. e Rocha, C. F. D. Síntese do estado da arte dos impactos das mudanças climáticas no arquipélago de Fernando de Noronha e suas unidades de conservação.

Produto em revisão dos coautores:

Diele-Viegas, L. M., Werneck, F. P., Colli, G. R. e Rocha, C. F. D. Síntese do estado da arte dos impactos das mudanças climáticas nos répteis da Pan-Amazônia e o Papel das UCs na preservação das espécies.

RESUMO

Áreas protegidas apresentam um efeito inibidor no desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas. No Brasil, a criação de 649 Unidades de Conservação (UCs) entre 2005 e 2012 levou a uma redução de 78% nas taxas de desmatamento e conseqüente redução de 54% nas emissões de gases do efeito estufa para a atmosfera. Porém, após 2007, o governo do país começou a implementar algumas medidas provisórias para mudar a categoria de UCs integral para uso sustentável, ou para diminuir a extensão em área das UCs, apesar das tentativas de especialistas de alertar acerca da sua importância. Desde então, diversas leis ameaçando a conservação da biodiversidade foram propostas ou alteradas, algumas delas levando a conseqüências preocupantes para o sistema universitário público e para a pesquisa científica de maneira geral. As perspectivas políticas no Brasil após as eleições presidenciais de 2018 são ainda mais preocupantes, considerando a posição do presidente eleito acerca das questões ambientais. As medidas suportadas pelos tomadores de decisão do país, que vão de encontro às questões ambientais e de conservação, demonstram o grave problema de comunicação existente entre cientistas e governantes, uma vez que, na maioria dos casos, as suas conseqüências tanto para a biodiversidade quanto para a sociedade são previstas pelos cientistas, mas desconhecidas pelos tomadores de decisão. No âmbito das várias questões ambientais, como a influência das mudanças climáticas nos sistemas naturais e na biodiversidade, essa falha na comunicação da

interface ciência-política pode levar a consequências catastróficas, principalmente considerando a sua relação direta com as questões fundamentais de equidade e justiça social. Desta forma, é importante que as pontes entre os cientistas e os tomadores de decisão sejam cada vez mais intensificadas, de modo a estabelecer uma boa comunicação entre ambas as partes e promover a transferência da informação científica gerada. Assim, a presente seção buscou sintetizar os resultados obtidos nas partes I e II da presente tese em dois documentos direcionados aos gestores das unidades de conservação em que os estudos foram realizados, de modo a fornecer a estes tomadores de decisão um embasamento científico que justifique futuras medidas a serem tomadas visando a conservação da biodiversidade em escala local. O primeiro documento, portanto, é endereçado aos gestores das unidades de conservação do arquipélago de Fernando de Noronha (o Parque Nacional Marinho e a Área de Proteção Ambiental), enquanto o segundo documento é endereçado aos gestores das unidades de conservação do bioma Amazônico. Para a criação do documento, buscou-se evitar o uso de jargões científicos e, no caso de ser necessária a utilização de termos técnicos, buscou-se explicá-los ao longo do texto. Por fim, ao final de cada documento foram feitas sugestões de medidas que podem ser tomadas para mitigar os efeitos previstos descritos ao longo do documento.

Palavras-chave: Unidades de Conservação. Interface Ciência-Política. Comunicação científica. Tomadores de decisão. Conservação.

ABSTRACT

Protected areas (PAs) have an inhibitory effect on deforestation and, therefore reduce the carbon flow to the atmosphere and decrease the local effects of climate change. In Brazil, the creation of 649 PAs between 2005 and 2012 led to a decrease of 78% in deforestation rates and consequently to a decrease of 54% in greenhouse gases emissions to the atmosphere. However, after 2007 the Brazilian government started to implement some provisional measures to change the category of the integral PAs to sustainable use PAs, or to decrease the extension of the PAs, despite the attempts of specialists to warn about their importance. Thenceforth, several laws threatening the biodiversity conservation were proposed or altered, and some of them led to worrisome consequences for the public university system and for the scientific research. The Brazilian political perspectives after the 2018 presidential elections are even more worrisome, considering the position of the elected president about the environmental issues. These measures supported by the Brazilian decision-makers that go against the environmental and conservation issues, demonstrate the serious communication problem between scientists and policy makers, since in most cases its consequences for both biodiversity and society are predicted by the scientists but unknown by the policy makers. In the context of environmental issues, such as the influences of climate change on natural systems and on biodiversity, this lack of communication of the science-politics interface may lead to catastrophic consequences, mainly considering its direct relationship with fundamental questions, such as equity and social justice. It is important that the bridge between scientists and policy makers is increasingly intensified in order to guarantee a good communication between both parts and to promote the transfer of the scientific information generated by the scientists. Thus, the present chapter aimed to synthesize the results obtained in parts I and II of the present dissertation in two documents directed to the managers of the protected areas in which the studies were developed, in order to provide to these decision-makers a scientific basis that justifies future measures to be taken aiming the biodiversity conservation at local scale. The first document, therefore, is addressed to the managers of the protected areas of the Fernando de Noronha Archipelago (the Marine National Park and the Environmental Protected Area), while the second document is addressed to the managers of the Amazonian protected areas. For the creation of these documents, the use of scientific jargons was avoided, and technical terms were explained along the text. Finally,

suggestions of measures to be taken to mitigate the predicted effects of climate change described along the documents were made in the end of each document.

Keywords: Protected Areas. Science-Politics Interface. Scientific communication. Decision-Makers. Conservation.

8.1 Introdução

O Brasil é considerado o país com a maior biodiversidade do planeta, apresentando sete biomas e dois dos 36 hotspots reconhecidos para a conservação da biodiversidade do mundo (MITTERMEIER et al., 2004; YOUNG et al., 2007). Essa diversidade biológica tem uma grande importância econômica para o país, uma vez que cerca de 40% do Produto Interno Bruto (PIB) é gerado pelo setor primário (agroindústria), que depende do patrimônio genético fornecido pela diversidade biológica, enquanto 4% é gerado pelo setor florestal e 1% pelo setor pesqueiro (ARAÚJO, 2007).

A exploração de recursos naturais uso da terra, entretanto, levou ao desmatamento e à transformação das paisagens naturais ao longo do tempo, principalmente na região da Mata Atlântica, onde concentrou-se a expansão industrial e urbana do país no último século (MITTERMEIER et al., 2005). Foi também na Mata Atlântica que o primeiro parque estadual do país foi criado, em 1896, na cidade de São Paulo, bem como os primeiros Parques Nacionais, o do Itatiaia (o primeiro do País em 1937), os da Serra dos Órgãos e o do Iguaçu, no final da década de 30, com o intuito de se preservar o bioma e evitar a sua contínua degradação (DRUMMOND; FRANCO; OLIVEIRA, 2010; MITTERMEIER et al., 2005). Apesar disso, a consciência de preservação da natureza só começou a ganhar força após a metade do século XX, com a ocupação da Amazônia impulsionada pela construção de rodovias, como a Transamazônica, no início da década de 70 (GOODLAND; IRWIN, 1975).

O primeiro texto legal brasileiro a prever a criação de parques nacionais foi lançado na forma de decreto em 1934, e em 1965 ele foi atualizado, trazendo como novidade a criação de unidades de conservação de uso direto [florestas nacionais e parques de caça] e indireto (parques nacionais, estaduais e municipais e reservas biológicas; (DRUMMOND; FRANCO; OLIVEIRA, 2010)]. Na década de 80, foram incluídas como categorias de áreas de preservação as estações ecológicas, áreas de proteção ambiental, reservas ecológicas, áreas de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas, porém somente no início dos anos 2000 um plano participativo de conservação sistemático foi criado de modo a abranger todos os biomas do país (FONSECA; VENTICINQUE, 2018). Este plano lançou a lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC; MMA, 2011), com o objetivo de estabelecer critérios e normas para criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação (DRUMMOND; FRANCO;

OLIVEIRA, 2010). Com isso, cerca de 1300 UCs foram criadas entre 2000 e 2018, levando o país ao expressivo número de 2201 unidades de conservação divididas em uso sustentável (1503; 68.29%) e proteção integral (698; 31.71%), abrangendo mais de 2.540.000 km² do território nacional (MMA, 2018).

Áreas protegidas apresentam um efeito inibidor no desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2010). Conseqüentemente, as emissões de gases do efeito estufa no Brasil foram reduzidas em 54% entre 2005 e 2012, período em que foram criadas 649 Unidades de Conservação e o desmatamento foi reduzido em 78% (MMA, 2018; ROCHEDO et al., 2018). Porém, após 2007, o governo do país começou a implementar algumas medidas provisórias para mudar a categoria de unidades de proteção integral para uso sustentável, ou para diminuir a extensão em área das UCs, apesar das tentativas de especialistas de alertar acerca da importância destas UCs (e.g., SCARANO; GUIMARÃES; SILVA, 2012). Desde então, diversas leis ameaçando a conservação da biodiversidade foram propostas ou alteradas, tais como uma que prevê a supressão da vegetação nativa em áreas ao redor de cursos de água, propostas por políticos associados ao setor de agronegócio, conhecidos como “Bancada Ruralista” (MAGNUSSON et al., 2018).

Além destas ameaças diretas, algumas leis prejudicam a ciência, tecnologia e educação, o que indiretamente acaba levando à mais prejuízos para a biodiversidade. Em dezembro de 2016, o governo federal brasileiro aprovou uma da proposta de emenda constitucional (PEC) que congelou o investimento público na ciência, tecnologia, inovação, educação e saúde para um período de 20 anos (MAGALHÃES, 2017). Com isso, o sistema universitário público foi altamente prejudicado, sofrendo cortes orçamentários substanciais desde a implementação da PEC, resultando em falta de verba para pesquisa e manutenção de serviços básicos, como pagamento de luz, água e funcionários terceirizados (SIQUEIRA; ROCHA, 2017). Como exemplo de que estes cortes podem representar para a ciência do país, pode-se mencionar o incêndio que, em dois de setembro de 2018, destruiu o palácio do Museu Nacional do Rio de Janeiro, maior museu de história natural da América Latina e gerenciado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tal incêndio poderia ter sido evitado se o repasse de verbas para manutenção e atualização da infraestrutura tivesse sido feito adequadamente [Figura 37; (ESCOBAR; VOGEL, 2018)]. Estima-se que o museu tenha perdido mais de 90% do seu acervo

para o fogo, o qual contava com algumas das maiores coleções científicas do país (e.g., coleção de entomologia, considerada uma das maiores da América do Sul). A perda destas coleções representa a perda de uma quantidade imensurável de informação biológica, histórica, etnológica, etnográfica e social que vinha sendo estudada por pesquisadores de todo o mundo, sendo uma tragédia irreparável não só para a comunidade científica, mas também para a sociedade mundial como um todo.

Figura 37 - Museu Nacional do Rio de Janeiro (a) Durante o incêndio;
(b) No dia seguinte ao incêndio.



Fonte: (a) Alexandre Brum (b) Thiago Ribeiro.

Conforme visto na seção quatro da presente tese, as perspectivas políticas no Brasil após as eleições presidenciais de 2018 são preocupantes, considerando a posição do presidente eleito acerca das questões ambientais (BOLSONARO, 2018). De acordo com seu plano de governo e declarações após ser eleito, o presidente busca acabar com as disputas entre os ministérios da Agricultura e do Meio Ambiente através da sinergia entre os dois ministérios focando nos interesses dos agricultores, o que na prática pode representar um retrocesso na conservação ambiental, uma vez que um aumento nas taxas de desmatamento devido à expansão da agricultura poderia acelerar a conversão da floresta amazônica para um ecossistema não florestal, levando a alterações nos regimes de chuva e aumentando os efeitos negativos das mudanças no clima (LOVEJOY; NOBRE, 2018; MAGNUSSON et al., 2018). Além disso, o presidente eleito propôs aumentar as fronteiras agrícolas, flexibilizando a legislação que regula a exploração econômica em áreas de proteção, considerando que, segundo ele, as áreas de proteção atrapalham o desenvolvimento. Isto, associado à sua intenção de retirar o país do acordo de Paris em relação às emissões de gases do efeito estufa e suas declarações afirmando não acreditar nas mudanças climáticas, demonstra a falta de embasamento científico na formulação de suas propostas de gestão, o que pode ter consequências graves para o sistema climático global, bem como para a sua biodiversidade.

Este tipo de medida tomada pelos governantes do país demonstra o grave problema de comunicação existente entre cientistas, sociedade civil e governantes, uma vez que muitas vezes as suas consequências tanto para a biodiversidade quanto para a sociedade são previstas pelos cientistas, mas desconhecidas e/ou ignoradas pelos tomadores de decisão. Tradicionalmente, o processo de tomada de decisão no Brasil é centralizado, e o ceticismo dos tomadores de decisão geralmente limita a sua receptividade às opiniões da sociedade civil, incluindo os cientistas (LAHSEN, 2009). Este ceticismo em relação à Ciência se dá em parte ao fato de que a ciência é ainda um campo emergente no país, tendo as primeiras agências governamentais com foco científico sido criadas em 1951 (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, CAPES, e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq), com o objetivo de treinar novos cientistas (CAPES) e fornecer subsídios e bolsas para os cientistas em diferentes estágios da carreira [CNPq; (MEIS; ARRUDA; GUIMARÃES, 2007)]. Desta forma, a incorporação da Ciência como parte estrutural necessária para a tomada de decisão por parte dos

governantes é ainda pouco aceita e aplicada, o que é agravado pela falha na comunicação entre estes dois grupos (SCARANO; MARTINELLI, 2010).

Muitas vezes, esta falha na comunicação se dá pela diferença de perfil destes profissionais, considerando suas prioridades, escala temporal em que operam e linguagem (SCARANO; MARTINELLI, 2010). O tomador de decisão normalmente foca na coletividade social, o que demanda muitas vezes tomadas de decisões imediatas e uma linguagem própria (SCARANO; MARTINELLI, 2010). Em paralelo, o perfil tradicional do cientista é individualista, buscando saciar a sua própria curiosidade e normalmente operando no longo prazo para obter seus resultados, os quais normalmente são comunicados apenas à outros cientistas através da utilização de termos técnicos e jargões que dificultam o entendimento de não especialistas ou de leigos no assunto (SCARANO; MARTINELLI, 2010). Além disso, a ciência trabalha com incertezas e hipóteses, o que dificulta a aceitação dos tomadores de decisão, que por sua vez trabalham com supostos fatos e certezas (LAHSEN, 2009). Muitas vezes também ocorre de o cientista ter a preocupação de buscar transferir a informação gerada cientificamente para os gestores/tomadores de decisão, mas isso acabar não acontecendo devido a formatação final não ser apropriada e elaborada de forma consistente, ou seja, abordando não apenas os tópicos a serem considerados, mas sobretudo o conjunto específico de estratégias e ações para a efetivação de medidas mitigadoras e ou de conservação (BERGALLO et al., 2016; ROCHA. et al., 2017). Um exemplo de transferência de informação bem sucedida no Brasil é o documento “Estratégias e Ações para a conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro”, onde foi realizada uma detalhada análise do cenário da conservação da biodiversidade na Mata Atlântica e buscou-se mostrar a partir disso como o encaminhamento de propostas para gestores e tomadores de decisão deve ser feitos com base em estratégias e ações sugeridas, desenvolvidas em uma dimensão integrada e sistêmica das dimensões biológica, econômica, social, ambiental e político-institucional. Assim, foram definidas estratégias e ações para conservação baseadas em um complexo processo que envolveu um grande conjunto de aspectos, incluindo biológicos, sociológicos, ecológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrológicos, econômicos, atuais status, entre outros (BERGALLO et al., 2009, 2016; ROCHA et al., 2017).

No âmbito das várias questões ambientais, como a influência das mudanças climáticas nos sistemas naturais e na biodiversidade, essa falha na comunicação da interface ciência-política

pode levar a consequências catastróficas, principalmente considerando a sua relação direta com as questões fundamentais de equidade e justiça social (UNEP, 2017). Desta forma, considerando o cenário político atual no país, é importante que sejam cada vez mais intensificadas as pontes entre os cientistas e os tomadores de decisão, através das quais seja possível estabelecer uma boa comunicação entre ambas as partes, através do uso de uma linguagem intermediária e compreensível para ambos cientistas e tomadores de decisão promovendo a transferência da informação científica gerada (SCARANO; MARTINELLI, 2010). Assim, a presente seção buscou sintetizar os resultados obtidos nas partes I – Arquipélago de Fernando de Noronha e II – Amazônia da presente tese em dois documentos direcionados aos gestores das unidades de conservação em que os estudos foram realizados, de modo a fornecer a estes tomadores de decisão um embasamento científico que justifique futuras medidas a serem tomadas visando a conservação da biodiversidade em escala local.

8.2 Metodologia

Cada documento refere-se aos resultados obtidos nas partes I e II da presente tese. O primeiro documento, portanto, é endereçado aos gestores das unidades de conservação do arquipélago de Fernando de Noronha: o Parque Nacional Marinho e a Área de Proteção Ambiental. Já o segundo documento é endereçado aos gestores das unidades de conservação do bioma Amazônico. Para a criação do documento, buscou-se evitar o uso de jargões científicos e, no caso de ser necessária a utilização de termos técnicos, buscou-se explicá-los ao longo do texto. Por fim, ao final de cada documento foram feitas sugestões de medidas que podem ser tomadas para mitigar os efeitos previstos descritos ao longo do documento.

Considerando que os resultados da presente seção são os documentos que sintetizam os resultados das seções anteriores, a estruturação da mesma se deu de maneira diferenciada em relação aos demais. Desta forma, os resultados foram divididos em documento 1 e documento 2, e somente o corpo do texto de cada documento foi incluído, mantendo a organização e estrutura utilizada no produto a ser compartilhado com os gestores. Sendo assim, as figuras exibidas nos subitens da sessão de “Resultados” não seguiram a sequência numérica iniciada na introdução da presente seção, sendo, portanto, independentes entre si.

8.3 Resultados

As mudanças climáticas são definidas como qualquer mudança no clima ao longo do tempo, podendo ser atribuídas a processos naturais ou à atividade antrópica através da alteração da composição atmosférica e uso da terra (FIELD et al., 2014). A variação climática natural é cíclica ao longo da escala geológica do tempo, apresentando picos extremos de aquecimento e de resfriamento associados à aumentos ou reduções na concentração de gases atmosféricos (principalmente o CO₂) em uma escala temporal de milhões de anos (RETALLACK, 2009). Tais extremos também estão relacionados à variação na biodiversidade, sendo apontados como uma das principais causas das grandes extinções em massa ocorridas ao longo do tempo (CEBALLOS et al., 2015).

Apesar disso, diversas linhas de evidências têm mostrado que é muito provável que os fatores antropogênicos sejam a causa dominante da intensificação das mudanças ocorridas no clima do planeta desde meados do século XX, com o avanço da revolução industrial, alcançando um aumento de 0,85°C na temperatura média do ar entre 1901 e 2012. Isto porque a emissão de CO₂ e outros gases do efeito estufa aumentou significativamente desde a era pré-industrial, devido ao avanço econômico e crescimento populacional. Entre 1750 e 2011, a concentração de CO₂ emitido acumulado superou os últimos 800 mil anos, e ao menos metade dessas emissões ocorreram entre 1970 e 2010, com um aumento absoluto entre 2000 e 2010, apesar do crescente número de políticas aplicadas com o objetivo de mitigar tais efeitos das mudanças climáticas.

As alterações na concentração de gases do efeito estufa na atmosfera já apresentaram alguns efeitos importantes no sistema físico da Terra. O período de 1983 a 2012 foi considerado o período mais quente nos últimos 800 anos no hemisfério Norte, e a média global de temperatura da superfície da Terra e do oceano teve um aquecimento de 0,85°C de 1880 a 2012. Além disso, os oceanos tiveram um aquecimento de cerca de 0,44°C de 1971 a 2010, apresentando ainda uma diminuição no seu pH de 8,2 para 8,1 desde 1765. Houve uma perda de aproximadamente 49% do gelo marinho no nível global, considerando a média dos anos de 1979 e 2000, em comparação ao ano de 2012, sendo 18% considerando somente os registros de 2007. Isso se deve principalmente ao aumento da expansão térmica e à contribuição do gelo terrestre, o que levou ainda a um aumento do nível do mar de $1,7 \pm 0,2$ mm por ano⁻¹ para $3,2 \pm 0,4$ mm por ano⁻¹ desde 1990 (WONG et al., 2014).

Nas últimas décadas, as mudanças climáticas têm causado impactos em sistemas naturais e humanos em todos os continentes e oceanos. As mudanças nos regimes de precipitação e de derretimento da neve e do gelo estão associadas a alterações em sistemas hidrológicos, afetando o escoamento e recursos aquáticos. Eventos extremos se tornaram mais frequentes, apresentando impactos significativos nos ecossistemas naturais, na biodiversidade e nos sistemas humanos. Existem ainda indicativos de impactos dramáticos das mudanças climáticas no nível sistêmico, particularmente no ártico e para sistemas de recifes de corais(WONG et al., 2014). Algumas alterações na fenologia de diversas espécies de plantas e animais também foram observadas, assim como a antecipação de eventos de primavera, tais quais o encerramento da hibernação, a floração das plantas e a migração. Muitas espécies também alteraram sua distribuição geográfica, suas atividades sazonais, sua abundância e a sua interação em resposta às mudanças climáticas atuais. Alguns efeitos do aumento da temperatura podem apresentar desafios inesperados à conservação, como é o caso do desenvolvimento sexual dos embriões de tartarugas, onde o sexo é determinado pela temperatura do ambiente. Além disso, as mudanças climáticas recentes já levaram à extinção de algumas espécies, tais quais o sapo dourado da Costa Rica, *Bufo periglenes* (Amphibia: Anura), e o roedor australiano *Melomys rubicola*[Mammalia: Rodentia; (GYNTHER; WALLER; LEUNG, 2016; POUNDS; FOGDEN; CAMPBELL, 1999)].

As projeções acerca das mudanças climáticas para o futuro são incertas, devido a fatores como a dificuldade em definir cenários futuros das forças determinantes naturais e antropogênicas, a imprecisão de modelos acerca do sistema climático e a existência de variabilidade climática em escala local(COLLINS et al., 2013). Alguns modelos climáticos, tais quais os Modelos de Circulação Global (*General Circulation Models, GMCs*), são utilizados como representações de processos importantes no sistema climático da Terra, simulando diversos aspectos. Os GMCs utilizam informações de diferentes cenários de poluentes do ar, de emissões de gases do efeito estufa, dos ciclos biogeoquímicos e dos padrões de uso da terra para obter as projeções climáticas. Tais cenários são chamados de vias de concentração representativas (*Representative Concentration Pathways, RCPs*) e são desenvolvidos utilizando-se diferentes alvos em termos de força radioativa para 2100, com gases do efeito estufa e emissões de aerossol consistentes com esses alvos. Quatro destes cenários foram considerados viáveis no último relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (*International Panel of Climate Changes, IPCC*), em 2014: RCP 2,6, que recupera os menores valores de concentração

representativa, estimando uma pequena redução da força radioativa até o final do século XXI; RCPs 4,5 e 6,0, que recuperam valores médios e preveem uma estabilização da força radioativa; e RCP 8,5, que recupera valores altos de e prevê um aumento da força radioativa para 2100 e um aumento contínuo gradual após essa data. O primeiro cenário já foi descartado, enquanto o último é atualmente considerado como realista(FIELD et al., 2014).

O cenário realista (RCP 8,5) prevê que haverá um aumento na temperatura média global de até 4,8°C ao final do século XXI em relação ao período entre 1850-1900. Em altas latitudes e no Pacífico Equatorial, é previsto um aumento na precipitação média anual, enquanto em latitudes médias e em regiões subtropicais secas prevê-se o oposto. Além disso, os oceanos se tornarão mais quentes, principalmente em regiões subtropicais do Hemisfério Norte, e mais ácidos, com uma diminuição de 0,06 a 0,32 no seu pH, além de ser previsto um aumento do nível do mar a uma taxa de 8 a 16 mm/ano(WONG et al., 2014).

A previsão do potencial risco futuro causado pelas mudanças climáticas à biodiversidade se tornou uma linha de pesquisa bastante ativa nos últimos anos, e alguns estudos sugerem que as mudanças climáticas possam ser a maior ameaça à biodiversidade global nas próximas décadas(CAHILL, 2013; CEBALLOS et al., 2015). Além disso, é esperado que ocorram mudanças substanciais na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas marinhos e terrestres em um cenário de mudanças climáticas (WONG et al., 2014). As interações entre as mudanças previstas e a vulnerabilidade e exposição dos sistemas naturais e humanos irá aumentar o risco de impactos negativos intensos, severos e, em alguns casos, irreversíveis(FIELD et al., 2014). Portanto, acessar esse conhecimento acerca dos potenciais impactos das mudanças climáticas sobre os diferentes níveis biológicos fornece a base para identificar, propor e estabelecer políticas conservacionistas.

Répteis são animais ectotérmicos e dependem da temperatura ambiental para alcançar as temperaturas corporais necessárias para manter seu metabolismo ativo. Todos os aspectos da sua fisiologia são definidos pelas temperaturas corporais, e a maioria destes aspectos somente funcionam apropriadamente dentro de uma restrita faixa de temperatura, chamada *faixa de ajuste*(HERTZ et al., 1993). Portanto, os répteis constituem bons modelos para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade local, considerando que o grau de habilidade de um indivíduo em atingir uma temperatura corpórea ótima através da

termorregulação comportamental pode influenciar na sua capacidade de se adaptar às mudanças na temperatura.

8.3.1 Documento 1

Síntese do estado da arte dos impactos das mudanças climáticas no arquipélago de Fernando de Noronha e suas unidades de conservação

APRESENTAÇÃO

O presente documento traz uma síntese dos principais efeitos das mudanças climáticas previstos para o Arquipélago de Fernando de Noronha até o final do século XXI, considerando variáveis de temperatura, de precipitação e o potencial aumento do nível do mar. Além disso, avalia a influência das mudanças climáticas na biodiversidade local, utilizando como modelo uma espécie endêmica do arquipélago, o lagarto mabuia *Trachylepis atlantica*. Por fim, destaca-se a importância das unidades de conservação do arquipélago, o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha e a Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha, como fatores potencialmente mitigadores sobre os efeitos locais das mudanças climáticas previstos. O documento constitui parte dos resultados dos projetos “Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies” e “Mudanças climáticas globais e risco de extinção: alteração da tolerância, resistência e nicho térmico em lagartos de restinga endêmicos e ameaçados de extinção e anuros de altitude” desenvolvido com apoio do Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e tem como objetivo contribuir com a preservação do arquipélago e de sua biodiversidade, fornecendo aos gestores das unidades de conservação locais um arcabouço científico para embasar futuras políticas conservacionistas.

INTRODUÇÃO

Ambientes costeiros e ilhas oceânicas são de forma geral altamente vulneráveis, uma vez que as mudanças climáticas podem causar o aumento do nível da erosão da costa, redução da resiliência de ambientes costeiros e perda de extensões de ambientes terrestres devido ao aumento do nível do mar (NURSE et al., 2001). Ilhas com suprimentos limitados de água doce, como no caso do Arquipélago de Fernando de Noronha, tendem ainda a ser altamente vulneráveis aos impactos causados no balanço hídrico e salinização do solo (TOMPKINS, 2005). Em relação à biodiversidade, espécies endêmicas de ilhas também são tidas como especialmente vulneráveis, considerando que alterações regionais ou locais podem impactar toda a sua distribuição. Por fim, o turismo também é passível de ser afetado, tanto pelo aumento do nível do mar, quanto pela variação da temperatura e precipitação local. Sendo assim, as mudanças climáticas podem apresentar efeitos negativos para o arquipélago de Fernando de Noronha tanto para a sua biodiversidade, considerando que abriga espécies endêmicas, quanto para a economia local e regional, considerando o seu apelo turístico, que é a base de sua subsistência.

O arquipélago de Fernando de Noronha abriga duas espécies endêmicas de répteis terrestres, o lagarto mabuia *Trachylepis atlantica* (Figura 38A) e a “cobra de duas cabeças” *Amphisbaena ridleyi* (Figura 38B). Além dessas espécies, também podem ser encontradas no arquipélago duas espécies introduzidas pelo homem, a lagartixa de parede *Hemidactylus mabouia* (Figura 38C) e o teiú *Salvator merianae* (Figura 38D). O presente relatório focou na avaliação da vulnerabilidade do lagarto endêmico *T. atlantica*, devido à sua grande abundância no arquipélago.

Figura 38 - Répteis de Fernando de Noronha. A) *Trachylepis atlantica*, B) *Amphisbaena Ridley*, C) *Hemidactylus mabouia*, e D) *Salvator merianae*.



Fonte: A) Otavio Carvalheira; B) A autora; C) Diogo Veríssimo e D) Google (Domínio público)

METODOLOGIA

A caracterização das tendências climáticas no arquipélago foi feita com base nos parâmetros climáticos e bioclimáticos de temperatura e precipitação disponíveis na base de dados do *Worldclim* (<http://www.worldclim.org/>). Foram utilizados dois modelos de circulação global (HADGEM2-ES e MIROC-ESM) que apresentam boa performance para mensurar camadas climáticas na América do sul em uma resolução de 2.5 minutos. O clima atual foi caracterizado pela interpolação de dados das estações meteorológicas ao redor do mundo, considerando o período de 1950 a 2000. As previsões para o futuro foram feitas considerando o cenário realista de emissões de gases do efeito estufa para o ano de 2070, que representa o período entre 2060 e 2080. As potenciais áreas previstas de serem inundadas em um cenário de aumento do nível do mar no arquipélago de Fernando de Noronha foram mensuradas através da previsão de um aumento global uniforme de um metro no nível do mar. A vulnerabilidade da espécie de lagarto endêmica, *Trachylepis atlantica*, foi avaliada com base em características da sua fisiologia térmica. O risco de extinção foi mensurado através de um modelo de distribuição que incorpora dados da biologia da espécie e os dados das previsões de exposição do arquipélago.

O presente documento apresenta os resultados de dois artigos elaborados para publicação em revistas científicas internacionais, que, em conjunto, constituem o primeiro esforço para avaliar o grau de exposição do arquipélago e a vulnerabilidade da biodiversidade terrestre local às mudanças climáticas globais (seções 2 e 3). Esses dados trazem um consistente avanço no entendimento da influência das mudanças climáticas sobre o arquipélago de Fernando de Noronha e sobre sua biodiversidade, embora não inclua todas as espécies encontradas no arquipélago. Desta forma, esperamos que a informação aqui disponibilizada venha a constituir subsídios para a implementação de medidas com vistas à conservação do lagarto mabuia, *Trachylepis atlantica*, bem como um estímulo para que pesquisas adicionais sejam realizadas no arquipélago visando ampliar a compreensão da influência das mudanças climáticas na sua biodiversidade.

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ARQUIPÉLAGO

Temperatura e Precipitação

Os dados obtidos em nosso estudo preveem uma redução de 81.75 mm na precipitação anual no arquipélago, e um aumento de 2.8°C na temperatura média anual até o ano de 2070 (Tabela 19). Além disso, os dados preveem uma diminuição de 3.5% na isothermalidade, o que indica uma diminuição na diferença entre a variação de temperatura interanual e diurna (Tabela 19). Considerando as duas estações reconhecidas para o arquipélago, foi prevista uma diminuição de 112.5 mm na precipitação, e um aumento de 2.77°C na T_{min} e 2.8°C na T_{max} para a estação úmida, que compreende os meses de março a julho (Tabela 20). Para a estação seca (agosto a fevereiro), foi previsto um aumento de 30 mm na precipitação, 2.81°C na T_{min} e 2.84°C na T_{max} (Tabela 20).

Estes resultados indicam que os padrões climáticos de Fernando de Noronha são passíveis de se inverterm, com a estação seca se tornando mais úmida e a estação úmida se tornando mais seca. Apesar disso, foi previsto um aumento constante na temperatura para todos os meses, indicando que a variação interanual é passível de se manter a mesma das taxas atuais, apesar de apresentar temperaturas mais elevadas. Esse resultado é também reforçado com os dados dos fatores bioclimáticos, considerando a baixa exposição prevista para a variação anual e diurna de temperatura (Tabela 20).

Tabela 19 - Grau de *Exposição* do arquipélago de Fernando de Noronha às diferentes variáveis bioclimáticas.

Variável	Exposição
Temperatura média anual	2.8
Variação média diurna	0.05
Isotermalidade	-3.50%
Sazonalidade da Temperatura	8.3
Máxima temperatura do mês mais quente	3.05
Mínima temperatura do mês mais frio	2.7
Variação da temperatura anual	0.35
Média da temperatura do período mais úmido	2.88
Média da temperatura do período mais seco	2.83
Média da temperatura do período mais quente	3
Média da temperatura do período mais frio	2.8
Precipitação anual	-81.75
Precipitação do mês mais úmido	8.75
Precipitação do mês mais seco	-0.5
Sazonalidade da Precipitação	2.50%
Precipitação do período mais úmido	-8.25
Precipitação do período mais seco	-0.75
Precipitação do período mais quente	-95.5
Precipitação do período mais frio	-119

Legenda: Exposição = variação entre as previsões futuras e os valores do presente. Baseado nos dados do WorldClim.

Tabela 20 – Grau de *Exposição* do arquipélago de Fernando de Noronha à variação mensal da precipitação (Prec), média de temperatura mínima (Tmin) e média de temperatura máxima (Tmax).

Mês	Prec	Tmin	Tmax
Janeiro	15	3	3.05
Fevereiro	27.25	2.85	2.95
Março	2.5	2.85	2.9
Abril	8.75	2.8	2.8
Maio	-20	2.73	2.8
Junho	- 56.25	2.75	2.8
Julho	-47.5	2.7	2.7
Agosto	-15.5	2.65	2.65
Setembro	-2.5	2.65	2.65
Outubro	-0.5	2.7	2.73
Novembro	1	2.8	2.83
Dezembro	5.25	3	3.03

Legenda: Previsões feitas para o ano de 2070, em um cenário realista de emissão de gases do efeito estufa.

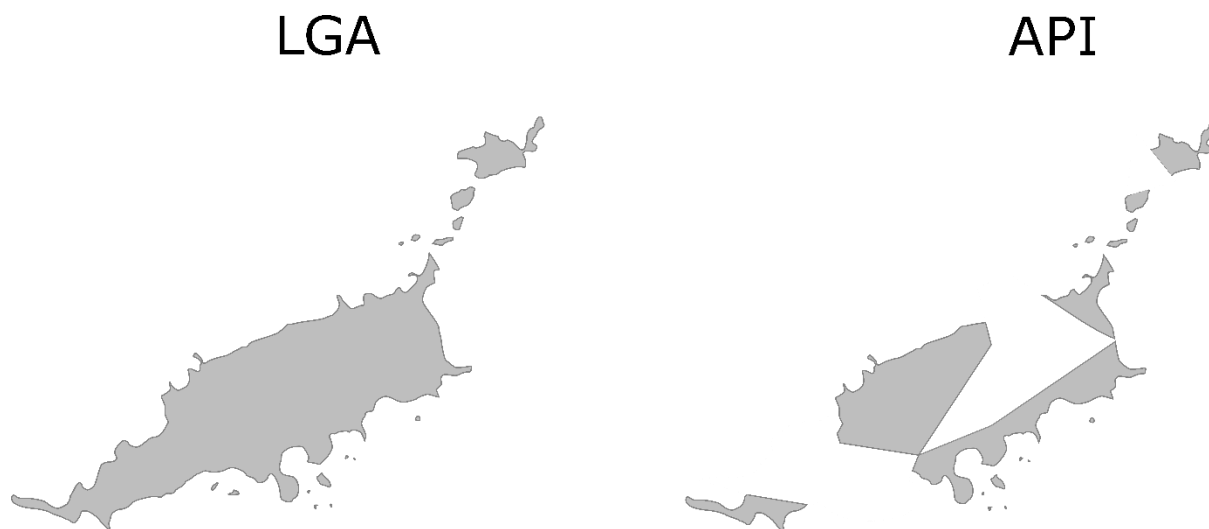
Nível do mar

O arquipélago possui atualmente uma área total de aproximadamente 25 km², considerando todas as suas ilhas, rochas e ilhotas (Figura 39). A previsão de perda de área devido à inundação causada pelo aumento do nível do mar na região foi de 8,8 km², o que representaria uma perda de 35.2% do total da área terrestre do arquipélago (Figura 39).

Atualmente, um dos principais riscos ambientais para o arquipélago é a erosão da sua área costeira, causada principalmente pelo crescimento urbano e por efeitos do turismo. Com o aumento do nível do mar previsto, a erosão da área costeira é passível de aumentar, o que pode levar a uma perda de área seca ainda maior do que a prevista considerando apenas a invasão marinha, gerando um risco potencial para a infraestrutura instalada que permitem as ações do turismo local (WONG et al., 2014). Considerando que o ecoturismo é a principal atividade econômica no arquipélago, promovendo grande parte da subsistência de parte substancial da

população local, a consequência do aumento do nível do mar e erosão da costa pode ser catastrófica para a subsistência da população humana local.

Figura 39 - Limites geográficos atuais (LGA) e áreas previstas de serem potencialmente inundadas (API) no Arquipélago de Fernando de Noronha, considerando um aumento uniforme global de 1 m no nível do mar.



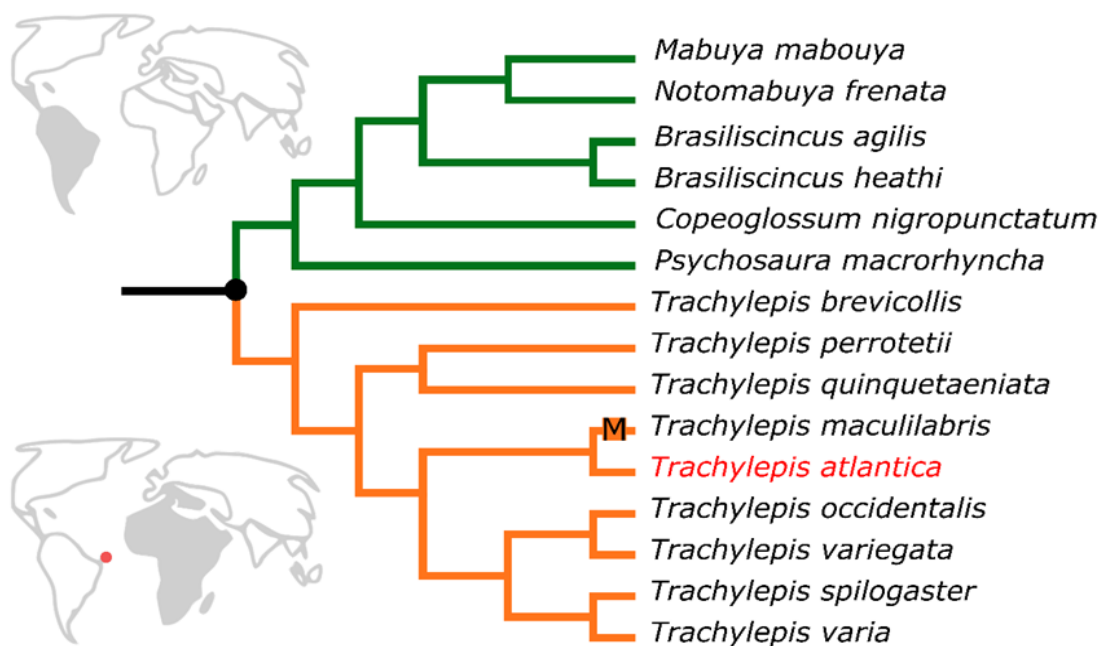
Biodiversidade

Américo Vespúcio foi o primeiro explorador a aportar em Fernando de Noronha e fazer as primeiras observações acerca da sua biodiversidade, em 1503. Ele notou que a ilha apresentava uma grande quantidade de árvores e que os pássaros terrestres eram bastante abundantes, assim como os lagartos, cobras e “ratos grandes”, e que não havia presença humana. Hoje, sabe-se que as espécies de répteis a que ele se referia eram o lagarto endêmico, *Trachylepis atlantica*, e a “cobra de duas cabeças”, seria a anfisbena *Amphisbaena ridleyi*, enquanto o “rato” seria a espécie extinta *Noronhomys vespicii*, que recebeu este nome em homenagem à Vespúcio quando descrita em 1999. Atualmente, as aves e os lagartos continuam bastante abundantes nas ilhas, enquanto as anfisbenas já se tornaram comparativamente menos frequentes de serem encontradas, devido ao seu hábito fossorial (SAZIMA; HAEMIG, 2012).

O lagarto endêmico Trachylepis atlantica

Trachylepis atlantica (Squamata: Scincidae) é conhecida como a espécie de lagarto mais oriental nativa da América do Sul (ROCHA et al., 2009). Apesar da sua proximidade geográfica com os mabuias neotropicais, algumas análises evolutivas recentes mostraram que a espécie possui uma afinidade filogenética com os scincídeos africanos, o que indica a espécie pode ter chegado no arquipélago em um segundo evento de dispersão da linhagem Afro-Malagasy para a América do Sul, enquanto um evento de dispersão anterior deu origem à linhagem dos mabuias das Américas (Figura 40).

Figura 40 – Relações filogenéticas em Scincidae.



Legenda: Verde = linhagem neotropical; laranja = linhagem africana. Áreas cinzas no mapa representam a origem das linhagens; ponto vermelho é a distribuição de *Trachylepis atlantica* e o M = táxon de Madagascar grupo irmão de *T. atlantica*.

A espécie é exclusivamente diurna com atividade entre 06:00 e 18:00 hs com um pico na atividade entre 12:00 e 14:00, quando alcança as suas maiores temperaturas corporais. Apresenta termorregulação heliotérmica, o que significa que regula a sua temperatura ativamente e obtém o

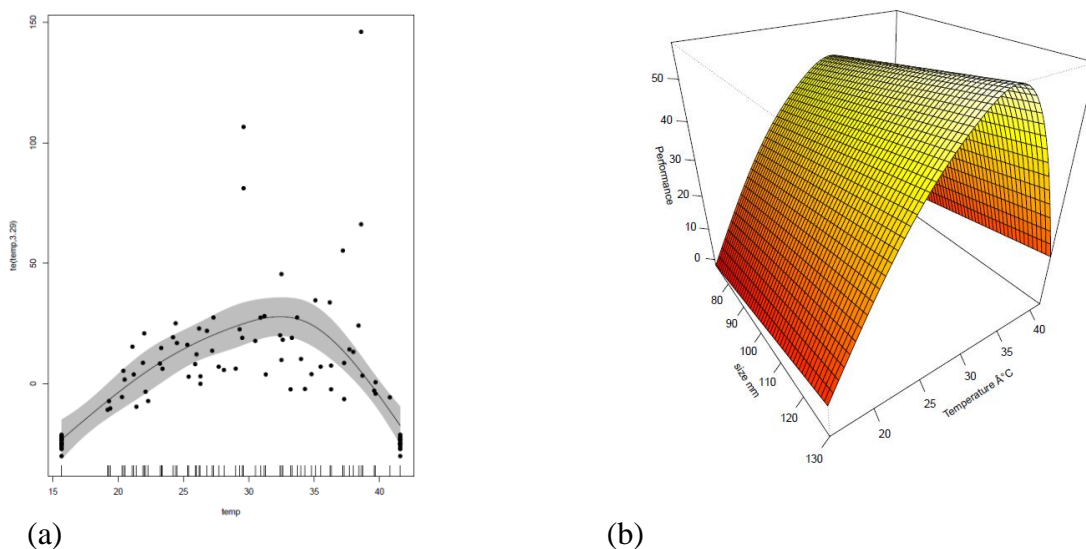
calor para regulação de sua temperatura diretamente por exposição ao sol. Os indivíduos usualmente termorregulam durante a manhã para alcançar uma temperatura corpórea que ative seu metabolismo, e após isso dependem inteiramente da temperatura do ar e do substrato para o ganho adequado de calor (ROCHA et al., 2009). As características da sua fisiologia térmica estão descritas na Tabela 21, e a curva de desempenho locomotor da espécie baseada na exposição à diferentes temperaturas está expressa na Figura 41.

Tabela 21 – Fisiologia térmica de *Trachylepis atlantica* e resultados da Anova One Way comparando os sexos.

Média ± DP (N)	T _c	T _{pref}	Vt _{min}	Vt _{max}	Ct _{min}	Ct _{max}
		30,0°C ±	29,0°C ±	31,0°C ±	15,4°C ±	41,7°C ±
Fêmeas	-	1,7°C (11)	1,8°C (11)	1,7°C (11)	2,1°C (10)	1,2°C (10)
		27,7°C -	26,6°C -	28,8°C -	12,8°C -	40,0°C -
Variação	-	32,3°C	31,3°C	33,5°C	17,1°C	43,5°C
		29,8°C ±	29,1°C ±	30,5°C ±	15,9°C ±	41,5°C ±
Machos	-	2,1°C (12)	2,4°C (12)	2,1°C (12)	2,4°C (13)	1,1°C (13)
		27,7°C -	25,7°C -	28,2°C -	10,6°C -	39,8°C -
Variação	-	33,6°C	33,4°C	34,2°C	19,1°C	43,3°C
		33,9°C ±	29,9°C ±	29,1°C ±	30,7°C ±	15,7°C ±
Total	3,9°C (102)	1,8°C (23)	2,1°C (23)	1,9°C (23)	1,9°C (22)	1,1°C (22)
		24,3°C -	27,7°C -	25,7°C -	28,2°C -	10,6°C -
Variação	42,1°C	33,6°C	33,4°C	34,2°C	19,1°C	43,5°C
F, p	-	0,05, 0,83	0,02, 0,96	0,32, 0,58	0,29, 0,59	0,055, 0,82

Legenda: T_c = temperatura corpórea em atividade no campo; T_{pref} = temperatura preferencial; VT_{min} = temperatura voluntária mínima; VT_{max} = temperatura voluntária máxima; CT_{min} = temperatura crítica mínima; CT_{max} = temperatura crítica máxima; DP = Desvio Padrão; N= Tamanho Amostral.

Figura 41 – Curvas de desempenho térmico de *Trachylepis atlantica*.



Legenda: (a) Curva bidimensional baseada na temperatura corpórea; (b) Curva tridimensional baseada na temperatura corpórea e no comprimento rostro-cloacal dos animais (mm).

A espécie apresenta média de temperatura corpórea maior do que a sua temperatura voluntária máxima, o que indica que a espécie pode não estar respondendo rápido o bastante para adaptar a sua fisiologia térmica à variação na temperatura do ambiente. Como consequência, a aclimatação pode não ser relevante para diminuir o risco de superaquecimento causado pelas mudanças climáticas. Quando as medidas de temperatura corpórea estão próximas ou mais altas do que as suas temperaturas preferenciais, *T. atlantica* pode estar próxima dos limites do aquecimento contemporâneo, como observado para o lagarto lacertídeo eurasiático *Zootoca vivipara* (anteriormente *Lacerta vivipara*) em locais de altitude elevação em comparação à locais de alta altitude no sul da Europa, onde populações da espécie já começaram a sofrer extirpações forçadas pelo clima.

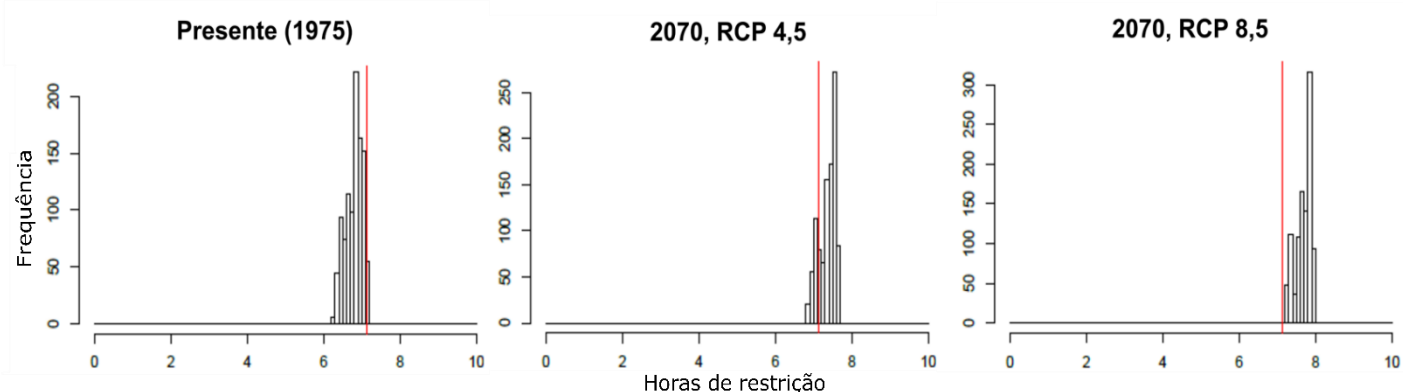
A margem de segurança térmica de *T. atlantica* é considerada pequena, o que indica que a espécie já está experimentando temperaturas ambientais próximas a seu ótimo fisiológico. Esse padrão é similar ao encontrado para o scincídeo australiano *Hemiergis peronei*. Além disso, previsões futuras indicam que o aquecimento pode diminuir o desempenho e forçar a espécie a reduzir seu período de atividade.

As análises mostraram que *T. atlantica* atualmente apresenta baixa acurácia de termorregulação comportamental e que o ambiente do arquipélago não é termicamente ideal para a espécie. Considerando que a tolerância ao calor é altamente afetada pelo comportamento de termorregulação ativa, isso indica que a espécie apresenta atualmente uma alta tolerância ao calor local. Além disso, sua eficácia de termorregulação é alta e negativa, o que indica que a espécie já evita microhabitats termicamente ideais, possivelmente devido à escassez de alimento ou abundância de predadores, como os gatos, que atualmente são bastante abundantes no arquipélago.

Foi previsto em nosso estudo que a qualidade térmica de Fernando de Noronha tende a cair ainda mais, o que indica que os animais precisarão termorregular ativamente para alcançar temperaturas corpóreas ideais para a manutenção de seu metabolismo. Apesar disso, as análises indicaram que a habilidade da espécie em termorregular e evitar microhabitats ativamente também vai diminuir, e que a tendência é que os animais selecionem os microhabitats aleatoriamente em relação à temperatura do ambiente. Com a perda da habilidade de termorregulação ativa, a margem de segurança térmica da espécie tende a diminuir, indicando que a espécie pode não estar apta a acompanhar o aumento da temperatura do ambiente.

Dado o aumento na temperatura média prevista para Fernando de Noronha, foi previsto um potencial aumento no desempenho locomotor da espécie. Apesar disso, também foi visto que haverá um aumento no período em que a temperatura do ambiente vai exceder a faixa de ajuste da espécie (Figura 42). Desta forma, mesmo apresentando potencial para aumentar seu desempenho locomotor em um cenário de mudanças climáticas, o aumento da temperatura do ambiente pode levar os animais a restringir seu período de atividade por quase oito horas. Isso pode resultar em consequências deletérias para os suas necessidades fisiológicas e biológicas, uma vez que o aumento das horas em refúgios térmicos pode limitar o a busca por alimento, restringir funções metabólicas e até mesmo cessar a reprodução sob períodos de calor intenso e, conseqüentemente, reduzir as taxas de crescimento populacional, aumentando o risco de extinção da espécie.

Figura 42 – Previsões atual e futura de horas de restrição para *Trachylepis atlantica*.



Legenda: A linha vermelha indica a inferência de 95% (como utilizado em SINERVO et al., 2010; 2018).

Por fim, previu-se a extinção completa da espécie em um cenário realista de emissões de gases do efeito estufa. Isso corrobora a hipótese de que espécies endêmicas com distribuição restrita seriam altamente vulneráveis às mudanças climáticas, tais quais as espécies de *Sceloporus* endêmicas de montanhas no México, que atualmente já estão experimentando extinções devido ao aquecimento global. Além disso, estes resultados estão de acordo com as previsões de diminuição de adequação de habitat para seu congênere africano, *T. affinis*.

O PAPEL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Noronha é um local chave para a conservação da biodiversidade, sendo um repositório de manutenção da biodiversidade marinha e um centro global de endemismo, abrigando diversas espécies endêmicas de pássaros, além das duas espécies endêmicas de répteis sinalizadas neste relatório (IUCN, 2017). As Unidades de Conservação (UCs) apresentam, de maneira geral, um efeito inibidor ao desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2010). Considerando que o arquipélago está completamente protegido por duas unidades de conservação, uma potencial estratégia de mitigação poderia incluir o seu reflorestamento, de forma a aumentar a cobertura vegetal das ilhas, conseqüentemente reduzindo a temperatura média da sua superfície, favorecendo as populações do lagarto e de outros organismos do arquipélago. Experimentos com provisão de sombras com o lagarto phrynosomatídeo *Sceloporus*

jarrovi do México e Estados Unidos indicaram que tal estratégia pode aumentar a variação na temperatura ambiente, o que pode auxiliar na preservação de *T. atlantica* sob um cenário de mudanças climáticas (SEARS et al., 2016).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A variação climática aqui prevista para o Arquipélago de Fernando de Noronha, em conjunto com os efeitos da elevação prevista do nível do mar, pode levar a efeitos negativos tanto na economia do arquipélago quanto na sua biodiversidade. Portanto, a preservação do arquipélago é essencial para evitar não somente uma crise econômica local, mas também a extinção de diferentes espécies e ambientes que são exclusivamente – ou principalmente – encontrados nessas ilhas.

Apesar do reflorestamento ser passível de mitigar os efeitos das mudanças climáticas em escala local, o arquipélago também está ameaçado pelo aumento do nível do mar, um efeito secundário das mudanças climáticas atuantes em uma escala global. Isso pode representar uma ameaça adicional à sobrevivência de *T. atlantica*, uma vez que os ambientes que potencialmente poderiam permanecer termicamente ideais podem ser perdidos para o mar. Desta forma, uma alternativa para evitar a extinção total da espécie até 2070 poderia ser a translocação guiada da espécie para algumas áreas no continente, uma abordagem que vem sendo utilizada para proteger a última espécie de um grupo primitivo de répteis vivente, o tuatara *Sphenodon punctatus*. Apesar disso, esse tipo de abordagem não tem garantia de sucesso, e, portanto, demanda que diversos estudos sejam feitos em ambos os ambientes, novo e original, de modo a entender melhor o sistema em que a espécie está atualmente inserida e aumentar as chances de sucesso no estabelecimento da espécie no novo ambiente. Como uma medida mais imediata, sugere-se a implementação de um programa de monitoramento contínuo, de modo que seja possível avaliar periodicamente a dinâmica populacional da espécie, além de um monitoramento das condições microclimáticas e do aumento do nível do mar no arquipélago.

8.3.2 Documento 2

Síntese do estado da arte dos impactos das mudanças climáticas nos répteis da Pan-Amazônia e o Papel das UCs na preservação das espécies

APRESENTAÇÃO

O presente documento traz uma síntese dos principais efeitos das mudanças climáticas previstos para a região Amazônica até o final do século XXI, considerando variáveis de temperatura, de precipitação e da sensibilidade da vegetação. Além disso, avalia a influência das mudanças climáticas na diversidade local de répteis Squamata, destacando a importância das Unidades de Conservação (UCs) do bioma como fatores potencialmente mitigadores sobre os efeitos locais das mudanças climáticas. O documento constitui parte dos resultados dos projetos “Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies”, Herpetofauna do Cerrado: Risco de Extinções Induzidas por Mudanças Climáticas” e “Biodiversidade e Mudanças Climáticas no ‘Arco do Desmatamento’ da Amazônia Brasileira” desenvolvido com apoio do Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF Fundação de Amparo à Pesquisas do Estado do Amazonas - FAPEAM, e tem como objetivo consolidar os resultados dos projetos de forma a contribuir com a preservação da fauna de répteis do bioma, fornecendo aos gestores das UCs locais um arcabouço científico para embasar futuras políticas conservacionistas.

INTRODUÇÃO

A Amazônia apresenta uma vastidão de ambientes bastante complexos, e abriga a biodiversidade terrestre mais rica do planeta. Cobre cerca de oito milhões de quilômetros quadrados ao longo de nove países da América do Sul, e atualmente possui cerca de 440 UCs, sendo 59% delas localizada no Brasil (PRÜSSMAN; SUAREZ; GUEVARA, 2016). Devido à sua grande extensão, o bioma apresenta uma grande heterogeneidade de habitats e de climas, servindo como fonte de calor e de umidade essencial para os trópicos. Além disso, possui um papel vital na regulação do sistema climático global, apresentando impactos na variação da precipitação ao longo dos dois hemisférios. Devido à sua complexidade, a variabilidade climática e sua potencial influência na biodiversidade ainda é pouco compreendida, o que dificulta o entendimento da influência das mudanças climáticas no sistema. Apesar disso, algumas tendências vêm sendo observadas, tais quais a redução geral nas taxas de precipitação e o aumento da duração e intensidade de períodos mais secos, principalmente na região sudeste da Amazônia, o que levou a mudanças na composição das florestas (ESQUIVEL-MUELBERT et al., 2018; FEELEY; REHM, 2012; FIELD et al., 2014; ZELAZOWSKI et al., 2011).

O presente documento apresenta os resultados de quatro artigos elaborados para publicação em revistas científicas internacionais, que, em conjunto, constituem o primeiro esforço para avaliar a vulnerabilidade dos répteis da Amazônia frente às mudanças climáticas globais (Seções 4-7; PONTES-DA-SILVA et al., 2018). Estes dados trazem um consistente avanço no entendimento da influência das mudanças climáticas sobre a fauna de répteis amazônica dentro de UCs, embora não inclua todas as espécies encontradas no bioma. Desta forma, espera-se que a informação aqui disponibilizada venha a constituir subsídios para a implementação de medidas com vistas à conservação deste grupo dentro das UCs, bem como um estímulo para que pesquisas adicionais sejam realizadas no bioma visando ampliar a compreensão da influência das mudanças climáticas na sua biodiversidade.

METODOLOGIA

Os dados aqui apresentados foram obtidos durante a execução dos projetos “Vulnerabilidade de répteis Squamata frente às mudanças climáticas e o papel das áreas de proteção na conservação das espécies” e “Biodiversidade e Mudanças Climáticas no ‘Arco do Desmatamento’ da Amazônia Brasileira”, desenvolvidos com o apoio do Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes.

A caracterização das tendências climáticas no bioma e em suas UCs foi feita com base nos parâmetros climáticos e bioclimáticos de temperatura e precipitação disponíveis na base de dados do *Worldclim* (<http://www.worldclim.org/>). Foram utilizados três modelos de circulação global (HADGEM2-ES, MIROC-ESM e MPI-ESM-LR, daqui em diante HE, MR e MP) que apresentam boa performance para mensurar camadas climáticas na América do sul em uma resolução de 2.5 minutos. O clima atual foi caracterizado pela interpolação de dados das estações meteorológicas ao redor do mundo, considerando o período de 1950 a 2000. As previsões para o futuro foram feitas considerando o cenário realista de emissões de gases do efeito estufa para o ano de 2070, que representa o período entre 2060 e 2080. A sensibilidade da produtividade da floresta Amazônica foi calculada a partir de um índice que compara a variação da produtividade da vegetação com a variação relativa da temperatura do ar, a disponibilidade de recursos hídricos e a cobertura de nuvens para cada 5 km² de grade para os meses em que a evapotranspiração foi tida como relacionada (SEDDON et al., 2016).

A vulnerabilidade de 50 espécies de lagartos e uma espécie de serpente foi avaliada através de diferentes abordagens, considerando características da sua fisiologia térmica. O risco de extinção foi mensurado através de um modelo de distribuição que incorpora dados da biologia das espécies e os dados das previsões de exposição do bioma e suas UCs. Por fim, foram definidas as UCs onde as espécies são passíveis de ocorrer e as áreas potenciais para a conservação das espécies no bioma amazônico.

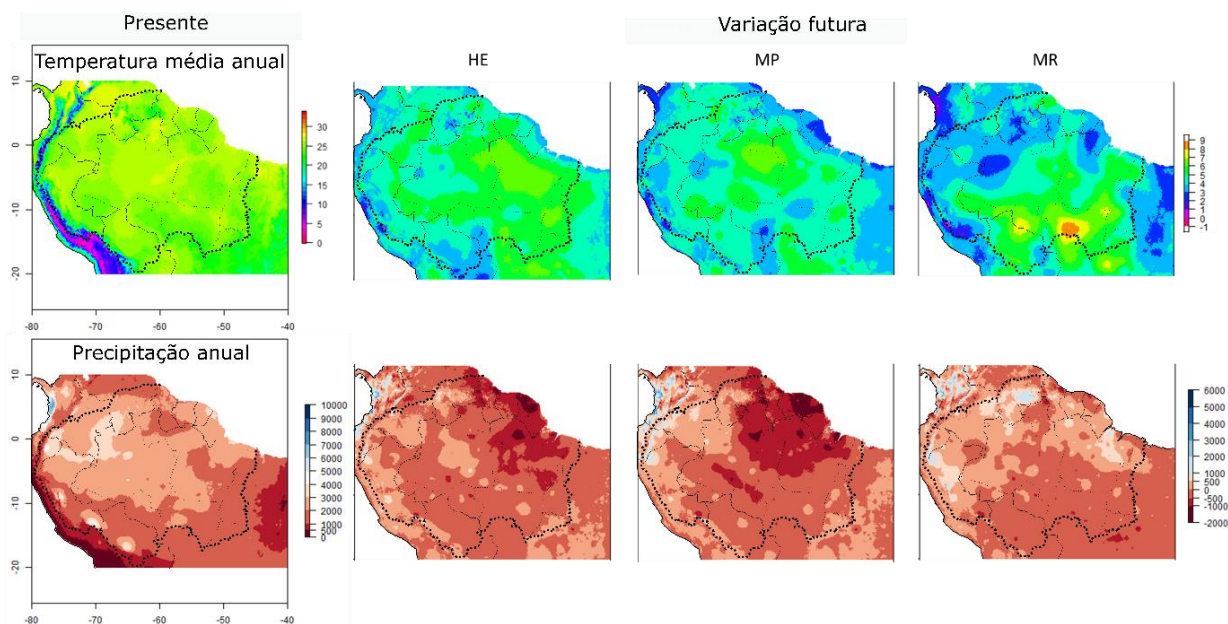
AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BIOMA AMAZÔNICO

Temperatura, Precipitação e Sensibilidade da Vegetação

Os dados obtidos em nosso estudo preveem um aumento na temperatura média anual variando de 2°C a 9°C até 2070 ao longo da extensão da Pan-Amazônia (Figura 1). O bioma estará exposto a um aumento médio de 4.6°C a 5°C, considerando os três modelos avaliados. HE e MP apresentam padrões similares de variação na temperatura em todo o bioma, com a porção brasileira da Amazônia alcançando a maior variação na temperatura (Até 7°C no estado do Pará, para HE, e na região Noroeste do estado do Amazonas, para MP; Figura 43). O modelo MR teve a maior heterogeneidade ao longo do bioma. Para alguns pontos, como na região ocidental da Amazônia, foi previsto um aumento de 2-3°C, enquanto na região do extremo-sul do bioma, no Ecótono Amazônia-Cerrado, foi previsto um aumento de 8-9°C (Figura 43). Estes resultados indicam um aumento de aproximadamente 2.5°C em relação às previsões anteriores realizadas em um cenário otimista de emissões de gases no efeito estufa(FEELEY; REHM, 2012).

Para a precipitação anual do bioma, foi prevista uma diminuição média de 12.8% no modelo MP (= -295,1 mm) e 10.2% no modelo HE (= -233,6 mm), enquanto para o modelo MR foi previsto um aumento médio de 2.9% (= +67,7 mm). Novamente, os modelos HE e MP apresentaram uma variação similar, alcançando uma diminuição máxima de 2000 mm na região norte da Amazônia, principalmente nas Guianas, no Suriname e no estado do Amapá, no Brasil, e de 1000 mm na região adjacente a essa (Figura 43). Para o modelo MR, neste mesmo local foi prevista uma diminuição de 500 mm de precipitação, porém um aumento de 500 mm na região adjacente (Figura 43). Apesar destas diferenças, para todos os três modelos foi previsto que a região Sul e Sudeste do bioma amazônico se torne ao menos 500 mm mais seca.

Figura 43 – Variação na média anual de temperatura e precipitação anual na Amazônia.



Legenda: Medidas de temperatura em °C e precipitação em milímetros. HE = HADGEM2-ES, MP = MPI-ESM-LR e MR = MIROC-ESM; modelos de circulação global.

Todas as demais variáveis de temperatura mostraram variações extremas para todos os modelos testados. Foi prevista uma diminuição na oscilação da temperatura diurna em relação à oscilação de temperatura anual (Isothermalidade; Tabela 22). O período mais quente do ano, que compreende os meses de julho a setembro, ficaria mais seco, ao passo que o período mais frio, de abril a junho, ficaria mais úmido (Tabela 22). Os resultados indicaram ainda que os padrões climáticos do bioma são passíveis de se intensificarem, com a estação seca se tornando ainda mais seca e a estação úmida se tornando ainda mais úmida. Isto pode levar à mudanças na paisagem, com florestas sendo substituídas por áreas abertas e vegetação sazonal, fenômeno chamado de savanização da Amazônia.

Tabela 22 - Exposição dos fatores climáticos na Pan-Amazônia.

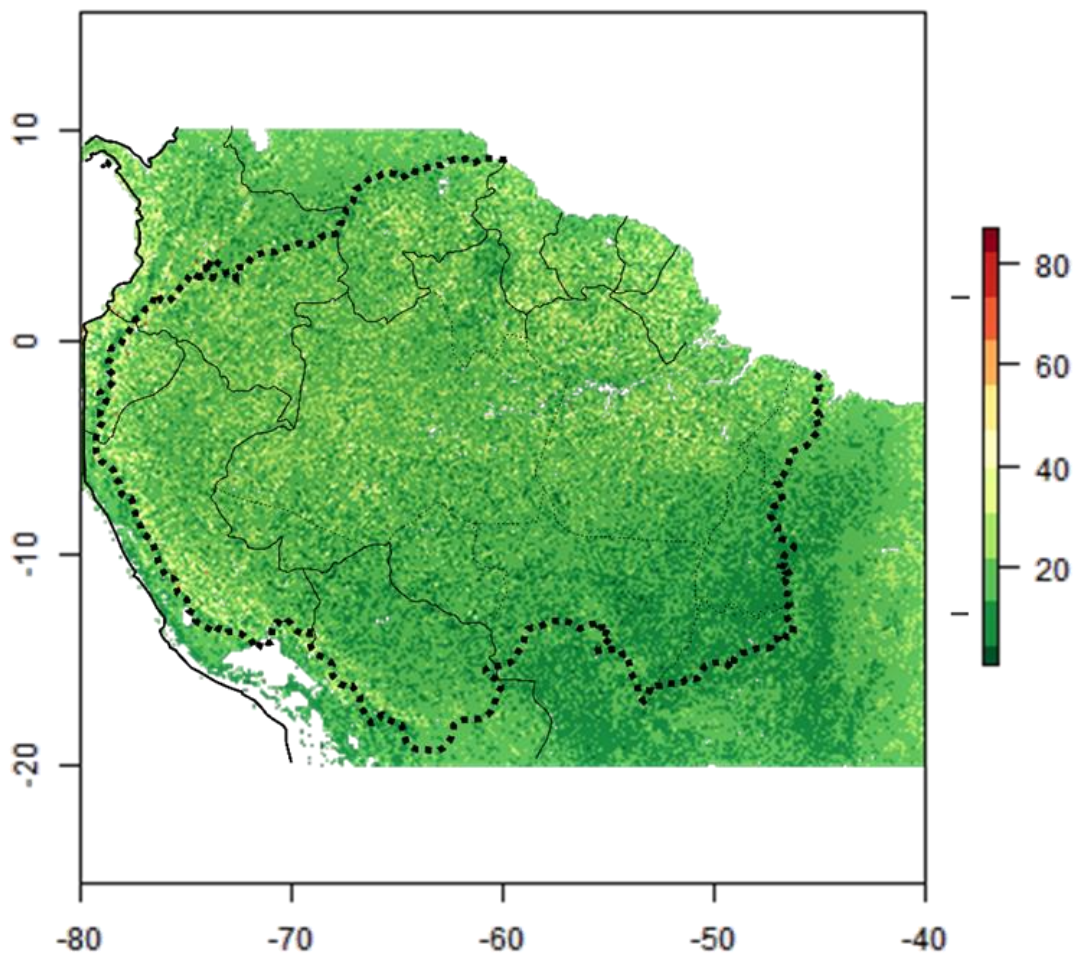
Fator climático	HE	MP	MR
Temperatura média anual	+ 5.02°C	+ 4.60°C	+ 4.56°C
Varição média diurna	+ 0.37°C	+ 0.13°C	+ 0.96°C
Isotermalidade	-0.92%	-0.41%	-0.44%
Sazonalidade da Temperatura	65.91%	37.36%	55.22%
Máxima temperatura do mês mais quente	+ 6.87°C	+ 5.25°C	+ 6.31°C
Mínima temperatura do mês mais frio	+ 4.59°C	+ 4.41°C	+ 4.21°C
Varição da temperatura anual	+ 2.28°C	+ 0.84°C	+ 2.10°C
Média da temperatura do período mais úmido	+ 4.37°C	+ 4.33°C	+ 3.76°C
Média da temperatura do período mais seco	+ 5.72°C	+ 4.82°C	+ 5.49°C
Média da temperatura do período mais quente	+ 6.11°C	+ 5.19°C	+ 5.45°C
Média da temperatura do período mais frio	+ 4.48°C	+ 4.36°C	+ 4.06°C
Precipitação anual	-233.66 mm	-295.15 mm	+ 67.68 mm
Precipitação do mês mais úmido	+ 3.05 mm	+ 16.47 mm	+ 29.00 mm
Precipitação do mês mais seco	-13.18 mm	-24.67 mm	-1.90 mm
Sazonalidade da Precipitação	8.92%	14.13%	3.34%
Precipitação do período mais úmido	-32.86 mm	-23.85 mm	+ 53.31 mm
Precipitação do período mais seco	-39.16 mm	-59.99 mm	+ 8.98 mm
Precipitação do período mais quente	-119.81 mm	-51.63 mm	-67.84 mm
Precipitação do período mais frio	+ 70.95 mm	+ 44.17 mm	+ 268.88 mm
Temperatura mínima mensal	+ 6.88°C (Outubro)	+ 5.67°C (Outubro)	+ 6.23°C (Agosto)
Temperatura máxima mensal	+ 5.78°C (Outubro)	+ 5.26°C (Outubro)	+ 4.98°C (Setembro)
Precipitação mensal	-40.66 mm (Outubro)	- 58.78 mm (Fevereiro)	+32.15 mm (Maio)

Legenda: Exposição = variação entre as previsões futuras e os valores do presente. Previsões feitas para o ano de 2070, em um cenário realista de emissão de gases do efeito estufa. O mês com maior variação de precipitação, temperatura máxima e mínima está entre parênteses.

A média da sensibilidade estimada da vegetação do bioma foi baixa (19,69), porém a variação foi de 0,87 a 85,79 em todo o bioma, e na maior parte dele variou de 20 a 50 (Figura 44). Os valores mais baixos de sensibilidade estariam na região sul da Amazônia, também conhecida como o Arco do Desmatamento no Brasil, onde o aumento do uso da terra é a maior ameaça às florestas (NAHUR et al., 2012). Desta forma, a alta sensibilidade pode estar

relacionada à redução da troca de gases feita pelas folhas das árvores em ambientes mais quentes, uma vez que está associada às taxas de crescimento das florestas (SEDDON et al., 2016).

Figura 44 – Sensibilidade da produtividade da vegetação da Pan-Amazônia.



Legenda: Baseado em SEDDON et al. (2016). O gradiente varia do verde (pouco sensível) para o vermelho (muito sensível).

Unidades de Conservação

As UCs com enfoque em conservação de características naturais (Monumentos Naturais, Santuários e Zonas Reservadas) tiveram a maior exposição à temperatura média anual em relação às demais categorias, apresentando uma variação média de 25,41% (Tabela 23). Além disso, tiveram a menor exposição à precipitação anual, com uma variação média de 13,02% (Tabela 23). Já as UCs menos expostas à variação da temperatura média anual foram aquelas

com enfoque na conservação por gestão ativa (Áreas de Uso de Recursos, Florestas Nacionais e Estaduais, Reservas Extrativistas e de Desenvolvimento Sustentável, entre outras) apresentando uma variação média de 18,01%. Estas também foram as UCs com maior exposição à precipitação anual em relação às demais, com variação média de 19,15% (Tabela 23). As UCs que apresentaram a vegetação menos sensível foram as regiões selvagens (Reservas Biológicas e de Vida Silvestre), com média de sensibilidade de 16,65%, e as mais sensíveis foram as com enfoque na conservação de características naturais, com média de sensibilidade de 22,62% (Tabela 23).

As áreas de proteção são importantes para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, através do sequestro de carbono e armazenamento do mesmo como biomassa e no solo (CAMPBELL et al., 2008; GROSS et al., 2015). Considerando que as áreas protegidas são uma das mais ricas áreas de armazenamento de carbono, a gestão ativa destas áreas será necessária para preservar seu papel na mitigação das mudanças climáticas (GROSS et al., 2015). Desta forma, a identificação de como as UCs serão afetadas pelas mudanças climáticas é crucial para determinar a melhor estratégia para os gestores destas áreas. Considerando o grau de influência humana, as reservas naturais estritas (Estações Ecológicas, Reservas Biológicas e Reservas Nacionais Naturais) são as áreas com maior capacidade adaptativa. UCs com enfoque na conservação por gestão ativa tem alta influência humana e, portanto, baixa capacidade adaptativa no sistema (Tabela 23). Apesar disso, foram as UCs que em média apresentaram menor exposição às variações climáticas para o bioma. Desta forma, pode ser interessante buscar estratégias para otimizar o sequestro de carbono nas áreas menos expostas, como a expansão da área ocupada pelas UCs e a criação de corredores ecológicos entre estas visando a proteção das áreas pouco impactadas pelas mudanças climáticas (MAWDSLEY; O'MALLEY; OJIMA, 2009).

Tabela 23 - Exposição, sensibilidade da vegetação e capacidade adaptativa da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (continua)

Fator climático	Modelo	Amazônia	Ia [38]	Ib [4]	II [96]	III [12]	IV [47]	V [55]	VI [186]
Temperatura média anual	HE	19.63%	20.25%	17.89%	21.13%	27.75%	18.07%	19.28%	19.65%
	MP	18.02%	18.73%	17.22%	20.35%	27.40%	17.08%	18.37%	18.33%
	MR	17.85%	19.03%	21.00%	19.71%	21.07%	18.87%	18.26%	18.36%
Variação média diurna	HE	3.57%	3.69%	5.88%	2.87%	1.70%	5.55%	4.41%	3.91%
	MP	1.21%	1.62%	1.50%	2.35%	2.49%	2.50%	1.87%	1.54%
	MR	9.18%	11.55%	15.24%	10.08%	7.60%	9.89%	10.76%	11.07%
Isotermalidade	HE	-11.72%	11.05%	12.51%	8.57%	5.73%	9.12%	11.76%	10.76%
	MP	-5.14%	5.70%	7.18%	6.26%	5.41%	4.99%	6.51%	5.62%
	MR	-5.61%	7.44%	2.65%	5.11%	2.51%	4.32%	8.54%	7.41%
Sazonalidade da Temperatura	HE	118.60%	154.37%	80.64%	106.34%	39.15%	70.59%	134.77%	148.46%
	MP	67.22%	78.57%	50.61%	66.73%	43.21%	36.15%	54.31%	80.65%
	MR	99.37%	162.84%	64.94%	98.15%	19.34%	63.42%	128.95%	161.49%
Máxima temperatura do mês mais quente	HE	21.26%	21.31%	19.94%	20.20%	19.14%	18.25%	20.52%	20.89%
	MP	16.25%	16.57%	16.46%	17.73%	18.81%	14.36%	16.13%	16.14%
	MR	19.54%	20.83%	22.50%	18.72%	14.32%	18.02%	19.80%	20.58%
Mínima temperatura do mês mais frio	HE	24.20%	26.49%	20.12%	30.10%	59.44%	22.09%	57.96%	25.96%
	MP	23.23%	26.53%	23.29%	29.53%	62.48%	21.19%	62.49%	26.12%
	MR	22.17%	25.49%	27.35%	28.10%	49.85%	23.50%	49.37%	25.18%
Variação da temperatura anual	HE	17.08%	16.87%	21.10%	12.72%	7.74%	16.51%	18.78%	16.63%
	MP	6.30%	6.78%	8.48%	8.47%	7.55%	7.50%	7.78%	6.51%
	MR	15.80%	18.29%	18.17%	13.17%	7.06%	13.81%	19.70%	17.77%
Média da temperatura do período mais úmido	HE	17.21%	18.05%	15.54%	19.05%	25.09%	15.96%	17.06%	17.51%
	MP	17.05%	18.32%	15.38%	19.18%	24.11%	17.34%	17.85%	17.66%
	MR	14.83%	15.33%	17.53%	17.69%	19.84%	16.60%	15.36%	14.37%

Tabela 23 - Exposição, sensibilidade da vegetação e capacidade adaptativa da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (continuação)

Média da temperatura do período mais seco	HE	22.52%	22.68%	22.18%	24.01%	34.60%	20.91%	22.58%	21.84%
	MP	18.97%	20.01%	18.83%	21.53%	34.87%	17.71%	19.35%	19.43%
	MR	21.60%	23.42%	27.43%	22.64%	24.57%	22.64%	21.94%	23.10%
Média da temperatura do período mais quente	HE	23.37%	24.15%	21.18%	23.65%	26.95%	19.99%	22.20%	23.58%
	MP	19.86%	20.76%	19.46%	21.70%	26.29%	17.60%	19.25%	20.20%
	MR	20.85%	22.71%	22.35%	21.37%	19.73%	19.65%	20.84%	22.04%
Média da temperatura do período mais frio	HE	18.07%	18.89%	17.17%	20.77%	33.49%	18.08%	17.94%	18.35%
	MP	17.58%	19.11%	16.84%	20.69%	33.59%	17.20%	18.80%	18.21%
	MR	16.39%	17.04%	21.65%	19.71%	24.77%	19.86%	17.10%	15.96%
Precipitação anual	HE	-10.17%	12.45%	16.80%	10.29%	10.29%	20.33%	14.62%	13.52%
	MP	-12.84%	21.15%	16.67%	19.41%	13.15%	25.20%	18.09%	20.42%
	MR	2.95%	8.12%	11.02%	9.77%	15.63%	11.91%	9.41%	8.64%
Precipitação do mês mais úmido	HE	0.92%	10.58%	6.62%	11.50%	17.19%	8.24%	10.50%	10.34%
	MP	4.97%	18.32%	13.17%	24.30%	25.55%	21.13%	14.00%	16.33%
	MR	8.75%	15.74%	15.67%	16.90%	37.57%	19.89%	20.51%	15.00%
Precipitação do mês mais seco	HE	-19.47%	24.05%	37.04%	22.46%	16.06%	45.90%	32.19%	23.82%
	MP	-36.45%	24.11%	25.49%	24.07%	30.04%	34.79%	30.61%	24.99%
	MR	-2.81%	17.76%	23.58%	27.15%	30.01%	35.06%	25.84%	14.73%
Sazonalidade da Precipitação	HE	18.05%	14.82%	37.30%	20.71%	18.69%	49.56%	20.06%	15.79%
	MP	28.58%	27.91%	21.45%	34.99%	42.18%	33.59%	27.47%	26.27%
	MR	6.75%	21.95%	18.91%	23.65%	59.48%	33.26%	25.46%	21.44%
Precipitação do período mais úmido	HE	-3.57%	10.95%	8.61%	10.29%	14.78%	9.08%	10.88%	11.17%
	MP	-2.59%	20.73%	17.58%	23.79%	18.46%	25.03%	18.03%	19.20%
	MR	5.79%	13.55%	12.46%	13.83%	24.81%	15.81%	17.70%	12.47%

Tabela 23 - Exposição, sensibilidade da vegetação e capacidade adaptativa da Pan-Amazônia e suas Unidades de Conservação (continuação)

Precipitação do período mais seco	HE	-16.29%	22.77%	33.99%	20.11%	13.16%	40.07%	28.33%	23.19%
	MP	-24.95%	21.40%	29.97%	22.33%	25.43%	28.38%	24.52%	21.90%
	MR	3.73%	17.94%	21.73%	23.93%	26.79%	29.71%	22.07%	16.84%
Precipitação do período mais quente	HE	-28.13%	27.47%	44.38%	25.46%	18.14%	39.48%	33.15%	27.49%
	MP	-12.12%	50.79%	31.21%	32.40%	20.94%	32.80%	50.11%	49.76%
	MR	-15.93%	31.82%	32.31%	29.03%	17.66%	29.72%	29.30%	32.27%
Precipitação do período mais frio	HE	12.04%	69.12%	16.72%	79.20%	30.67%	64.49%	16.50%	66.56%
	MP	7.50%	143.86%	139.87%	102.94%	67.49%	37.89%	36.59%	168.88%
	MR	45.64%	186.22%	108.59%	126.86%	42.50%	78.69%	54.88%	201.12%
Temperatura máxima anual	HE	16.80%	17.08%	15.59%	17.17%	18.46%	15.40%	16.50%	16.72%
	MP	15.09%	15.77%	14.25%	16.43%	17.97%	14.05%	15.21%	15.22%
	MR	16.28%	17.22%	19.87%	16.91%	13.78%	16.82%	16.55%	16.54%
Temperatura mínima anual	HE	23.65%	23.37%	21.99%	24.80%	32.25%	21.54%	28.20%	22.97%
	MP	22.24%	23.60%	21.70%	25.26%	31.88%	22.81%	30.48%	23.28%
	MR	20.02%	20.30%	21.86%	21.45%	27.33%	21.99%	25.39%	20.20%
Precipitação média anual	HE	-10.95%	-12.95%	-20.62%	-7.55%	5.38%	-23.59%	-14.65%	-13.60%
	MP	-13.45%	-14.31%	-21.23%	-7.29%	2.69%	-22.17%	-15.56%	-16.31%
	MR	1.00%	-0.42%	-10.17%	3.58%	16.37%	-4.05%	-0.66%	0.41%
Sensibilidade da Vegetação	-	19.69%	19.68%	16.65%	20.86%	22.62%	19.40%	18.41%	20.03%
Capacidade Adaptativa	-	30%							

Legenda: Variação percentual dos fatores climáticos previstos em relação ao presente, considerando o cenário realista de emissões de gases do efeito estufa. HE = HADGEM2-ES, MP = MPI-ESM-LR e MR = MIROC-ESM; modelos de circulação global. Ia = Reservas Naturais Estritas, Ib = Regiões Selvagens, II = Proteção e Conservação de Ecossistemas, III = Conservação de Características Naturais, IV = Conservação por Gestão Ativa, V = Conservação de Paisagens e Recreação, VI = Uso Sustentável de Recursos Naturais, de acordo com a IUCN (PHILIPS, 2006). Número de territórios analisados entre colchetes. O gradiente de cor representa o grau de capacidade adaptativa de cada categoria de área protegida, baseado no grau de influência humana, do cinza (alta capacidade adaptativa, baixa influência humana) para o preto (baixa capacidade adaptativa, alta influência humana).

OS RÉPTEIS COMO OBJETO DE ESTUDO

A Amazônia abriga mais de 450 espécies de répteis, sendo a grande maioria composta por serpentes e lagartos (UETZ et al., 2018). Essa grande diversidade se estende também a outros grupos de organismos, como aves, anfíbios, aracnídeos, insetos e plantas, garantindo ao bioma o título de ambiente mais diverso do planeta. Desta forma, ao falarmos na preservação de um determinado grupo, isto implica na busca pela preservação de todo o ambiente em que ele está inserido, o que traz benefícios para todas as espécies.

As alterações climáticas descritas aqui podem vir a resultar não só em um ambiente com médias de temperatura mais elevadas, mas também em uma floresta com uma cobertura de dossel mais aberta, o que aumenta a incidência luminosa no seu interior e conseqüentemente a temperatura do microambiente em que animais especializados, como os lagartos de floresta, costumam realizar as suas atividades diárias. Para ectotérmicos, essa alteração no microambiente pode ter conseqüências mais severas que as alterações regionais, considerando a necessidade de regular a temperatura corpórea com base na temperatura do ambiente em que ele se encontra.

Manter a temperatura corporal dentro da sua *faixa de ajuste* é essencial para que os répteis consigam executar as suas atividades diárias. Essa manutenção é feita através da termorregulação, ou regulação da temperatura corpórea, que pode ser ativa ou passiva. Espécies com termorregulação ativa buscam manter a temperatura corporal ideal comportamentalmente, seja através da heliotermia (comportamento de termorregulação com exposição direta ao sol) ou da tigmotermia (comportamento de termorregulação através do contato com superfícies quentes). Já as espécies com termorregulação passiva são aquelas que não termorregulam ativamente, e, portanto, sua temperatura corpórea se mantém próxima da temperatura do ambiente em que o animal se encontra (DIELE-VIEGAS et al., 2018). A eficiência com que as espécies são capazes de termorregular em ambientes que não são termicamente adequados pode ser um fator determinante para mensurar a sua capacidade de lidar com os efeitos adversos das mudanças no clima (HERTZ et al., 1993). Neste caso, as espécies podem priorizar permanecer em locais com refúgios com disponibilidade de recursos e que sejam adequados para evitar predadores e condições climáticas adversas, ao invés de manter uma termorregulação constante e com alto gasto energético (DIELE-VIEGAS; ROCHA, 2018).

Acessar a vulnerabilidade de répteis a alterações no ambiente em que estão inseridos requer uma abordagem integrativa que avalie características ecológicas, fisiológicas e

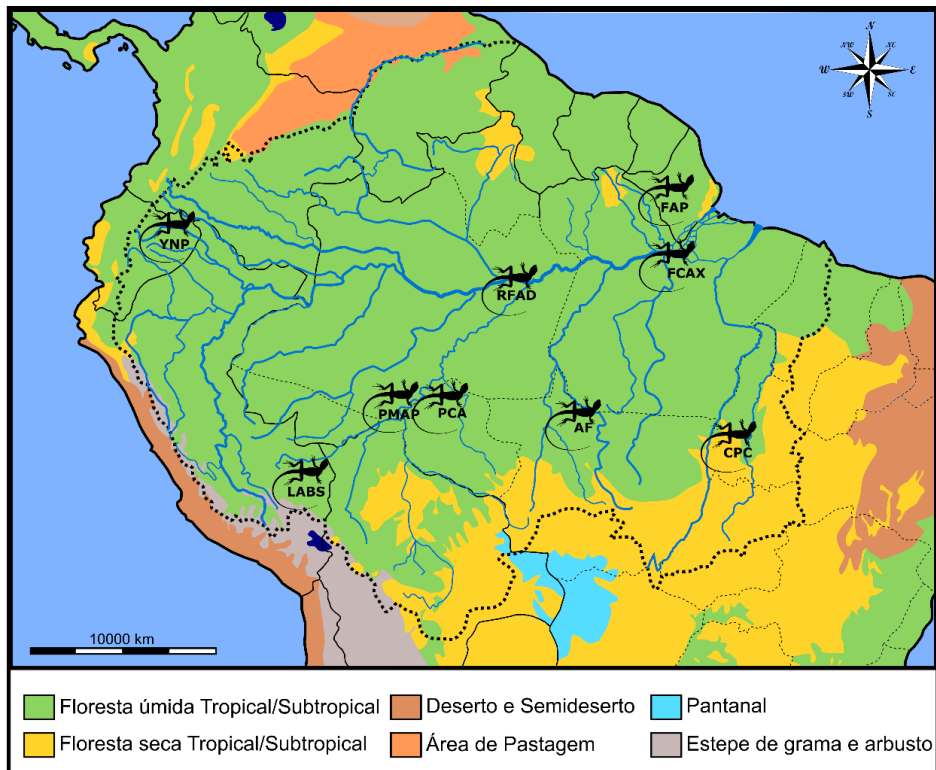
comportamentais para explicar possíveis mudanças na distribuição das espécies. Desta forma, a avaliação apresentada aqui buscou cumprir com esta premissa ao utilizar diferentes parâmetros para mensurar o impacto das mudanças climáticas em cinquenta espécies de lagartos e uma serpente da Amazônia.

A comunidade de lagartos e as mudanças climáticas

Para avaliar os efeitos das mudanças climáticas na comunidade de lagartos da Amazônia, foram consideradas somente as espécies encontradas nas expedições dos projetos mencionados anteriormente, onde foram coletados dados de fisiologia térmica das espécies (Figura 45). Tais dados foram obtidos sob licenças do IBAMA (073/94-DIFAS) e SISBIO (13324-1, 44832-1, 49241, 50381 e 57707-2), e sob aprovação das Comissões de Ética no Uso de Animais do INPA (029/2014), MPEG (01/2015) e CEUA UnB (33716/2016).

A comunidade de lagartos da Amazônia (Figura 46) é passível de apresentar uma composição relativamente homogênea ao longo do bioma, o que indica uma tendência das espécies a apresentarem uma grande amplitude e sobreposição de nicho, permitindo a sua coexistência mesmo em ambientes com características distintas. Em um cenário de mudanças climáticas, a perda de ambientes termicamente adequados pode levar a uma diminuição na área de ocupação das espécies, o que por conta da sobreposição de nicho pode potencializar as chances de competição interespecífica.

Figura 45 – Pontos de amostragem de de Lagartos na Amazônia



Legenda: INP = Yasuni National Park; LABS = Los Amigos Biological Station; FAP = Floresta Nacional do Amapá; FCAX = Floresta Nacional de Caxiuanã; RFAD = Reserva Florestal Adolpho Ducke; AF = Alta Floresta; CPC = Centro de Pesquisas Canguçu; PCA = Parque Nacional Campos Amazônicos; PMAP = Parque Nacional Mapinguari. Linhas azuis representam os rios que cortam a Amazônia, com a linha mais grossa representando o rio Amazonas. Linhas pontilhadas representam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas representam os limites dos países sul-americanos.

Figura 46 – Relações filogenéticas entre as espécies avaliadas.



Legenda: Baseado em PYRON; BURBRINK; WIENS (2013).

Há uma tendência de diminuição da qualidade térmica do ambiente, o que significa que as espécies terão que termorregular ativamente para alcançar temperaturas corpóreas próximas da *faixa de ajuste*. A maioria das espécies pode apresentar adaptações comportamentais para lidar com as flutuações de temperatura, o que reforça o papel do comportamento de termorregulação para amenizar os impactos das mudanças climáticas nos lagartos. Porém, foi observado que isto pode não ocorrer com duas espécies heliotérmicas, *Copeoglossum nigropunctatum* e *Kentropyx calcarata* (Figura 47). Para esta última, foi previsto um risco de extinção variando de 52.8% a 92.8% até 2070, considerando um cenário otimista de emissão de gases do efeito estufa (PONTES-DA-SILVA et al., 2018).

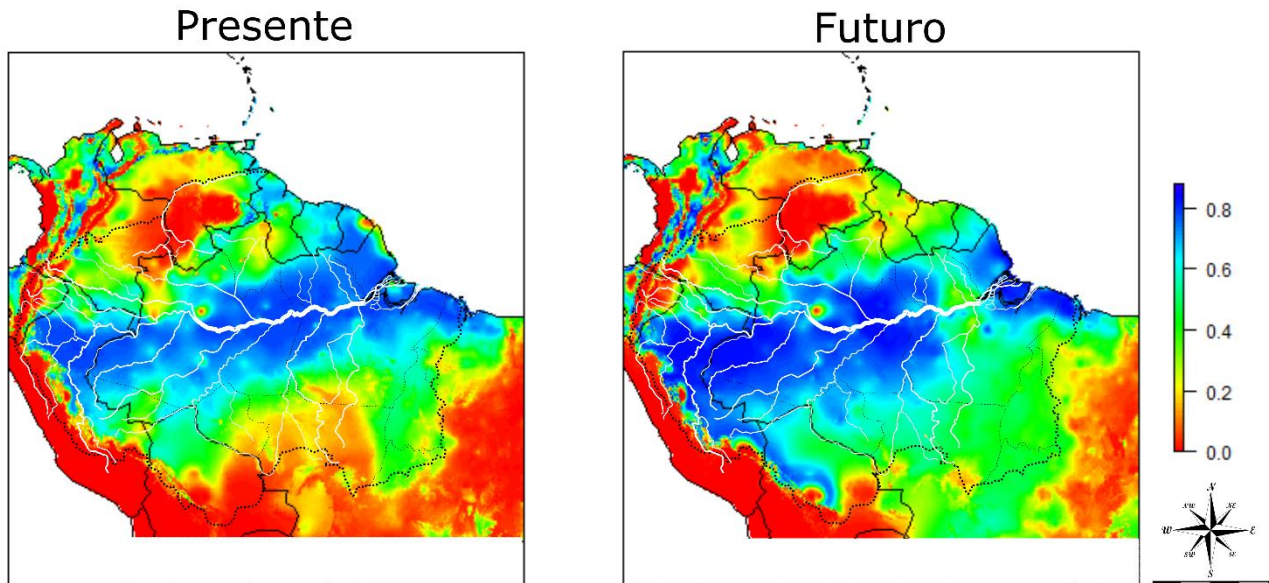
Figura 47 – *Copeoglossum nigropunctatum* (a) e *Kentropyx calcarata* (b).



Fonte: (a) Alex popovkin; (b) Jivanildo Miranda.

Há uma faixa de adequabilidade térmica alta que bate com o curso do rio Amazonas (Figura 48). Já para o futuro, espera-se uma diminuição da adequabilidade térmica na região do Pará, Suriname e Guiana, além de um aumento no limite ocidental do bioma e na região do Mato Grosso, no ecótono entre Amazônia e Cerrado (Figura 48).

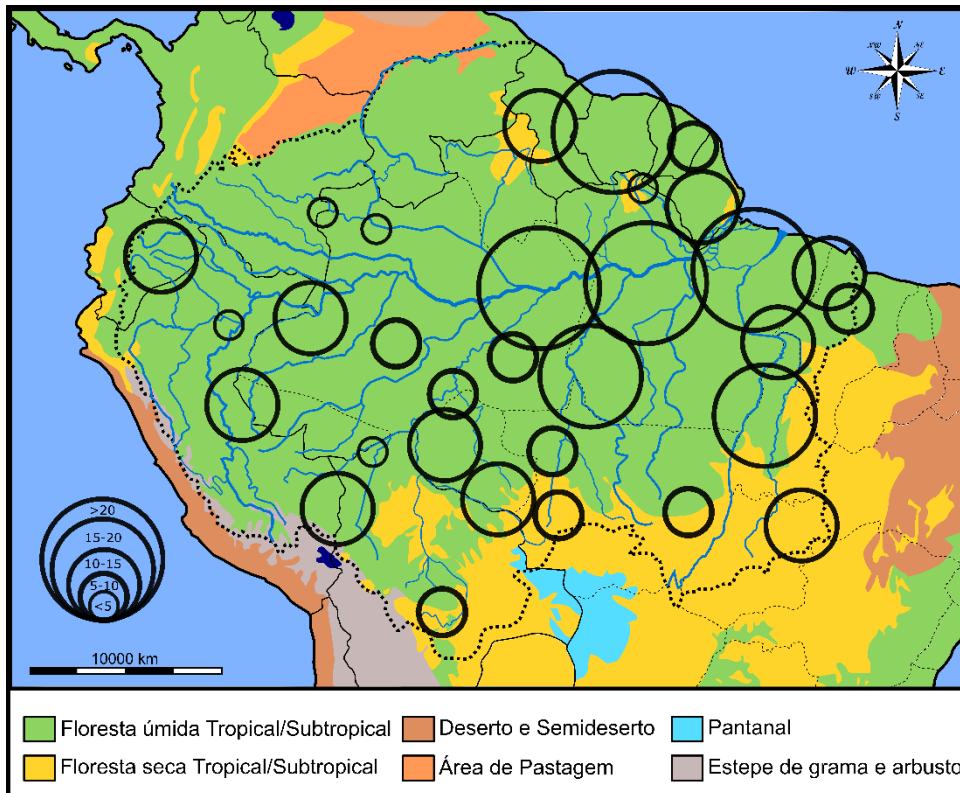
Figura 48 – Adequabilidade térmica da Amazônia para a comunidade de lagartos.



Legenda: Gradiente de coloração variando de menos (vermelho) para mais (azul) adequado termicamente. Linhas brancas representam os rios que cortam a Amazônia, com a linha mais grossa representando o rio Amazonas. Linhas pontilhadas representam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas representam os limites dos países sul-americanos.

O padrão de adequabilidade térmica coincide com o aumento da concentração e tamanho de áreas potenciais para conservação de espécies na porção oriental do bioma, onde há uma grande aglomeração de espécies. As regiões do Pará e Amazonas oriental aparecem como as maiores áreas potenciais para a conservação das espécies analisadas (Figura 47). Além disso, alguns outros pontos parecem potencialmente relevantes: a região do Suriname, no limite equatorial do bioma e na região do Arco do desmatamento, em Rondônia e no ecótono Amazônia-Cerrado na divisa entre o Pará e Tocantins (Figura 49).

Figura 49 – Áreas potenciais para a conservação de Lagartos na Amazônia.



Legenda: O tamanho dos círculos indica a quantidade gradual de espécies presentes na região. Linhas azuis representam os rios que cortam a Amazônia, com a linha mais grossa representando o rio Amazonas. Linhas pontilhadas representam os limites dos estados brasileiros, e linhas pretas representam os limites dos países sul-americanos.

O caso da serpente Corallus hortulanus

Corallus hortulanus (Figura 50) é uma espécie de serpente arborícola amplamente distribuída ao longo das Guianas, Amazônia e sudeste do Brasil. Essa espécie é exclusivamente noturna, sendo normalmente encontrada a pelo menos um metro acima do solo em árvores ao longo da margem de rios, se escondendo na vegetação quando inativas (MARTINS; OLIVEIRA, 1999).

Figura 50 – *Corallus hortulanus*.

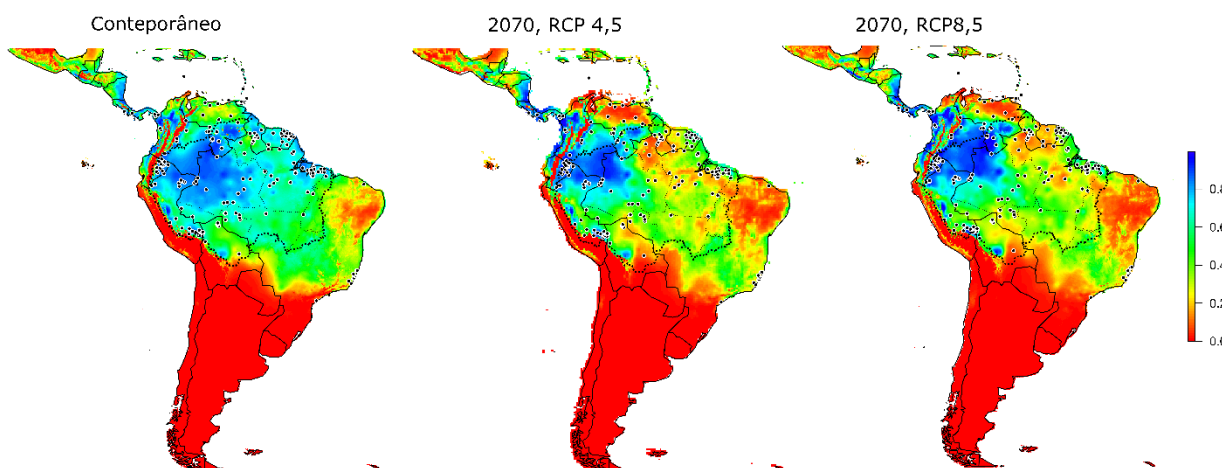
Fonte: A autora, 2017.

A espécie apresenta uma grande tolerância térmica, suportando temperaturas ambientais entre 9 e 38°C, embora apresentem uma faixa de ajuste mais restrita, variando entre 26 e 28°C. Isto indica que a espécie pode vir a apresentar um certo grau de resiliência a alterações climáticas, apesar de permanecer desconfortável em temperaturas acima de sua faixa de ajuste. Além disso, o bioma apresenta uma adequabilidade térmica relativamente baixa para a espécie, o que tende a diminuir com o aumento de temperatura previsto para o futuro. Isto pode representar uma pressão seletiva para a otimização da habilidade de termorregulação da espécie, o que explicaria por que ela possui um grande alcance de tolerância térmica.

Considerando toda a extensão do bioma, foi prevista uma redução de 30,5% na probabilidade de ocorrência da espécie considerando um cenário otimista de emissão de gases do efeito estufa, e 25,6% considerando um cenário realista (Figura 51). A maior parte das áreas com mais de 80% de adequabilidade térmica encontram-se atualmente na região do Amazonas, Perú, Colômbia, Equador e Venezuela, bem como na região do Marajó (Figura 51). As previsões para 2070 indicam uma redução da adequabilidade térmica no Marajó e no Amazonas, no Brasil, para aproximadamente 50% (Figura 51). Além disso, em Roraima (Brasil), na Guiana e no Suriname a adequabilidade térmica do ambiente para *C. hortulanus* atualmente está em torno de 60 a 80%, mas as previsões para 2070 demonstram uma tendência de redução até atingir a completa inadequação (Figura 51). Porém, a redução média prevista foi maior para o cenário mais otimista de emissão de gases do efeito estufa, indicando

que a variação climática local tem mais influência na vulnerabilidade da espécie do que a variação média regional.

Figura 51 – Distribuição potencial atual e futura de *Corallus hortulanus*.



Legenda: A linha pontilhada representa a extensão do bioma amazônico enquanto as linhas pontilhadas mais finas representam os estados brasileiros e as linhas completas representam os limites internacionais. A graduação do mapa vai de 0 = ambiente termicamente inadequado a 1 = ambiente termicamente adequado. RCP 4,5 = cenário otimista de emissão de gases do efeito estufa; RCP 8,5 =

O PAPEL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

As espécies avaliadas são passíveis de ocorrer em 318 UCs da Amazônia, das quais 97 potencialmente abrigam mais de 10 destas espécies (Tabela 24, Tabela S6). Destas, 76 encontram-se no Brasil, 12 no Suriname, três na Guiana Francesa, duas no Equador, duas na Guiana e duas no Perú. Das UCs situadas no Brasil, 35 encontram-se localizadas no Pará, 19 no Amazonas, 10 em Rondônia, seis no Amapá, duas no Maranhão, duas no Mato Grosso, uma em Roraima e uma no Acre. Dentre estas UCs, 44 permitem o uso sustentável de recursos naturais, 17 são paisagens protegidas, 10 são áreas protegidas para a gestão de habitat e espécies, 15 são áreas protegidas com pouca ou nenhuma modificação antrópica, nove são reservas naturais estritas e duas não foram classificadas de acordo com a IUCN (Tabela 24).

Em relação às UCs com maior diversidade, 21 potencialmente abrigam mais de 20 espécies, sendo 10 no Pará, seis no Amazonas, três no Amapá, uma no Acre e uma no Suriname (Tabela 24). Destas, sete permitem a gestão de recursos naturais, seis são paisagens protegidas onde a interação de pessoas com a natureza é permitida, duas são voltadas para a

gestão de espécies e habitats, cinco são áreas protegidas com pouca ou nenhuma modificação antrópica e uma não foi categorizada de acordo com a IUCN (Tabela 24).

Com exceção do PARNA Serra do Divisor, todas as UCs com mais de 20 espécies avaliadas se encontram na região do entorno do Rio Amazonas e possuem alta adequabilidade térmica para as espécies avaliadas. Além disso, a maioria encontra-se na região metropolitana, tanto do Pará (APA Ilha do Cumbú, APA Região Metropolitana de Belém, Parque Estadual Utinga, ARIE Parque Ambiental Antônio Danúbio e ARIE Museu Parque Seringal), quanto do Amazonas (Parque Estadual Sumaúma, APA Parque Linear do Bindá, APA Taruma/Ponta Negra). Isto demonstra a fragilidade destes ambientes, que muitas vezes são manchas isoladas de floresta dentro do perímetro urbano (e.g., Parque Estadual Sumaúma e Parque Estadual Utinga). A ausência de corredores ecológicos isola as populações destas áreas, o que, em um eventual cenário de estresse ambiental local, pode significar uma alta vulnerabilidade das populações locais (MAWDSLEY; O'MALLEY; OJIMA, 2009). Além disso, o desenvolvimento urbano pode influenciar diretamente estas espécies, alterando a sua distribuição, seus padrões de ocupação e de organização de assembleias (GERMAINE; WAKELING, 2001). Com isso, em um cenário de estresse ambiental é possível que haja um aumento na ocorrência destas espécies no perímetro urbano, o que, sem uma política de sensibilização da população local, pode significar um grande risco para a sua sobrevivência.

Tabela 24 - Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas (Continua).

Unidades de Conservação	País	Estado BR	Categoria IUCN	No. de espécies
Reserva Biológica Uatumã	Brasil	AM	Ia	11
Estação Ecológica Jari	Brasil	AP	Ia	20
Estação Ecológica Rio Roosevelt	Brasil	MT	Ia	12
Estação Ecológica Grão Pará	Brasil	PA	Ia	18
Estação Ecológica Terra do Meio	Brasil	PA	Ia	11
Reserva Biológica Maicuru	Brasil	PA	Ia	11
Reserva Biológica Rio Trombetas	Brasil	PA	Ia	16
Reserva Biológica Tapirapé	Brasil	PA	Ia	18
Estação Ecológica Serra dos Três Irmãos	Brasil	RO	Ia	15
Nature Park Brownsberg	Suriname	-	II	23
Parque Nacional Manu	Perú	-	II	12
Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras	Equador	-	II	11
Parque Nacional Yasuní	Equador	-	II	17
Parque Nacional Serra do Divisor	Brasil	AC	II	21
Parque Estadual Matupiri	Brasil	AM	II	11
Parque Estadual Sumaúma	Brasil	AM	II	26
Parque Nacional Campos Amazônicos	Brasil	AM	II	16
Parque Nacional Mapinguari	Brasil	AM	II	19
Parque Estadual Utinga	Brasil	PA	II	24
Parque Nacional Amazônia	Brasil	PA	II	22
Parque Nacional do Jamanxim	Brasil	PA	II	13
Parque Estadual Guajará-Mirim	Brasil	RO	II	18
Parque Nacional Serra da Cutia	Brasil	RO	II	17
Parque Estadual Serra do Aracá	Brasil	RR	II	11
Nature Reserve Boven-Coesewijne	Suriname	-	IV	12
Nature Reserve Brinck-heuvel	Suriname	-	IV	14
Nature Reserve Central Suriname	Suriname	-	IV	17
Nature Reserve Copi	Suriname	-	IV	16
Nature Reserve Perúvia	Suriname	-	IV	16
Nature Reserve Sipaliwini	Suriname	-	IV	18
Nature Reserve Wane Kreek	Suriname	-	IV	20
Área de Relevante Interesse Ecológico Museu Parque Seringal	Brasil	PA	IV	24
Área de Relevante Interesse Ecológico Parque Ambiental Antonio Danubio Lourenço da Silva	Brasil	PA	IV	24
Refúgio de Vida Silvestre Metrópole da Amazônia	Brasil	PA	IV	19
World Heritage Site Central Suriname Nature Reserve	Suriname	-	NA	18
Parque Natural Municipal Cancão	Brasil	AP	NA	21
National Park - Buffer zone/Area of adhesion (Parc Amazonien)	Guiana Francesa	-	V	12
Regional Nature Park Guyane	Guiana Francesa	-	V	20
Área de Proteção Ambiental Margem Direita do Rio Negro - Setor Paduari - Solimões	Brasil	AM	V	27
Área de Proteção Ambiental Margem Esquerda do Rio Negro - Setor Tarumã Açu - Tarumã Mirima	Brasil	AM	V	18
Área de Proteção Ambiental Margem Esquerda do Rio Negro-Setor Aturiá-Apuauzinho	Brasil	AM	V	13
Área de Proteção Ambiental Nhamundá	Brasil	AM	V	17
Área de Proteção Ambiental Parque Linear do Bindá	Brasil	AM	V	26
Área de Proteção Ambiental Presidente Figueiredo - Caverna do Moroaga	Brasil	AM	V	14
Área de Proteção Ambiental Região Metropolitana de Belém	Brasil	AM	V	24

Tabela 24 - Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas (Continuando).

Unidades de Conservação	País	Estado BR	Categoria IUCN	No. de espécies
Área de Proteção Ambiental Taruma/Ponta Negra	Brasil	AM	V	25
Área de Proteção Ambiental das Reentrâncias Maranhenses	Brasil	MA	V	16
Área de Proteção Ambiental Arquipélago do Marajó	Brasil	PA	V	25
Área de Proteção Ambiental Igarapé Gelado	Brasil	PA	V	19
Área de Proteção Ambiental Ilha do Combu	Brasil	PA	V	24
Área de Proteção Ambiental Lago de Tucuruí	Brasil	PA	V	17
Área de Proteção Ambiental Tapajós	Brasil	PA	V	14
Área de Proteção Ambiental Rio Madeira	Brasil	RO	V	18
Community Owned Conservation Area Kanashen	Guiana	-	VI	12
Multiple Use Management Area Bigi Pan	Suriname	-	VI	16
Multiple Use Management Area Noord Saramacca	Suriname	-	VI	17
Multiple Use Management Area North Commewijne - Marowijne	Suriname Guiana	-	VI	18
Ramsar Site Basse-Mana	Francesa	-	VI	12
Reserva Nacional Tambopata	Perú	-	VI	11
Wilderness Reserve/Managed Resource Use Area Iwokrama	Guiana	-	VI	11
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã	Brasil	AM	VI	12
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Piagaçu Purus	Brasil	AM	VI	22
Reserva Extrativista Médio Juruá	Brasil	AM	VI	11
Floresta Nacional Iquiri	Brasil	AM	VI	21
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Cujubim	Brasil	AM	VI	17
Reserva Extrativista Ituxí	Brasil	AM	VI	16
Floresta Estadual do Amapá	Brasil	AP	VI	26
Floresta Nacional Amapá	Brasil	AP	VI	19
Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Rio Iratapuru	Brasil	AP	VI	11
Reserva Extrativista Rio Cajari	Brasil	AP	VI	22
Ramsar Site Reentrancias Maranhenses	Brasil	MA	VI	16
Reserva Extrativista Guariba-Roosevelt	Brasil	MT	VI	13
Floresta Estadual de Faro	Brasil	PA	VI	13
Floresta Estadual Paru	Brasil	PA	VI	23
Floresta Estadual Trombetas	Brasil	PA	VI	14
Floresta Nacional Altamira	Brasil	PA	VI	11
Floresta Nacional Carajás	Brasil	PA	VI	20
Floresta Nacional Caxiuanã	Brasil	PA	VI	22
Floresta Nacional de Itaituba II	Brasil	PA	VI	17
Floresta Nacional do Trairão	Brasil	PA	VI	18
Floresta Nacional Itacaiunas	Brasil	PA	VI	17
Floresta Nacional Jamanxim	Brasil	PA	VI	19
Floresta Nacional Saracá - Taquera	Brasil	PA	VI	24
Floresta Nacional Tapajós	Brasil	PA	VI	19
Floresta Nacional Tapirapé-Aquiri	Brasil	PA	VI	17
Reserva Extrativista Gurupá-Melgaço	Brasil	PA	VI	20
Reserva Extrativista Marinha de Gurupi-Piriá	Brasil	PA	VI	16
Reserva Extrativista Riozinho do Anfrísio	Brasil	PA	VI	17
Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns	Brasil	PA	VI	12
Reserva Extrativista Terra Grande Pracuuba	Brasil	PA	VI	19
Reserva Extrativista Verde para Sempre	Brasil	PA	VI	11
Floresta Estadual de Rendimento Sustentado Rio Vermelho C	Brasil	RO	VI	15
Floresta Nacional Jamari	Brasil	RO	VI	12
Reserva Extrativista Barreiro das Antas	Brasil	RO	VI	19
Reserva Extrativista Jaci-Paraná	Brasil	RO	VI	19

Tabela 24 - Unidades de Conservação com maior diversidade dentre as espécies avaliadas (Continuando).

Unidades de Conservação	País	Estado BR	Categoria IUCN	No. de espécies
Reserva Extrativista Rio Ouro Preto	Brasil	RO	VI	16
Reserva Extrativista Rio Pacaás Novos	Brasil	RO	VI	13

Legenda: AC = Acre, AP = Amapá; AM = Amazonas; MA = Maranhão; MT = Mato Grosso; PA = Pará; RO = Rondônia; RR = Roraima; Ia = Reserva Natural Estrita; II = Parque Nacional; IV = Área protegida para a gestão de habitats ou espécies; V = Paisagem Protegida; VI = Área protegida para gestão de recursos; NA = Não avaliado; de acordo com a IUCN.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A dinâmica do rio Amazonas é um fator importante na criação e na manutenção da alta diversidade de espécies na região norte do bioma, causando um alto distúrbio, variação e rotatividade local na estrutura da floresta (SALO et al., 1986). Apesar disso, as áreas com maior convergência biótica de lagartos da Amazônia são também as áreas mais próximas a regiões metropolitanas, demonstrando a fragilidade destes ambientes. Embora algumas espécies possam potencialmente lidar com os efeitos das mudanças climáticas através de mudanças no seu comportamento termorregulatório, o estresse ambiental nestas áreas pode levar a extinções locais de um grande número de espécies.

As Unidades de Conservação (UCs) apresentam, de maneira geral, um efeito inibidor ao desmatamento e, conseqüentemente, diminuem o fluxo de carbono para a atmosfera, reduzindo os efeitos locais das mudanças climáticas (SOARES-FILHO et al., 2010). Com isso, a expansão destas UCs e a criação de corredores ecológicos reconectando áreas com boa adequabilidade térmica pode ser uma estratégia para inibir os efeitos das mudanças climáticas globalmente e favorecer o câmbio faunístico entre áreas que atualmente são isoladas pelo ambiente urbano.

Os répteis, de maneira geral, não são animais considerados “carismáticos”, e, portanto, tendem a ser desprezados pela população. Além disso, existem muitos mitos e lendas a respeito de lagartos e serpentes, o que aumenta ainda mais a rejeição a estes animais e incentiva sua perseguição seguida de morte. Considerando que as alterações climáticas locais podem levar os animais a se deslocarem em busca de refúgios térmicos, isso pode acarretar no aumento da frequência de observação destas espécies em ambiente urbano. Desta forma, se faz necessário implementar políticas de sensibilização da população acerca da importância de se preservar estes animais, além de um sistema de resgate de fauna eficiente, evitando assim que haja um extermínio das espécies que eventualmente saírem das áreas protegidas em busca de ambientes térmicos mais favoráveis.

8.4 Referências

ARAÚJO, M. A. R. **Unidades de Conservação no Brasil: da República à Gestão de Classe Mundial**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007. 272 p.

BERGALLO, H. et al. **Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade n p.o da Mata Atlantica do Estado do Rio de Janeiro**. [s.l.]: Instituto Biomas, 2009. 344 p.

_____. **Bridging Natural and Social Sciences: A Framework for Identify Strategies and Actions for the Conservation of Biodiversity**. *Journal of Ecosystem & Ecography*, [s.l.], v. 6, n^o 2, 2016. ISSN: 21577625, DOI: 10.4172/2157-7625.1000192.

BOLSONARO, J. **O Caminho Da Prosperidade: Proposta de Plano de Governo**. In: *Plano de Governo*. [s.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://divulgacandcontas.tse.jus.br/candidaturas/oficial/2018/BR/BR/2022802018/280000614517/proposta_1534284632231.pdf>.

CAHILL, A. **How does climate change cause extinction? ... of the Royal ...**, [s.l.], 2013. ISSN: 1471-2954, DOI: 10.1098/rspb.2012.1890.

CAMPBELL, A. et al. **Carbon Storage in Protected Areas – Technical Report**. [s.l.]: [s.n.], 2008. ISBN: 9780735409606, DOI: 10.1063/1.3643567.

CEBALLOS, G. et al. **Accelerated modern human – induced species losses : Entering the sixth mass extinction**. *Science Advances*, [s.l.], v. 1, n^o June, p. 1–6, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400253.

COLLINS, M. et al. **Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility**. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [s.l.], p. 1029–1136, 2013. ISBN: 9781107415324, ISSN: 9781107415324, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.024.

DIELE-VIEGAS, L. M.; ROCHA, C. F. D. **Unraveling the influences of Climate Change in Lepidosauria (Reptilia)**. *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 78, n^o April, p. 401–414, 2018. ISSN: 03064565, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.11.005.

DIELE-VIEGAS, L. M. et al. **Thermal physiology of Amazonian lizards (Reptilia: Squamata)**. *PLoS ONE*, [s.l.], v. 13, n^o 3, p. 1–23, 2018. ISBN: 1111111111, ISSN: 19326203, DOI: 10.1371/journal.pone.0192834.

DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. de A.; OLIVEIRA, D. De. **Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil**. *Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas*, [s.l.], p. 341–385, 2010. ISBN: 9788573657647, ISSN: 1574-695X, DOI: 10.1111/j.1574-695X.2012.00994.x.

ESQUIVEL-MUELBERT, A. et al. **Compositional response of Amazon forests to climate change**. *Global Change Biology*, [s.l.], n^o February, p. 1–19, 2018. ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.14413.

FEELEY, K. J.; REHM, E. M. **Amazon's vulnerability to climate change heightened by deforestation and man-made dispersal barriers.** *Global Change Biology*, [s.l.], v. 18, n° 12, p. 3606–3614, 2012. ISBN: 1354-1013, ISSN: 13541013, DOI: 10.1111/gcb.12012.

FIELD, C. et al. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability.** ... *II Contribution to the IPCC* ..., [s.l.], 2014. ISBN: 9781107641655.

FONSECA, C. R.; VENTICINQUE, E. M. **Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning.** *Perspectives in Ecology and Conservation*, [s.l.], v. 16, n° 2, p. 61–67, 2018. ISSN: 25300644, DOI: 10.1016/j.pecon.2018.03.001.

GERMAINE, S. S.; WAKELING, B. F. **Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson, Arizona, USA.** *Biological Conservation*, [s.l.], v. 97, p. 229–237, 2001. DOI: 10.1016/S0006-3207(00)00115-4.

GOODLAND, R. J. A.; IRWIN, H. S. **Amazon jungle. Green hell to red desert: an ecological discussion of the environment impact of the highway construction program in the Amazon basin.** Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1975.

GROSS, J. et al. **Responding to Climate Change: Guidance for protected area managers and planers.** [s.l.]: [s.n.], 2015. 110 p. ISBN: 9782831718347.

GYNTHER, I.; WALLER, N.; LEUNG, L. K. **Confirmation of the extinction of the Bramble Cay melomys *Melomys rubicola* on Bramble Cay, Torres Strait: results and conclusions from a comprehensive survey in August–September 2014.** *Unpublished report to the Department of Environment and Heritage Protection, Queensland Government, Brisbane*, [s.l.], n° September 2014, p. 59, 2016.

HERTZ, P. E. et al. **Evaluating temperature regulation by field-active ectotherms: the fallacy of the inappropriate question.** *The American naturalist*, [s.l.], v. 142, n° 5, p. 796–818, 1993. ISBN: 0003-0147, ISSN: 0003-0147, DOI: 10.1086/285573.

IUCN, W. H. O. **Brazilian Atlantic Islands: Fernando de Noronha and Atol das Rocas Reserves.** [s.l.], n° February, p. 1–24, 2017.

LAHSEN, M. **A science-policy interface in the global south: The politics of carbon sinks and science in Brazil.** *Climatic Change*, [s.l.], v. 97, n° 3, p. 339–372, 2009. ISBN: 0165-0009, ISSN: 01650009, DOI: 10.1007/s10584-009-9610-6.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. **Amazon Tipping Point.** *Science Advances*, [s.l.], v. 4, n° 2, p. eaat2340, 2018. ISBN: 2375-2548, ISSN: 23752548, DOI: 10.1126/sciadv.aat2340.

MAGALHÃES, A. L. B. **Biodiversity at risk from austerity law.** *Nature*, [s.l.], v. 542, n° 7641, p. 295, 2017. ISSN: 14764687, DOI: 10.1038/542295c.

MAGNUSSON, W. E. et al. **Effects of Brazil's Political Crisis on the Science Needed for Biodiversity Conservation.** *Frontiers in Ecology and Evolution*, [s.l.], v. 6, n° October, p. 1–5, 2018. ISSN: 2296-701X, DOI: 10.3389/fevo.2018.00163.

MARTINS, M.; OLIVEIRA, M. E. **Natural history of snakes in forests in the Manaus**

region, Central Amazonia, Brazil. *Herpetological Natural History*, [s.l.], v. 6, n° 2, p. 78–150, 1999.

MAWDSLEY, J. R.; O'MALLEY, R.; OJIMA, D. S. **A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation.** *Conservation Biology*, [s.l.], v. 23, n° 5, p. 1080–1089, 2009. ISBN: 1523-1739 (Electronic)n0888-8892 (Linking), ISSN: 08888892, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01264.x.

MEIS, L.; ARRUDA, A. P.; GUIMARÃES, J. **The impact of science in Brazil.** *Life*, [s.l.], v. 59, p. 227–234, 2007. ISSN: 15216551, DOI: 10.1080/15216540701258140.

MITTERMEIER, R. et al. **Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions.** Cidade do Mexico: Cemex, 2004. ISBN: 1071-8443, ISSN: 1071-8443, DOI: 10.2744/ccab-14-01-2-10.1.

MITTERMEIER, R. A. et al. **Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil.** *Megadiversidade*, [s.l.], v. 1, n° 1, p. 14–21, 2005. ISSN: 19436009, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i13.10.

MMA, M. do M. A. **SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Brasília: MMA/SBF, 2011. 76 p. ISBN: 0780390520, DOI: associação.

_____. **Painel Unidades de Conservação do Brasil.** 2018. Disponível em: <<http://qv.icmbio.gov.br/>>. Acesso em: 11/dez./18.

NAHUR, A. et al. **Desmatamento e mudanças climáticas.** In: IN VAZQUES, R.; GONÇALVEZ, M. (Orgs.). *ARPA: Programa Áreas Protegidas da Amazônia – Um novo caminho para a conservação da Amazônia.* [s.l.]: [s.n.], 2012.

NURSE, L. A. et al. **17. Small Island States.** *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, [s.l.], p. 843–912, 2001. ISBN: 0-7844-0792-4, DOI: 10.1061/40792(173)507.

PONTES-DA-SILVA, E. et al. **Extinction risks forced by climatic change and intraspecific variation in the thermal physiology of a tropical lizard.** *Journal of Thermal Biology*, [s.l.], v. 73, 2018. ISSN: 18790992, DOI: 10.1016/j.jtherbio.2018.01.013.

POUNDS, J.; FOGDEN, M.; CAMPBELL, J. **Biological response to climate change on a tropical mountain.** *Nature*, [s.l.], v. 398, n° 6728, p. 611–615, 1999. ISBN: 0028-0836, ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/19297.

PRÜSSMANN J., SUAREZ C., GUEVARA O. V. A. **Análisis de vulnerabilidad y riesgo climático.** [s.l.], p. 50, 2016.

PYRON, R. A.; BURBRINK, F. T.; WIENS, J. J. **A phylogeny and revised classification of Squamata, including 4161 species of lizards and snakes.** *BMC evolutionary biology*, [s.l.], v. 13, n° 1, p. 93, 2013. ISBN: 1471-2148 (Electronic)r1471-2148 (Linking), ISSN: 1471-2148, DOI: 10.1186/1471-2148-13-93.

RETALLACK, G. J. **Greenhouse crises of the past 300 million years.** *Bulletin of the Geological Society of America*, [s.l.], v. 121, n° 9–10, p. 1441–1455, 2009. ISBN: 0016-7606, ISSN: 00167606, DOI: 10.1130/B26341.1.

ROCHA, C. F. D. et al. **Challenges for Conservation: Additional Issues in Developing Strategies and Actions for Conserving Biodiversity.** *J Environ Sci Public Health Journal of Environmental Science and Public Health*, [s.l.], v. 1, n° 4, p. 229–233, 2017. ISSN: 25759612, DOI: 10.26502/JESPH.019.

ROCHA, C. F. D. et al. **Ecology and Natural History of the Easternmost Native Lizard Species in South America, *Trachylepis atlantica* (Scincidae), from the Fernando de Noronha Archipelago, Brazil.** *Journal of Herpetology*, [s.l.], v. 43, n° 3, p. 450–459, 2009. ISSN: 0022-1511, DOI: 10.1670/07-267R2.1.

ROCHEDO, P. R. R. et al. **The threat of political bargaining to climate mitigation in Brazil.** *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 8, n° 8, p. 695–698, 2018. ISSN: 17586798, DOI: 10.1038/s41558-018-0213-y.

SALO, J. et al. **River Dynamics and the Diversity of Amazon Lowland Forest.** *Nature*, [s.l.], v. 322, p. 254–258, 1986. DOI: 10.1038/322254a0.

SAZIMA, I.; HAEMIG, P. **Aves, Mamíferos e Répteis de Fernando de Noronha.** *ECOLOGIA.INFO*, [s.l.], v. 17, 2012.

SCARANO, F. R.; GUIMARÃES, A.; SILVA, J. M. **Lead by Example.** *Nature*, [s.l.], v. 486, p. 26, 2012. ISSN: 15402991.

SCARANO, F. R.; MARTINELLI, G. **Brazilian list of threatened plant species: Reconciling scientific uncertainty and political decision-making.** *Natureza a Conservacao*, [s.l.], v. 8, n° 1, p. 13–18, 2010. ISSN: 16790073, DOI: 10.4322/natcon.00801002.

SEARS, M. W. et al. **Configuration of the thermal landscape determines thermoregulatory performance of ectotherms.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 113, n° 38, p. 10595–10600, 2016. ISBN: 1091-6490 (Electronic)r0027-8424 (Linking), ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.1604824113.

SEDDON, A. W. et al. **Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability.** *Nature*, [s.l.], v. 531, n° 7593, p. 229–232, 2016. ISBN: 1476-4687 (Electronic)r0028-0836 (Linking), ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/nature16986.

SIQUEIRA, C. C.; ROCHA, C. **Brazil ' s public universities in crisis.** *Science*, [s.l.], v. 356, n° 6340, p. 812, 2017.

SOARES-FILHO, B. et al. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [s.l.], v. 107, n° 24, p. 10821–10826, 2010. ISBN: 0027-8424, ISSN: 0027-8424, DOI: 10.1073/pnas.0913048107.

TOMPKINS, E. L. **Planning for climate change in small islands: Insights from national hurricane preparedness in the Cayman Islands.** *Global Environmental Change*, [s.l.], v. 15, n° 2, p. 139–149, 2005. ISBN: 0959-3780, ISSN: 09593780, DOI:

10.1016/j.gloenvcha.2004.11.002.

UETZ, P. et al. **The Reptile Database**. [s.l.], 2018.

UNEP, U. N. E. P. **Strengthening the Science-Policy Interface: A gap analysis**. In: NAIROBI (Org.). [s.l.]: UN Environment, 2017. 134 p. ISBN: 978-92-807-3678-6.

WONG, P. P. et al. **Chapter 5- Coastal Systems and Low-Lying Areas**. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, [s.l.], p. 361–409, 2014. ISBN: 9781107415386.*

YOUNG et al. **Natural breeding places of phlebotomine sandflies**. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, [s.l.], v. 1, n° 1, p. 121–127, 2007. ISBN: 9788533412705, ISSN: 0074-0276, DOI: 10.1590/0074-0276130159.

ZELAZOWSKI, P. et al. **Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet**. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [s.l.], v. 369, n° 1934, p. 137–160, 2011. ISBN: 1364-503X, ISSN: 1364503X, DOI: 10.1098/rsta.2010.0238.

9 A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA COMO FERRAMENTA PARA A CONSERVAÇÃO AMBIENTAL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Produtos:

Diele-Viegas, L. M. Lugar de mulher... é na biologia!*Capítulo de livro de divulgação científica.*

Diele-Viegas, L. M. e Rocha, C. F. D. Por que precisamos preservar os répteis?*Capítulo de livro de divulgação científica.*

Diele-Viegas, L. M. e Rocha, C. F. D. O biólogo na ciência das mudanças climáticas.*Capítulo de livro de divulgação científica.*

Diele-Viegas, L. M. e Rocha, C. F. D. O aquecimento global, a Amazônia e... os Lagartos?*Publicado na revista Ciência Hoje das Crianças.*

Diele-Viegas, L. M. e Rocha, C. F. D. Será que os répteis aguentam as mudanças climáticas?*Cartilha para divulgação em escolas públicas.*

Diele-Viegas, L. M., Menezes, V. A. e Rocha, C. F. D. As donas da ilha: Uma história real sobre as Mabuias de Noronha. *Livreto infanto-juvenil para divulgação no Arquipélago de Fernando de Noronha.*

RESUMO

A divulgação científica, ou a comunicação da informação científica e tecnológica para o público geral, tem como principais objetivos a educação, sensibilização e mobilização pública acerca do processo científico, seu desenvolvimento e implicações para a sociedade. No Brasil, existe uma cultura de sucateamento da educação e desmonte das universidades públicas, locais onde se concentra a maior parte da produção científica do país. Isto leva à desvalorização do cientista como profissional, o que se reflete na visão da ciência pela sociedade. No âmbito das ciências biológicas, a desvalorização do biólogo se dá também pelo desconhecimento da importância das pesquisas sobre biodiversidade e conservação. Isto pode ter consequências graves, uma vez que leva à rejeição e discriminação dos achados científicos. A solução de muitos problemas que a sociedade enfrenta requer a aplicação de métodos e conhecimentos científicos, que antes de terem aplicações práticas surgiram da curiosidade inata ao cientista e da busca pela compreensão dos fenômenos naturais. Desta forma, é importante que se estimule a valorização da ciência, o pensamento crítico e a busca

pelo saber na população não especializada, de modo que a aplicação do conhecimento científico seja apoiada e colocada em prática, evitando assim um colapso do sistema. A respeito da divulgação científica no âmbito das mudanças climáticas, existe ainda uma lacuna na comunicação da informação acerca de seus impactos nos sistemas naturais e na biodiversidade. Conforme visto ao longo da presente tese, muitas espécies já se encontram vulneráveis frente as mudanças climáticas, e algumas apresentam um elevado risco de se extinguir até 2070 caso as previsões se confirmem. Portanto, é primordial que políticas de conservação sejam implementadas, e promover a sensibilização da população não especializada se faz necessário para garantir o sucesso da execução destas políticas, uma vez que muitas das medidas mitigadoras podem ser postas em prática no dia a dia dos indivíduos em uma sociedade. Desta forma, a presente seção teve como objetivo traduzir o conhecimento científico gerado ao longo da presente tese em produtos de divulgação científica voltados para diferentes públicos, de modo a promover a popularização da ciência das mudanças climáticas e sua influência na diversidade de répteis Squamata.

Palavras-Chave: Divulgação científica. Comunicação científica. Popularização da ciência.

ABSTRACT

The scientific divulgation, or the communication of the scientific and technological information to the general public, has as main goals the education, awareness and public mobilization about the scientific process, its development and implications to the society. In Brazil, there is a culture of scrapping the education and dismantling of public universities, where most of the country's scientific production is concentrated. This leads to the devaluation of the scientist as a professional, which is reflected in the view of science by society. Regarding the biological sciences, the biologist depreciation is also due to the lack of knowledge about the importance of research on biodiversity and conservation. This can lead to severe consequences, since it led to the rejection and discrimination of the scientific findings. The solution of many problems that society faces requires the application of scientific methods and knowledge that, before having practical applications, arose from the innate curiosity of the scientist and from the search for the understanding of natural phenomena. Thus, it is important to stimulate the science valorization, the critical thinking and the search for the knowledge in the non-specialized population, so that the application of the scientific knowledge be supported and putted into practice, avoiding a system collapse. Regarding the scientific divulgation in the field of climate changes, there is still a gap in the communication of scientific information focusing on its impacts on natural systems and biodiversity. As seen along the present dissertation, many species are already vulnerable to climate changes, and some of them present an elevated extinction risk by 2070 if the predictions be confirmed. Therefore, is paramount that conservation politics be implemented, and to promote the non-specialized population awareness is needed to guarantee the success of the execution of these politics, since many mitigation measures can be put into practice in the daily lives of the individuals in society. Thus, this chapter aimed to translate the scientific knowledge generated along my research in products focusing on scientific communication to different publics, in order to promote the popularization of the climate changes' science and its influences on the diversity of Squamata reptiles.

Keywords: Scientific divulgation. Scientific communication. Science popularization.

9.1 Introdução

A divulgação científica, ou a comunicação da informação científica e tecnológica para o público em geral, tem como principais objetivos a educação, a sensibilização e, com isso, a mobilização pública acerca do processo científico, do seu desenvolvimento e das suas implicações para a sociedade (ALBAGLI, 1996). Para que esta comunicação seja eficaz, a difusão ou transferência da informação científica requer que seja efetivada uma decodificação ou recodificação do discurso especializado, uma vez que o público leigo, de forma geral não tem uma profunda familiarização com o conhecimento científico para melhor compreender alguns processos e, também, os termos técnicos ou jargões (BUENO, 2010). Desta forma, essa transferência de informação é facilitada com o uso de recursos, como metáforas, analogias e ilustrações, de modo a traduzir o conhecimento científico para uma linguagem mais acessível aos diferentes públicos (BUENO, 2010).

Existem diferentes maneiras de se divulgar o conhecimento científico, o que pode vir a contemplar diferentes públicos, desde uma audiência mais ampla, através de programas de televisão ou o uso de mídias sociais, até uma audiência mais restrita, como no caso de palestras voltadas para o público leigo (BUENO, 2010). Desta forma, a definição do produto a ser obtido e a identificação do público alvo são essenciais para que se adote a linguagem adequada àquele público, evitando assim uma falha na comunicação a ser transferida.

9.1.1 A importância da divulgação científica

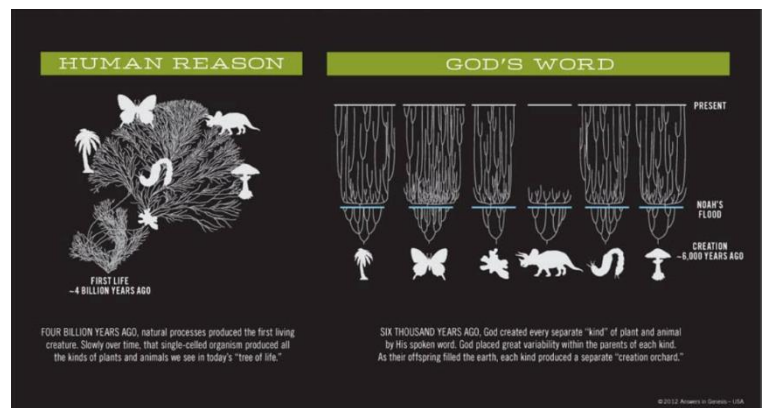
No Brasil, existe uma cultura política de sucateamento da educação e de desmonte das universidades públicas, locais onde se concentra a maior parte da produção científica do país (CROSS; THOMSON; SINCLAIR, 2018; SIQUEIRA; ROCHA, 2017). Por outro lado, um conjunto de rejeições ao conhecimento, seja por ignorância de desprivilegiados pela falta de educação que o estado não lhes proveio (a ignorância devido a privação da informação) ou ainda, por preceitos religiosos de variadas matrizes que rejeitam o conhecimento e seu avanço (suas crenças não aceitam o avanço científico que, em muitos casos, fazem cair por terra muitas de suas ideias). Essas tendências muitas vezes estão interligadas com grupos religiosos atuando em diferentes níveis políticos, ao conquistarem cargos eletivos, que muitas vezes buscam produzir um cenário de desvalorização do cientista como profissional, o que se reflete na visão da ciência pela sociedade. No âmbito das ciências biológicas, a desvalorização do biólogo se dá também pelo desconhecimento da importância das pesquisas sobre

biodiversidade e conservação. Isto pode ter consequências graves, uma vez que leva à rejeição e discriminação dos achados científicos. Essa negação e/ou desvalorização do conhecimento científico vem ganhando força nos últimos anos, abrangendo questionamentos que variam desde a veracidade da atual ocorrência das mudanças climáticas, até a teoria da evolução, passando pela eficácia de vacinas e até mesmo pelo real formato da Terra [Figura 52; (DORVILLÉ;SELLES, 2016; PAOLILLO, 2018; PAULA; SATO, 2018)].

Figura 52—Exemplos de negação do conhecimento científico.



(a)



(b)



(c)

JUST SAY NO TO VACCINES
 Defend Your Health Freedom
 www.VaccineTruth.com www.naturalnews.com P.O. Box 100000, Portland, OR 97210-0000 www.peaceproject.com (#MS148)

(d)

Legenda: (a) O símbolo da “Sociedade da Terra Plana”; (b) A árvore da vida, segundo o Museu do Criacionismo, em Missouri, EUA. Tradução livre: “Razão humana: Quatro bilhões de anos atrás, processos naturais produziram a primeira criatura viva. Lentamente ao longo do tempo esse organismo unicelular produziu todas as plantas e animais que são encontradas hoje na ‘árvore da vida’; Palavra de Deus: Seis mil anos atrás, Deus criou todos os tipos de plantas e animais separadamente através da Sua palavra falada. Deus criou uma grande variabilidade dentro dos ‘pais’ de cada tipo. Conforme os filhotes foram preenchendo a Terra, cada tipo produziu seu próprio ‘pomar de criação” (c) *Outdoor* sobre as mudanças climáticas, tradução livre: “O sol é o principal causador das mudanças climáticas. Não você. Não o CO₂. *friendsofscience.org*”; (d) Publicidade do movimento anti-vacina, tradução livre: “Só diga não para as vacinas, defenda sua liberdade de saúde”.

A oposição radical à ciência e aos cientistas, por alguns, tem levado à casos extremos de ativismo onde o cientista é posto como antiético, irresponsável, mentiroso ou até mesmo criminoso. Como exemplo, pode-se citar o caso ocorrido em junho de 2018, onde três ativistas destruíram uma rede de neblina (equipamento para captura e marcação de aves e morcegos) instalada pela equipe do Laboratório de Ecologia de Aves e Ecologia Comportamental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) para a captura de pássaros na Ilha Grande, Rio de Janeiro, sob a justificativa de que os animais estavam presos e de que o método era “cruel” (SHALDERS, 2018). A pesquisa com redes de neblina é o método mundialmente estabelecido para a pesquisa com esses organismos e, no Brasil, é também o método aceito e indicado pelos Órgãos de gestão do ambiente como o ICMBio, IBAMA, ou estaduais como o INEA-RJ. O caso resultou na promoção de infundados protestos organizados pelas ativistas (Figura 53), além de atingir proporções nacionais através da divulgação em redes sociais, em vídeos em canais do YouTube e em reportagens (Figura 54).

Figura 53–Cartazes espalhados pela Ilha Grande em protesto contra o uso das redes de neblina em pesquisas científicas, com ataques diretos feitos aos pesquisadores responsáveis pela pesquisa.



Fonte: Facebook/Reprodução.

Figura 54 –Divulgação do caso das redes de neblina.



Legenda: (a) Publicação feita por uma das ativistas em rede social; (b) Vídeo no Canal do Slow, no YouTube; (c) Reportagem do G1 e BBC News.

Em resposta, a UERJ abriu uma sindicância para apurar o ocorrido, uma vez que o ato constitui depredação do patrimônio público (os equipamentos constituem um bem institucional adquiridos com recursos públicos), uma completa falta de fundamentação, consequência direta do desconhecimento de métodos científicos corretos promovidos pela ignorância. Como resultado, cientistas e não-cientistas de todo o país se uniram para apoiar a pesquisadora responsável pela pesquisa (Figura 55).

Figura 55–Manifestações de apoio à pesquisadora da UERJ.

CARTA ABERTA DA COMUNIDADE CIENTÍFICA EM BIODIVERSIDADE

Como mais um caso da série de ataques que a Ciência e Tecnologia vem recentemente recebendo no Brasil, nós pesquisadores abaixo assinados, manifestamos nosso incondicional apoio ao grupo de pesquisa coordenado pela Dra. [nome], Professora Associada do Departamento de Ecologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pelos fatos relacionados a seguir.



Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação

Manifesto da ABECO sobre os ataques em pesquisa em Biodiversidade sofridos pela Profa. [nome].

A Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação (ABECO) manifesta incondicional apoio ao grupo de pesquisa coordenado pela Dra. [nome], Professora Associada do Departamento de Ecologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), pelos fatos relacionados a seguir e vem a público expressar sua indignação.



Carta Aberta da Sociedade Brasileira de Ornitologia (SBO) em apoio à pesquisadora [nome] e sua Equipe em relação a descontinuidade de seu trabalho de campo com redes ornitológicas na Ilha Grande em função de incidente ocorrido com ativistas intituladas protetoras de animais.

Legenda: O nome da pesquisadora foi ocultado em respeito ao processo judicial a respeito do caso no qual ela se encontra envolvida.

Este tipo de situação também reflete a falta de uma comunicação eficiente entre a ciência e a sociedade brasileira. Tal falha pode ser atribuída, pelo menos em parte, à um problema estrutural na educação de base, uma vez que a qualidade da educação em matemática e ciências no país alcança níveis internacionais preocupantes, ocupando a 133ª posição no ranking dentre 139 países (SILVA; FERREIRA; VIEIRA, 2017). No entanto, a formação do cientista como profissional também falha em inculcar a importância da divulgação científica no seu trabalho, uma vez que o foco acadêmico é voltado para a comunicação científica basicamente para cientistas (e.g., publicação de artigos científicos em revistas indexadas, participação em congressos especializados, entre outros) em detrimento da comunicação para o público não especializado.

Enquanto a comunicação científica para cientistas tem um impacto direto na avaliação de desempenho do cientista e na evolução da sua carreira, a comunicação voltada para público não especializado de maneira geral não gera retorno palpável para o cientista além da satisfação pessoal, o que muitas vezes leva ao cientista a priorizar a primeira e preterir a segunda (VALENÇA, 2015). Entretanto, as instituições de ensino possuem três pilares que a identificam como fonte geradora de desenvolvimento, que juntos formam a tríade ensino-pesquisa-extensão (FLECK, 2016). Desta forma, apesar da formação clássica do cientista apresentar, em muitos casos essa limitação na valorização da comunicação científica para público não especializado, a extensão universitária, onde a divulgação científica se encaixa, faz parte da dialética que caracteriza uma universidade viva, e, portanto, deve ser aplicada mais ativamente pelos cientistas (SLEUTJES, 1999).

A importância de se estabelecer uma conexão entre a ciência e a sociedade, todavia, vai além da satisfação pessoal do cientista ou do cumprimento de uma norma ou requerimento formal da instituição onde ele trabalha. A solução de muitos problemas que a sociedade enfrenta requer a aplicação de métodos e conhecimentos científicos, que antes de terem aplicações práticas surgiram da curiosidade inata ao cientista e da busca pela compreensão dos fenômenos naturais (SALA, 1974). Desta forma, é importante que se estimule a valorização da ciência, o pensamento crítico e a busca pelo saber na população não especializada, de forma que a aplicação do conhecimento científico seja apoiada e colocada em prática, evitando assim um colapso do sistema.

9.1.2 A divulgação científica no âmbito das mudanças climáticas

Em 2006, o ex-vice-presidente dos Estados Unidos, jornalista e ecologista Al-Gore estreou o documentário “*Uma Verdade Inconveniente*”, onde expõe em 94 minutos as consequências das mudanças do clima potencializadas pelo homem. O documentário foi transmitido ao redor do mundo, e ganhou o Oscar de melhor documentário e melhor canção original. Em 2017, Al-Gore lançou a sequência do documentário, “*Uma verdade mais inconveniente*”, onde transfere o debate para o palco político após a posse do atual presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, que, assim como o atual presidente do Brasil, defende a inexistência do fenômeno. Tal qual estes documentários, no Brasil o foco da divulgação científica relacionada às mudanças climáticas é voltado para o âmbito socioeconômico (e.g., (ANDRADE; SILVA; SOUZA, 2014; FRANKE; HACKBART, 2008; IWAMA et al., 2016). Como resultado, existe ainda uma lacuna na comunicação da informação científica para o público não especializado acerca dos impactos das mudanças climáticas nos sistemas naturais e na biodiversidade.

Os répteis são bons modelos para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade devido à sua ectotermia, ou seja, sua dependência da temperatura ambiental para regulação da temperatura corpórea e consequente manutenção fisiológica. Conforme visto ao longo da presente tese, muitas espécies já se encontram vulneráveis frente as mudanças climáticas, e algumas apresentam um elevado risco de se extinguir até 2070 caso as taxas de emissão de gases do efeito estufa se mantenham constantes. Portanto, é primordial que políticas de conservação sejam implementadas para atenuar os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade, e promover a sensibilização da população não especializada se faz necessário para garantir o sucesso da execução destas políticas, uma vez que muitas das medidas mitigadoras podem ser postas em prática no dia a dia dos indivíduos dentro de uma sociedade. Desta forma, a presente seção teve como objetivo decodificar o conhecimento científico gerado ao longo da presente tese em produtos de divulgação científica voltados para diferentes públicos, de modo a promover a popularização da ciência na temática das mudanças climáticas e sua influência na diversidade de répteis Squamata.

9.2 Metodologia

As informações científicas produzidas ao longo da presente tese, bem como as experiências pessoais da autora como bióloga, foram sintetizadas e traduzidas em diferentes produtos voltados para a divulgação científica. Para cada produto, foi definido *a priori* o público alvo e o meio de divulgação a ser utilizado, de modo a possibilitar a adequação da linguagem adotada para cada grupo focal. Tais produtos foram expostos em subitens da sessão “Resultados” da presente seção.

Três dos produtos foram capítulos de livros voltados para a atuação do biólogo e a importância das pesquisas científicas para sociedade. Como mulher e defensora da igualdade de tratamento entre os sexos, não pude deixar de escrever sobre a atuação da mulher e as dificuldades enfrentadas na profissão, o que reflete a forma como a mulher cientista é vista pela sociedade. Considerando que parte da minha atuação profissional e consequente experiência em relação às dificuldades encontradas como mulher se deu durante a elaboração da presente tese, optei por incluir este capítulo de livro como um dos produtos provenientes da sua elaboração, embora fuja da temática central da tese. Desta forma, tal capítulo foi incluído como Anexo Z.

Além dos capítulos de livros voltados para a divulgação, foi elaborado (i) um artigo de divulgação submetido para a revista *Ciência Hoje das Crianças*, (ii) uma cartilha educativa a ser distribuída em escolas de nível fundamental e médio e (iii) um livreto infanto-juvenil voltado para crianças em idade escolar. Por fim, também foram considerados como produtos os cursos de curta duração, seminários, palestras e mesas redondas ministradas ao longo da execução da presente tese que abrangeram a sua temática central. Tais produtos foram listados no subitem “divulgação falada” da sessão “Resultados” da presente seção.

Por conta da independência entre os produtos apresentados, as figuras exibidas nos subitens da sessão de “Resultados” não seguiram a sequência numérica iniciada na introdução da seção. Desta forma, cada subitem apresenta a sua própria organização e formatação das figuras, considerando a estrutura adequada para o tipo de produto obtido.

9.3 Resultados

9.3.1 Por que precisamos conservar os répteis?

Capítulo de livro de divulgação científica que busca relatar para diferentes grupos da sociedade, de forma simples e clara, qual o papel do cientista e a importância e o impacto das pesquisas na sociedade. Público alvo: Estudantes de ensino médio e universitários que estão em época de escolha profissional, biólogos, professores, assim como toda sociedade que se interessar em conhecer mais a vida e a importância dos cientistas.


Texto principal

Muita gente acha que os répteis são animais asquerosos, nojentos, e por vezes perigosos. Mas o que aconteceria se eles deixassem de existir? O que eles podem trazer de bom para nossas vidas? Por que precisamos preservar os répteis? Responder essas perguntas é o foco das pessoas que gostam tanto desses animais que resolveram passar a vida trabalhando com eles. Estes são os herpetólogos, biólogos que trabalham com anfíbios e répteis (Caixa 1).

Caixa 1: Quem são os anfíbios e os répteis?

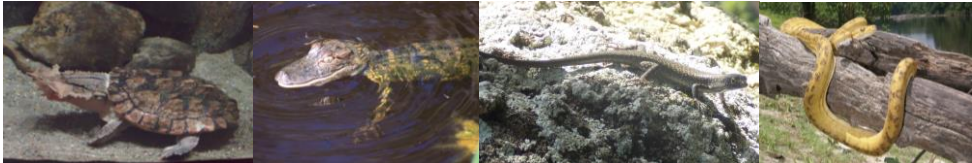
Anfíbios

São os sapos (incluindo pererecas e rãs), salamandras e cobras cegas.



Répteis

São as tartarugas, cágados, jabutis, crocodilos, jacarés, lagartos e cobras



Antes de responder à primeira pergunta, é preciso entender um pouco o trabalho desses cientistas com gostos peculiares: os que estudam os anfíbios e répteis. Então vamos lá: O que um herpetólogo faz?

Bom, o herpetólogo é um biólogo, ou seja, ele estuda as relações entre os seres vivos e o meio ambiente. Dito isso, fica mais fácil entender o que o herpetólogo faz, certo?

Não necessariamente. A biologia é uma ciência muito abrangente, e por isso ela proporciona um grande número de opções para se trabalhar. Dentro da herpetologia não é diferente. Existem herpetólogos especializados em uma área dentro da biologia, como ecologia, evolução ou genética. Outros são especializados em um grupo dentro da herpetofauna, como os “lagartólogos” ou “sapólogos”. E existem ainda aqueles que trabalham com um pouco de tudo. Aqui, vamos focar nos herpetólogos que trabalham com os répteis.

Herpetólogos de campo (Figura 56)

Os herpetólogos de campo são aqueles que vão atrás dos répteis na natureza. Assim, eles podem ver quais são os ambientes que eles preferem, o que eles comem, em que momento do dia eles estão ativos. Podem também analisar se eles gostam de ficar no sol ou na sombra, ou se eles preferem ficar enterrados ou expostos. Além disso, podem descobrir quais são as espécies que existem em determinado local, e por que essas espécies ocorrem ali.

Figura 56 – Uma herpetóloga de campo manipulando (a) uma serpente peçonhenta; (b) um filhote de Jacaré; e (c) um jabuti.



(a)(b)

(c)

Fonte: A autora.

O herpetólogo de campo pode ainda estudar o comportamento e a fisiologia dos animais, através de experimentos para medir a temperatura que eles preferem para realizar suas atividades diárias (Caixa 2, Figura 57). Esse tipo de pesquisa vem sendo feita com mais frequência nos últimos anos, para avaliar os efeitos do aquecimento global sobre estes animais (Caixa 3). Por fim, é o herpetólogo também que coleciona e cataloga alguns indivíduos da natureza para as coleções científicas, como prova da existência de uma certa espécie naquele

local. Isso permite que outros pesquisadores possam estudar estes organismos sem precisar voltar ao campo para procurá-lo. Essa prática é bastante importante, uma vez que muitas espécies são difíceis de se encontrar ou já foram extintas na natureza, e, portanto, seria impossível estudá-las sem as coleções (Caixa 4).

Caixa 2: Répteis e a ectotermia

Os répteis são animais ectotérmicos, o que significa que, ao contrário de nós, seres humanos, eles não têm uma temperatura corpórea média estável naturalmente. Por isso, eles dependem da temperatura do ambiente para regular a temperatura do corpo e realizar suas atividades. Quando o ambiente está muito frio, o metabolismo deles diminui, deixando-os mais lentos, o que permite que eles gastem menos energia. Quando o ambiente está muito quente, o metabolismo deles acelera, e o gasto energético é maior.

Essa regulação da temperatura do corpo conforme a temperatura do ambiente é o que chamamos de termorregulação.

Caixa 3: Aquecimento Global

O aquecimento global é um dos efeitos das mudanças climáticas, processo natural que vem sendo acelerado pelo homem desde o início da era industrial, no século XVIII, com o advento do uso de combustíveis fósseis para produção de energia. A queima destes combustíveis leva à emissão de gases do efeito estufa, como o CO₂, o que levou a um aumento na temperatura média da Terra de aproximadamente 0,85°C entre 1910 e 2012. Parece pouco, mas só isso já levou à extinção de muitas espécies ao redor do mundo, como o sapo dourado da Costa Rica, *Bufo perigrinus*. As previsões para o futuro são de que pode haver

um aumento de mais 4,8°C na temperatura média da Terra, e por isso os cientistas estão muito preocupados com o que pode acontecer com as espécies.



Foto: O sapo dourado, *Bufo perigrinus*.

Por serem ectotérmicos, os répteis (assim como os anfíbios, como o sapo dourado) são bastante sensíveis a essas variações de temperatura, e, por isso, são um dos grupos de

Figura 57 - Experimento para medir a temperatura que os répteis preferem (a) e a temperatura do ambiente em que eles são encontrados (b).



(a) (b)

Legenda: (a) O experimento consiste em colocar os animais em um gradiente de temperatura criado no laboratório e deixá-los termorregulando em busca da temperatura que julguem mais apropriada, enquanto a temperatura do corpo é medida através pequenos termômetros acoplados ao animal. (b) A temperatura do ambiente é medida através do aparelho que a pesquisadora está posicionando próximo ao tronco. Este aparelho mede a temperatura e a umidade do ar, e costuma ser programado para fazer as medições a cada um

Caixa 4: Coleções Científicas

As coleções científicas armazenam, preservam, catalogam e ordenam o acervo de indivíduos (espécimes) que representam a diversidade biológica de uma determinada região. Elas estão normalmente associadas a universidades ou museus de história natural. Sua existência é de grande importância para que cientistas do mundo inteiro possam estudar a biologia dessas espécies, muitas das quais já extintas. No Brasil, as coleções de herpetologia mais representativas são as do Museu Nacional do Rio de Janeiro (MNRJ/UFRJ), Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG/UFPA) e o Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MUZUSP).



Foto: Coleção de Herpetologia do Museu Nacional do Rio de Janeiro.

Herpetólogos de laboratório (Figura 58)

Os herpetólogos de laboratório são aqueles que estudam principalmente os espécimes depositados nas coleções científicas. Desta forma, eles podem estudar as características genéticas e morfológicas das espécies, o que permite a classificação e a descrição de novas espécies. Além disso, eles podem ainda estudar os padrões de distribuição das espécies, através do levantamento de dados de diferentes coleções e também da literatura.

Figura 58 – Uma herpetóloga de laboratório (a) fixando e (b) medindo lagartos de diferentes portes.



(a)(b)

Fonte: A autora.

Vale ressaltar que os herpetólogos de campo e os de laboratório não são necessariamente pessoas diferentes. De maneira geral, a área dentro da herpetologia que você mais se identifica vai ditar a frequência com que você vai precisar ir à campo ou ficar no laboratório. Isso pode mudar ao longo da vida profissional, conforme você muda o foco da sua pesquisa.

Mas e aí, quem são esses répteis que os herpetólogos tanto querem estudar e preservar, e por que?

Os répteis vivem na Terra há pelo menos 340 milhões de anos, e atualmente estão presentes em todos os continentes (com exceção da Antártica), tanto no ambiente marinho quanto no terrestre. Eles são animais vertebrados, ectotérmicos, que possuem escamas ao longo do corpo e são bastante diversificados em termos de sua forma, seu tamanho e o ambiente que ocupam. Estes animais somam um total de 10.762 espécies viventes em nosso

planeta, embora muitas delas estejam correndo risco de se extinguir (Caixa 5). Eles são componentes importantes nas cadeias tróficas, tanto como predadores, quanto como presas. As principais ameaças à vida desses animais são o desmatamento, a poluição, a perda de habitat e as mudanças climáticas, e todas elas são causadas (ou reforçadas) pelo homem. O desmatamento, assim como a perda de habitat devido ao crescimento das cidades, leva as espécies a restringirem sua área de ocorrência, o que por vezes se resume a pequenas manchas isoladas umas das outras. Esse isolamento cria uma barreira entre as populações, dificultando indivíduos da mesma espécie se encontrarem e viabilizando a diferenciação genética entre as populações. A poluição de rios e oceanos, por sua vez, pode ter influência direta na vida de espécies aquáticas, como os jacarés e as tartarugas marinhas. Por fim, as mudanças climáticas podem ter efeitos catastróficos, como já foi apontado anteriormente (Caixa 3).

Caixa 5: Risco de Extinção

A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas é uma base de dados online que tem como objetivo acessar o status de conservação das espécies de animais, fungos e plantas ao redor do mundo. Em relação aos répteis, a lista fornece a seguinte classificação:

Extintos recentemente	28 espécies
Extintos na natureza	3 espécies
Criticamente ameaçados	296 espécies
Ameaçados	505 espécies
Vulneráveis	475 espécies
Dados insuficientes	1020 espécies

O que significa que, atualmente, aproximadamente 12% das espécies viventes conhecidas está de certa forma ameaçada, e ainda que não se tem dados disponíveis para outros 10% delas.

A retirada de qualquer espécie de um ecossistema pode alterar drasticamente as populações de outros organismos, causando um desequilíbrio em todo o ecossistema. Por exemplo, espécies de topo de cadeia, como os crocodilos e jacarés, são espécies chave na regulação dos ambientes em que estão inseridos (Figura 59). Ao retirá-los da cadeia, a população das suas presas irá aumentar, e por consequência, a base da cadeia será consumida em excesso. Isso pode levar à escassez de alimento e ao aumento da competição entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie, o que pode ter consequências trágicas para todas as espécies envolvidas. Um risco muito importante para o planeta que também foi apontado como uma das consequências das extinções de espécies e populações de lagartos previstas por conta das mudanças climáticas, foi justamente o descontrole das populações de

insetos e outros artrópodes que estes répteis regulam ao se alimentarem deles. Esse tipo de efeito também pode ocorrer de baixo para cima na teia alimentar. Por exemplo, se tirarmos da cadeia trófica as espécies herbívoras (consumidores primários), os animais que predam essas espécies ficarão sem alimento, e por consequência irão competir entre si e, possivelmente, precisarão dispersar para outros ambientes para não morrer de fome. Além disso, as plantas que precisam dessas espécies como dispersoras de suas sementes também poderiam ser bastante prejudicadas, como no caso da *Trochetia blackburniana*, uma planta rara que só ocorre lá nas Ilhas Maurício (Figura 60). Seu principal polinizador está desaparecendo da ilha, e por isso a única esperança da planta é a lagartixa diurna de cauda azul, *Phelsuma cepediana*,

que também exerce o papel de polinizador para essa planta.

Figura 59 - Exemplo de teia trófica do Jacaré

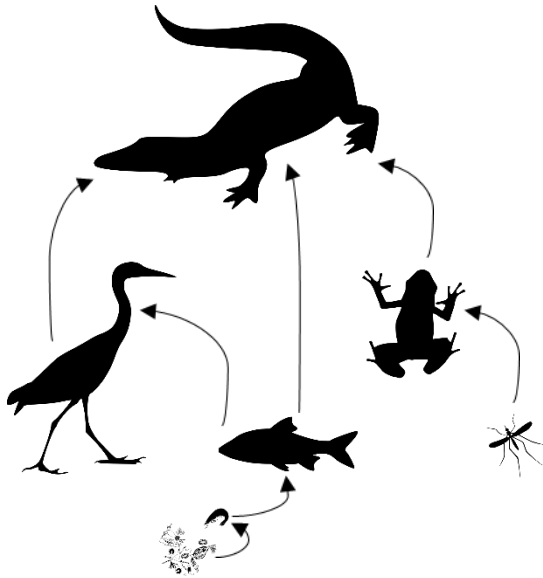


Figura 60 - A lagartixa de cauda azul e a *T. blackburniana*



Alguns répteis carnívoros são importantes também no controle de pragas, tanto em ambiente natural, quanto no urbano ou agrícola, o que pode ser bastante útil para nós. Por exemplo: Você já deve ter sido picado por algum inseto, pelo menos uma vez na vida. Se esse

inseto era um mosquito, você ainda pode ter pego dengue, zika, chikungunya, ou qualquer mazela que esses bichos possam transmitir. Agora, você sabia que aquela lagartixa que estava lá na sua parede, que você espantou pela janela, poderia ter comido esse inseto e evitado que você fosse picado? Pois bem, o mesmo vale no ambiente agrícola. Muitas vezes é feito o uso de agrotóxicos para matar pragas, o que põe em risco a saúde do consumidor desses alimentos – no caso, nós mesmos. O uso desses agrotóxicos poderia ser evitado, simplesmente utilizando-se a herpetofauna como agente de controle biológico. Em outras palavras, deixando os bichos comerem!

Outra grande vantagem que os répteis podem trazer para nós é o uso medicinal do veneno das serpentes. Isso mesmo! O veneno da jararaca, por exemplo, contém uma substância que é utilizada hoje no tratamento da hipertensão e casos de insuficiência cardíaca. Além disso, os pesquisadores estão estudando possíveis aplicações para proteger os neurônios de morte celular causada por males como o Parkinson e isquemias, além de estimular a neurogênese, ou seja, a criação de novos neurônios! E não é só o veneno da jararaca que pode ser utilizado na medicina não. O veneno da cascavel, por sua vez, tem potencial para substituir os antibióticos convencionais, por apresentar princípios ativos mais potentes e com menos efeitos colaterais.

Ainda há muito a ser descoberto! Mas, para isso, precisamos nos preocupar com a sua preservação... E precisamos correr contra o tempo para conseguir protegê-los da maior ameaça de todas: nós, os seres humanos. É por essas e outras que os herpetólogos são tão empenhados em estudar e preservar esses animais. Você também pode fazer a sua parte! Adotando pequenas medidas diárias para conservar a natureza, você pode contribuir com a preservação destes animais. Por exemplo, andando menos de carro e mais de bicicleta, a pé ou de transportes públicos, você contribui para que menos gases do efeito estufa sejam lançados para a atmosfera, diminuindo o efeito estufa e amenizando os efeitos das mudanças climáticas. Outra coisa que você pode fazer é diminuir a sua produção de lixo e evitar sempre jogar lixo no chão, pois assim você vai diminuir a poluição que acaba afetando os ambientes que estes animais vivem, diminuindo a chance de viverem ali. Por fim, falar sobre o assunto é muito importante, pois muita gente não gosta destes animais, e com isso não entende a importância que eles têm! Por isso, espalhe o conhecimento científico, sempre! E aí, vamos preservar os répteis?

9.3.2 O biólogo na ciência das mudanças climáticas

Capítulo de livro sobre a atuação do biólogo que busca dar visibilidade sobre a identificação profissional e os nichos que o biólogo pode ocupar. Público alvo: Biólogos e outros profissionais com ensino superior, universitários, professores da educação básica e estudantes de ensino médio (que estão em época de escolha profissional).

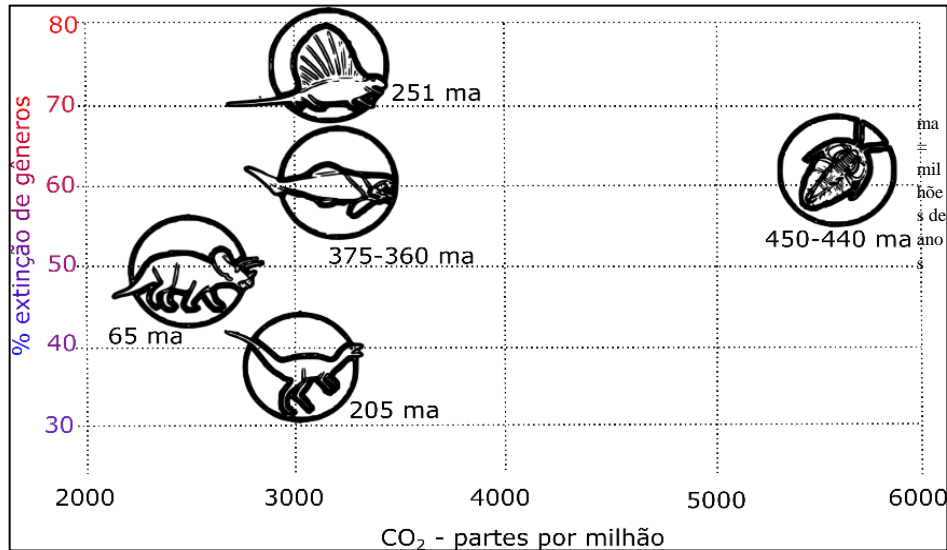
Texto principal

As mudanças climáticas estão entre os assuntos mais abordados pelos cientistas nos últimos anos. Todo mundo quer saber o por que das calotas polares estarem derretendo, ou por que estão ocorrendo mais furacões e tornados, ou ainda por que locais que tradicionalmente são bastante úmidos estão experimentando secas aterrorizantes. O biólogo, como um bom cientista, também tem um importante papel a cumprir nessa ciência contemporânea. Você faz ideia de que papel seria esse?

Bom, primeiramente vamos entender um o que são as mudanças climáticas.

O clima da Terra é cíclico: desde a sua formação até os tempos modernos, o planeta passou por períodos de resfriamento e aquecimento determinados pela concentração de gases na atmosfera. Essa variação climática natural ocorre em uma escala de milhões de anos, estando sempre associada a mudanças na paisagem e na biota terrestre. Os períodos em que a Terra apresentou os maiores extremos de concentração de gases do efeito estufa na atmosfera foram também os períodos em que ocorreram os maiores extremos de temperatura, e, conseqüentemente, as grandes extinções em massa que acabaram com uma boa parte da fauna do planeta (Figura 61).

Figura 61 – Grandes extinções em massa associadas à concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera



Legenda: 450 – 440 ma = Extinção do Ordoviciano; 375-360 ma = Extinção do Devoniano; 251 ma = Extinção Permo-Triássica; 200 ma = Extinção Triássico-Jurássica; 65 ma = Extinção do K-Pg.

A partir da primeira Revolução Industrial, no século XVIII, o homem começou a utilizar a queima de combustíveis fósseis para gerar energia, o que levou à emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, principalmente o CO₂. Desta forma, o processo natural de variação climática da Terra foi acelerado, o que já começou a ter consequências para muitas espécies viventes, inclusive o próprio homem. Como resultado, muitos cientistas apontam para a possibilidade de que esta venha a se tornar a sexta extinção em massa da história do planeta Terra, com uma diferença: ao invés de ocorrer numa escala de milhões de anos, ela pode vir a acontecer nas próximas décadas.

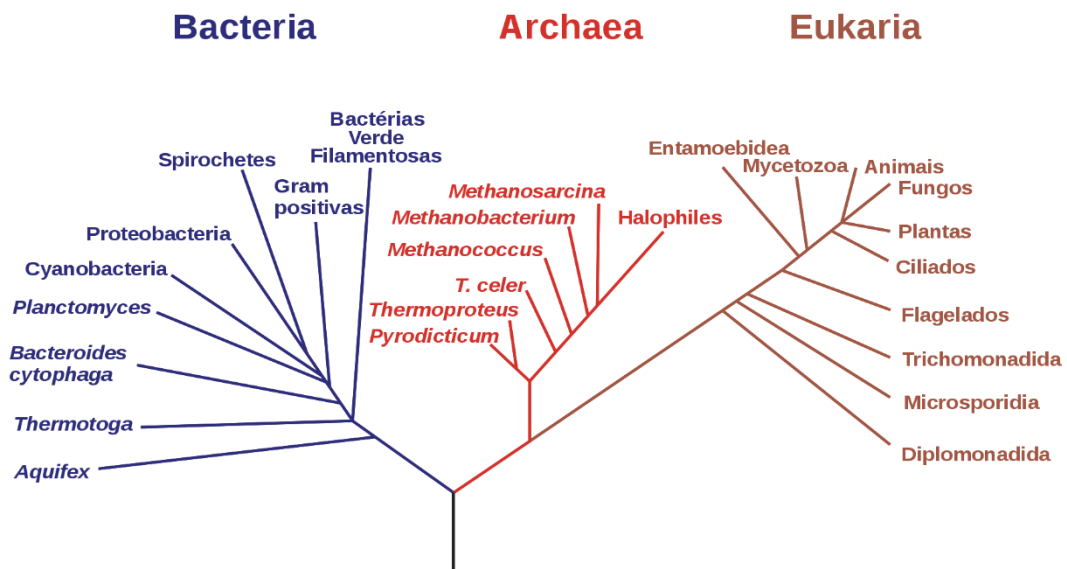
Pois bem... qual o papel do biólogo nisso tudo?

A ciência das mudanças climáticas é uma ciência integrativa, que envolve diferentes áreas do conhecimento. Ao passo que as alterações climáticas em si (o que e quanto do sistema climático vai mudar com o aumento na concentração de gases do efeito estufa) envolvem processos físicos, químicos e biogeoquímicos, as suas consequências (“como” essas mudanças vão afetar os sistemas naturais e a biodiversidade) envolvem processos biológicos.

Sendo assim, o biólogo tem um papel fundamental na avaliação destes impactos e suas consequências para a biodiversidade. Mas como ele faz isso?

O primeiro passo para descobrir *como* os organismos serão afetados é entender *quem* são estes organismos e como eles funcionam e se relacionam. Sendo assim, antes de mais nada o trabalho dos sistematas, que são os biólogos que se dedicam a catalogar a biodiversidade e compreender o grau de proximidade entre os organismos, é essencial para que se comece a elucidar este quebra-cabeça. São eles que vão descrever as espécies, apontando as suas peculiaridades em relação às demais e mostrando o grupo de organismos ao qual elas pertencem (Figura 62).

Figura 62 – Árvore filogenética mostrando os três grandes grupos de seres vivos.



Uma vez feita a identificação destas espécies, o próximo passo é entender como os seus indivíduos se relacionam entre si e com o meio ambiente em que vivem. Neste momento, entra o trabalho dos ecólogos, biólogos que se dedicam a estudar as relações entre as espécies e das espécies com o ambiente. São eles que vão identificar o que as espécies estudadas comem, como elas buscam seu alimento, quem se alimenta delas, como elas se reproduzem, onde elas preferem ficar no ambiente, seu comportamento, enfim, todas as características que envolvem a sua relação com a natureza (Figura 63).

Figura 63 – Exemplo de interação ecológica entre espécies: predação (um predador se alimentando de uma presa).



Fonte: Domínio público

Depois de todo este acompanhamento, fica um pouco mais fácil identificar os impactos das mudanças climáticas nestes organismos. Para fazer a avaliação destes impactos, os biólogos usam duas métricas: a exposição do organismo às alterações do clima e a sensibilidade dele a essas alterações. Por exemplo: Digamos que seja previsto um aumento de 4°C na temperatura de um determinado ambiente. Lá, existem duas espécies de lagartos: uma prefere ambientes ensolarados e com temperaturas elevadas (Figura 64a); a outra prefere ambientes sombreados e temperaturas mais amenas (Figura 64b). Ambas as espécies estarão expostas ao aumento de 4°C , porém a espécie de ambientes sombreados pode ser mais sensível a essa mudança, considerando que não está acostumada a lidar com temperaturas tão elevadas. Com isso, embora ambas as espécies experimentem a mesma variação na temperatura do ambiente, o impacto dessa variação na espécie que prefere áreas sombreadas tende a ser maior que o da espécie que prefere ambientes ensolarados.

Figura 64 – Lagarto (a) em ambiente ensolarado; (b) em ambiente sombreado.



(a)



(b)

Fonte: Domínio público

Para avaliar a sensibilidade dos organismos às alterações ambientais, é preciso saber como estes organismos funcionam. Aqui, entra em ação o biólogo ecofisiologista, que estuda a adaptação dos processos que ocorrem no interior do organismo (fisiologia) às condições ambientais (ecologia). Mais especificamente, para entender como a variação da temperatura do ambiente causada pelas mudanças climáticas pode influenciar a vida destes indivíduos, o biólogo precisa compreender a sua *fisiologia térmica*: como o organismo irá reagir às diferentes temperaturas. Para isso, o biólogo aplica diferentes testes nos organismos, de modo a identificar quais as melhores (e piores) temperaturas ambientais para os animais se manterem em plena atividade (Figura 65).

Figura 65 – Exemplo de teste de fisiologia térmica em um lagarto.

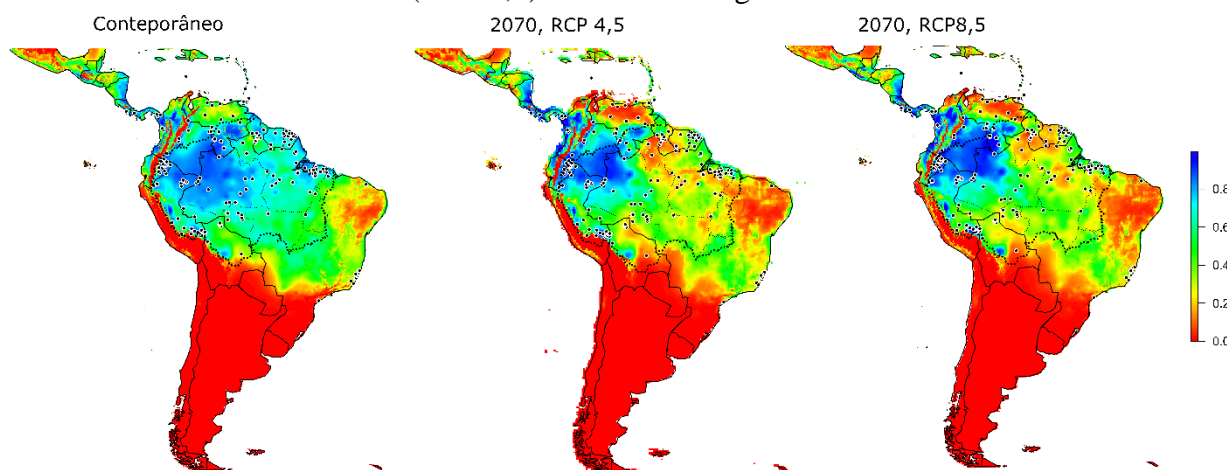


Legenda: O objetivo deste teste é identificar a temperatura que o lagarto prefere dentro de um gradiente térmico. Em uma ponta do gradiente posiciona-se uma lâmpada de aquecimento, e na outra ponta posiciona-se uma pedra de gelo (embaixo do gradiente para evitar contato direto com o animal). O lagarto fica livre para se locomover por todo o gradiente durante duas horas, e a temperatura do seu corpo é medida a cada minuto por um micro termômetro preso em sua barriga com um esparadrapo cirúrgico. Desta forma, é possível identificar a temperatura que o animal prefere ficar dentro do gradiente, a qual é considerada a temperatura mais confortável para o animal em seu ambiente natural.

Uma vez definido o grau de sensibilidade de um organismo, o próximo passo é definir a capacidade que o organismo tem de lidar com o impacto sofrido. Isso pode ocorrer através de mudanças no comportamento da espécie, busca por ambientes térmicos mais favoráveis ou ainda através da adaptação ao longo de gerações. Para avaliar essa capacidade, o biólogo pode trabalhar desde o nível molecular, avaliando alterações genéticas e de secreção hormonal, até o nível macroecológico, avaliando a relação entre a dinâmica das populações e os processos de especiação, extinção, expansão e contração de áreas de distribuição causados pelas mudanças climáticas.

Sabendo o impacto causado pelas mudanças climáticas e a capacidade que o organismo tem de lidar com ele, o último passo é definir a vulnerabilidade deste organismo. É aí que entra a avaliação do risco de extinção das espécies: se o impacto que o organismo é passível de sofrer for alto e a capacidade de lidar com ele for baixa, a espécie pode ser considerada vulnerável às mudanças climáticas, o que significa que ela pode vir a se extinguir se nada for feito para mudar esse cenário (Figura 66).

Figura 66 - Avaliação da vulnerabilidade de uma espécie de serpente frente às mudanças climáticas na América do Sul, considerando um cenário otimista (RCP 4,5) e um cenário realista (RCP 8,5) de emissão de gases do efeito estufa.



Legenda: Pontos indicam a atual ocorrência da espécie. A graduação do mapa vai de 0 = ambiente termicamente inadequado/alto risco de extirpação local; a 1 = ambiente termicamente adequado/baixo risco de extirpação local.

Viu o quão importante é o papel do biólogo na ciência das mudanças climáticas? Sem eles, não seria possível mensurar quão perigoso para a biodiversidade essas alterações podem ser. Graças aos estudos desenvolvidos pelos biólogos, hoje sabemos como muitas espécies podem responder às mudanças do clima, o que permite que se tomem medidas para conservar

essas espécies e os ambientes em que elas vivem, evitando que elas corram risco de se extinguir em um futuro próximo.

Mas o papel do biólogo não acaba aí: como cientista e cidadão, o biólogo também tem o papel de comunicar os seus achados para a sociedade. Essa, inclusive, pode ser a parte mais importante do processo de se fazer ciência: levar a informação para que as pessoas tomem conhecimento da importância e gravidade do assunto, por exemplo, no caso das mudanças climáticas (Figura 67). A sensibilização da comunidade é parte crucial para que as medidas de conservação sejam eficazes. Por isso, é preciso promover a popularização do conhecimento científico, para que cientistas e não cientistas, juntos, possam reverter os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e evitar a sexta extinção em massa de organismos do planeta.

Figura 67 – A bióloga Luisa Maria Diele-Viegas promovendo a popularização da ciência das mudanças climáticas para público leigo em Fernando de Noronha,



9.3.3 O aquecimento global, a Amazônia e... os Lagartos?

Artigo para a revista *Ciência Hoje das Crianças*. Público alvo: revista digital voltada para crianças.

Texto principal

Você sabia que esses animais sofrem bastante com a mudança do clima, e que na Amazônia isso é ainda pior? Quer entender o porquê?

Para começar você precisa entender um pouco o que são as mudanças climáticas que estão acontecendo em nosso planeta. Todo mundo já ouviu falar no aquecimento global, efeito estufa e tudo mais. Mas você sabe o que é isso?

Na atmosfera do nosso planeta existe um conjunto de gases que forma uma camada que funciona como uma estufa, absorvendo retendo uma parte da radiação solar (a radiação infravermelha) que, ao ficar aprisionada, mantém calor, ajudando a deixar a Terra quentinha o suficiente para que os organismos possam sobreviver, portanto mantendo a vida em nosso planeta. O problema é que nós, humanos, mexemos no equilíbrio entre esses gases por causa das nossas indústrias, queima de combustíveis fósseis e poluição dos meios de transporte! Com isso, o aumento da quantidade desses gases do efeito estufa engrossa essa camada e faz com que ela retenha cada vez mais calor no planeta. A consequência disso é o aquecimento global, que causa as mudanças climáticas. A questão principal dos cientistas que trabalham hoje com isso é: até quando os organismos e os sistemas vão conseguir suportar essas mudanças?

Amazônia

Cada lugar do mundo responde às mudanças climáticas de uma certa forma. Na região tropical, onde fica o Brasil, os cientistas preveem mudanças na quantidade de chuva e na variação de temperatura para os próximos 50 anos. Dentre os biomas brasileiros, a Amazônia é o que apresenta uma das maiores variações na umidade e nas temperaturas. Ao que tudo indica, o bioma vai ficar bem mais quente, e vai apresentar cada vez menos chuvas ao longo do ano. Essas mudanças podem afetar todos os organismos que vivem na imensidão da floresta amazônica, desde as plantas e fungos até os vertebrados como os anfíbios, os répteis, as aves e os mamíferos.

Lagartos

Os lagartos fazem parte do grupo dos répteis, animais chamados como de “sangue frio”, o que na verdade significa que eles dependem da temperatura do ambiente em que vivem para regular a temperatura do seu próprio corpo. Isso torna estes animais muito vulneráveis ao aumento de temperatura causado pelas mudanças climáticas! Nas horas mais quentes do dia, os lagartos procuram um abrigo para fugir do calorão. Enquanto ficam nesses abrigos, eles não podem comer ou se reproduzir, e isso faz com que eles percam esse tempo em que poderiam estar fazendo outras coisas. Além disso, por estarem escondidos, muitos animais que se alimentam desses lagartos acabam ficando sem ter o que comer. Com isso, quanto mais aumentar a temperatura do lugar que o lagarto vive, mais tempo ele vai ter de ficar escondido no abrigo e, portanto, menos tempo vai sobrar para ele poder ficar fora, circulando no ambiente e realizando suas tarefas ecológicas. Assim, aumentando a temperatura ambiental, cada vez mais espécies vão sofrer com isso.

Os cientistas estão trabalhando bastante para entender o que pode acontecer com esses animais se o aquecimento global continuar. Para os lagartos da Amazônia, futuro é bem preocupante, pois existe pouca informação para a maioria das espécies. Estudos científicos recentes mostraram que ao menos 35 espécies de lagartos da Amazônia correm grande chance de desaparecer daqui há 50 anos se nada for feito para diminuir esse aquecimento. Muitas delas são encontradas dentro de áreas florestais protegidas, que são chamadas Unidades de Conservação. Esses locais funcionam como um santuário para a preservação da natureza local, só que, com o avanço dessas mudanças climáticas, parte desses locais vai perder a sua condição de proteger essas espécies.

O que a gente precisa fazer para ajudar a evitar o aquecimento global é simples: diminuir a produção dos gases que alteram a composição da nossa atmosfera. E isso é possível!!! Basta cada um fazer a sua parte! Pede para a mamãe ou para o papai deixar o carro na garagem e ir trabalhar ou passear a pé, de bicicleta ou em transporte público (que leva muita gente de uma só vez); evite produzir muito lixo e jogue seu lixo no lugar certo; evite o desperdício de água, apague as luzes que não precisa e gaste pouca energia, além de dar preferência a coisas que são recicláveis. Pode espalhar a novidade: cada um de nós pode ajudar a salvar não só os lagartos, mas todos os bichos e plantas que precisamos para o equilíbrio do planeta e que tornam o nosso mundo tão bonito e colorido. A natureza agradece!!

9.3.4 Será que os répteis aguentam as mudanças climáticas?

Cartilha educativa a ser utilizada como material de apoio pedagógico aos professores de ciência e biologia do ensino fundamental e médio. Público alvo: Crianças e adolescentes em idade escolar.

Texto principal

Apresentação

As mudanças climáticas vêm sendo estudadas pelos cientistas nas últimas décadas e cada vez mais tem sido mostrado a sua influência na vida de diversos organismos. Desde 1900, a temperatura da Terra já aumentou em média cerca de 1°C, e os cientistas preveem que esse aumento pode chegar a até quase 5°C até 2100.

De maneira geral, animais que não conseguem regular a sua temperatura corpórea a partir da energia produzida pela alimentação (calor do metabolismo), e por isso dependem da temperatura do ambiente (=ectotérmicos), costumam ser considerados mais vulneráveis a essas mudanças climáticas. Isso ocorre porque, uma vez que a temperatura do ambiente aumenta, a temperatura corpórea deste animal também pode aumentar, muitas vezes ultrapassando o limite de temperatura que o animal pode tolerar. Esse é o caso dos répteis, e por isso estes animais são considerados bons modelos para se compreender a influência das mudanças climáticas na biodiversidade.

Devido à ectotermia, muitas vezes os répteis precisam de estratégias para evitar que ocorra um superaquecimento de seu corpo, seja através de mudanças no comportamento, seja alterando os limites da sua preferência térmica. Porém, nem sempre estas estratégias são suficientes para que o animal não sofra com o aumento da temperatura do ambiente. Por isso, os cientistas têm buscado descobrir até que ponto os répteis conseguem lidar com as alterações climáticas, e se eles correm risco de não aguentarem o aumento gradual do calor que está por vir.

Nesta cartilha, você vai descobrir o que os cientistas têm descoberto nos últimos anos em relação à influência das mudanças climáticas na vida dos répteis, e o que nós podemos fazer para ajudar estes animais a sobreviverem em um mundo que poderá estar até 5°C mais quente do que hoje.

Vocês estão prontos? Então vamos nessa!

As mudanças climáticas

1. Entendendo o Clima

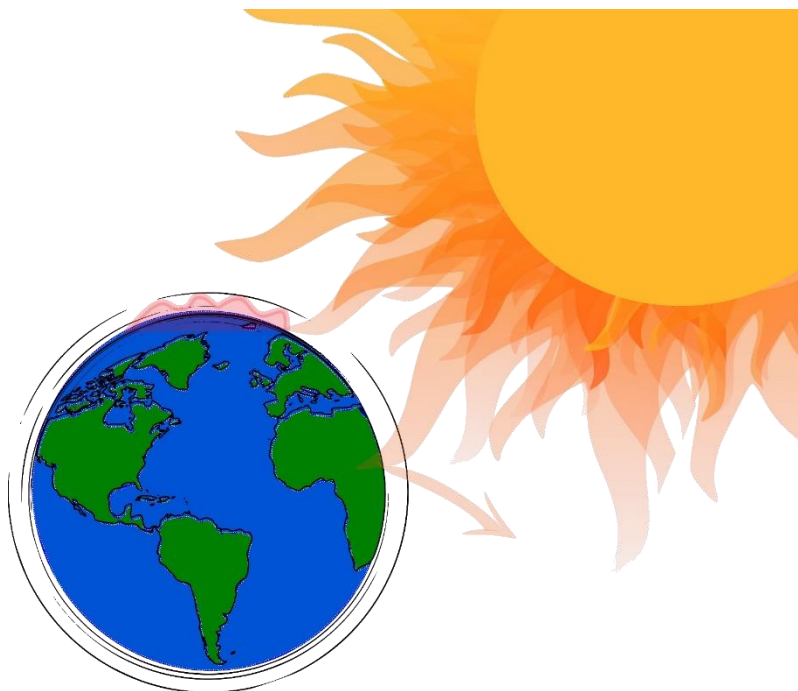
O Sol é a maior fonte de energia do planeta Terra. Ele emite uma radiação eletromagnética que é parcialmente convertida em calor e energia para o planeta, que por sua vez são distribuídos de maneira desigual ao longo da superfície terrestre. Essa distribuição desigual gera as correntes marinhas e os ventos, e é a causa dos diferentes padrões de temperatura entre as regiões: locais que recebem mais energia são também os locais mais quentes, como a região Tropical, enquanto locais que recebem menos energia são também os locais mais frios, como as Regiões Polares.

O planeta Terra é envolto por uma camada de gases* chamada de atmosfera, a qual é responsável por reter parte da radiação solar que atinge o planeta, aquecendo a superfície terrestre e reduzindo os extremos de temperatura ao longo do dia. É na atmosfera, portanto, que os processos que originam os fenômenos climáticos se iniciam. Apesar do nitrogênio e do oxigênio serem os gases mais abundantes, eles têm pouca influência no clima da Terra. Já o gás carbônico (CO₂), que contempla cerca de 0,038% da concentração de gases na atmosfera, é bastante importante para a retenção de calor através da absorção da radiação solar, fenômeno conhecido como efeito estufa.

2. O efeito estufa

Ao contrário do que muitos pensam, o efeito estufa é um fenômeno natural e essencial para que exista vida na Terra. Sem ele, a temperatura média do planeta seria de aproximadamente -18°C ! Pois então, como ele funciona?

A radiação solar chega no planeta através dos raios de luz visível e radiação ultravioleta (que não conseguimos enxergar). Parte desta radiação é refletida ou absorvida pelos gases da atmosfera, como o ozônio e o vapor d'água, enquanto a outra parte se transforma em calor na forma de radiação infravermelha. Esse calor é



parcialmente absorvido pelo CO_2 e outros gases da atmosfera, enquanto o resto retorna ao espaço. O calor que fica na atmosfera é dividido em calor sensível, que é o calor que nós sentimos; calor latente, que determina a mudança do estado físico de uma substância, e radiação terrestre, que é a radiação infravermelha emitida da superfície do planeta.

Essa absorção da radiação pela atmosfera e transformação em calor é o chamado efeito estufa natural, que permite que o sistema Terra-Atmosfera se mantenha em equilíbrio energético. Como vocês puderam ver, esse efeito estufa natural é regulado principalmente pela concentração de gases como o CO_2 na atmosfera. Sem o efeito estufa, não haveria vida na terra. Ao longo do tempo de vida da Terra, essa concentração variou bastante, e desde que o homem começou a utilizar combustíveis fósseis para a indústria, lá no século XVIII a partir da revolução industrial, ela tem aumentando consideravelmente, causando as chamadas Mudanças Climáticas.

Vamos tentar entender agora o que são as mudanças climáticas e quais as consequências do aumento nessa concentração de gases do efeito estufa causado pelo homem?

3. As mudanças climáticas no passado

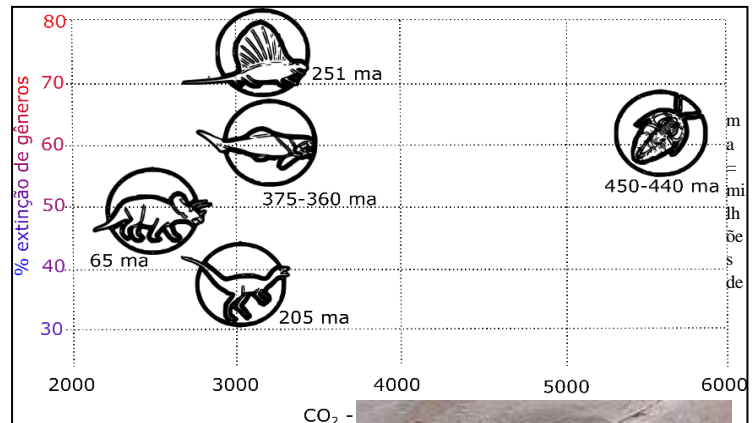
A Terra tem aproximadamente 4,6 bilhões de anos, que são divididos pelos cientistas em uma escala geológica de tempo*. Ao longo desse tempo, a concentração de gases na atmosfera teve altos e baixos, e junto dela, a temperatura também sofreu grande variação.

Essas mudanças foram graduais, mas tiveram grandes impactos na biodiversidade. As chamadas extinções em

* A escala geológica de tempo, também chamada de “tabela cronoestratigráfica”, representa a linha de tempo da Terra e é dividida em eras, que por sua vez são subdivididas em períodos. Nós vivemos no Holoceno, que é só um pedacinho bem pequeno da história da Terra!



ba = bilhões de anos;
ma = milhões de anos



massa, onde um grande número de espécies se extinguiu em um determinado período de tempo, ocorreram cinco vezes na história da Terra, e estavam sempre associadas a extremos de CO₂.



A primeira delas ocorreu há aproximadamente 444 milhões de anos, acabando com 26% das famílias de

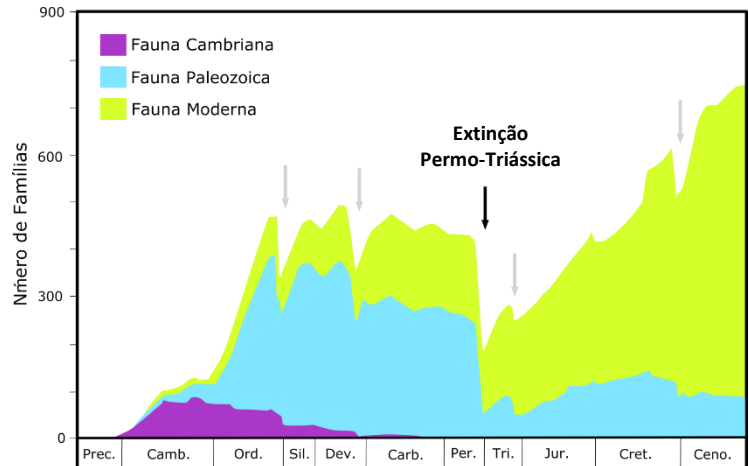


invertebrados marinhos, incluindo boa parte das trilobitas, animais próximos dos crustáceos ocorreu há cerca de 360 milhões de anos, acabando com 70% da

atuais. A segunda milhões de anos,

vida marinha, sobretudo corais, algumas esponjas basais e os placodermos, estes peixes basais que possuíam placas dérmicas na cabeça e no tórax, formando uma armadura, e podiam chegar a até 6 metros de comprimento. Consegue imaginar?

A terceira extinção em massa ocorreu há aproximadamente 251 milhões de anos, e é considerada a maior dentre todas as extinções em massa que já ocorreram até hoje. Nela, se extinguíram cerca de 95% da vida marinha e 75% da vida terrestre. Dentre as possíveis causas apontadas para essa grande perda de biodiversidade, estão o acúmulo de CO₂ na atmosfera,



variação do nível do mar e acidificação dos oceanos. Parece familiar?

Após essa grande extinção, ainda existiram mais duas. Há cerca de 200 milhões

de anos, a extinção do Triássico-Jurássico acabou com cerca de 20% das famílias marinhas e muitos organismos terrestres, como os labirintodontes, anfíbios gigantes que chegavam a até 6 m de comprimento.

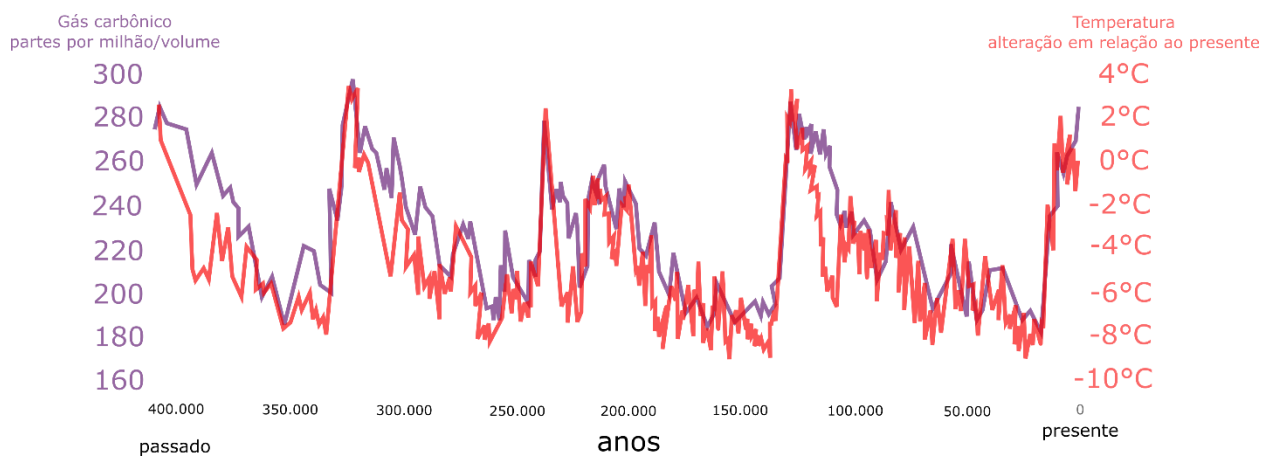
A última extinção em massa, e talvez a mais famosa delas, foi a extinção K-Pg, há 65,5 Ma. Nela, 60% da vida na Terra foi extinta, incluindo os dinossauros e mosassauros. Dentre as hipóteses mais famosas quanto as suas causas, estão o impacto de um grande meteoro, na região do México, e as alterações climáticas que se sucederam em decorrência deste impacto, tais quais os incêndios em escala global e a liberação de grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera, aumentando a temperatura da Terra e a ocorrência de chuvas ácidas e promovendo a acidificação dos oceanos. Além disso, o aumento



das erupções vulcânicas também é considerado como outra possível causa, indicando que na verdade a extinção do K-Pg foi causada por um conjunto de fatores.

Para reconstruir o clima do passado, os cientistas precisam encontrar pistas deixadas pelos organismos e fenômenos físicos da época que tenham sobrevivido ao longo dos anos. Essa tarefa não é fácil, pois muita coisa aconteceu com a Terra nesse período. Com isso, quanto mais recente é o período que o cientista quer estudar, mais fácil de se conseguir essas pistas.

Os últimos 400.000 anos da Terra apresentam muitas pistas de como era o seu clima, e por isso os cientistas conseguiram reconstruir com bastante precisão os padrões de variação da

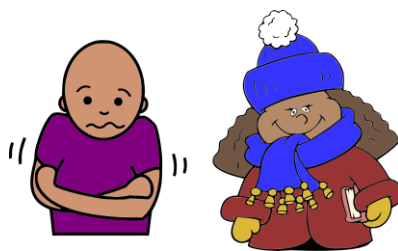


concentração de CO₂ e da temperatura média da Terra, e a relação entre esses dois é impressionante!

Este período foi caracterizado por oscilações rápidas e intensas de temperatura em nível regional, o que, associado a mudanças nas paisagens, levou à diversificação e/ou extinção de vários grupos de organismos. A diversidade atual de anfíbios, répteis, aves e mamíferos, por exemplo, foi definida com base nessas taxas de variação climática. Em locais onde ocorreram mudanças de temperatura muito bruscas, os organismos buscaram se dispersar em busca de áreas com temperaturas mais amenas, o que hoje implica em organismos com grandes áreas de distribuição. Já em locais onde a variação na temperatura foi lenta, os organismos não precisaram desenvolver essa capacidade de dispersão, e, portanto, hoje apresentam distribuições restritas a um determinado local.

Para entender melhor isso, vamos fazer uma analogia com a sua sala de aula. Imagine que, no auge do verão, o seu colégio resolve instalar um ar condicionado central, que refrigera todas as salas. Você, que não tem ar condicionado em casa e não sabia da novidade, sai de casa para a sua caminhada de quase meia hora até a escola e chega (suando!) para a aula usando só uma bermuda e a blusa do uniforme, mas a sala está um gelo! Como você não estava vestido para o frio, você vai começar a ficar incomodado, certo? Logo, na primeira oportunidade você vai buscar algum lugar que tenha uma temperatura mais amena, e assim você descobre uma outra sala no seu colégio, lá no terceiro andar, onde a temperatura é mais agradável, e você resolve ficar ali durante o seu intervalo. Pronto, agora você tem uma maior área de distribuição dentro do seu colégio!

Já o seu amigo, que dormiu no ar condicionado essa noite e foi para a escola de carro (com o ar condicionado ligado!), levou o casaco na mochila, pois não sabia que estava tão quente do lado de fora. Ao chegar no colégio, notou que a temperatura estava somente ligeiramente mais baixa que a temperatura dentro do carro, só o suficiente para colocar o casaco. Com isso, ele não sofreu com uma variação brusca na temperatura, e por isso teve a capacidade de se adaptar àquela temperatura ambiente sem precisar migrar. Logo, o seu amigo não teve porquê ir em busca de um local mais quente para ficar, e ficou restrito à sua própria sala de aula.



4. *As mudanças climáticas recentes*

As mudanças climáticas recentes, que também são chamadas de antropogênicas, são as variações nos padrões climáticos da Terra que foram “causadas” pelo homem. Ué, mas por que as aspas?

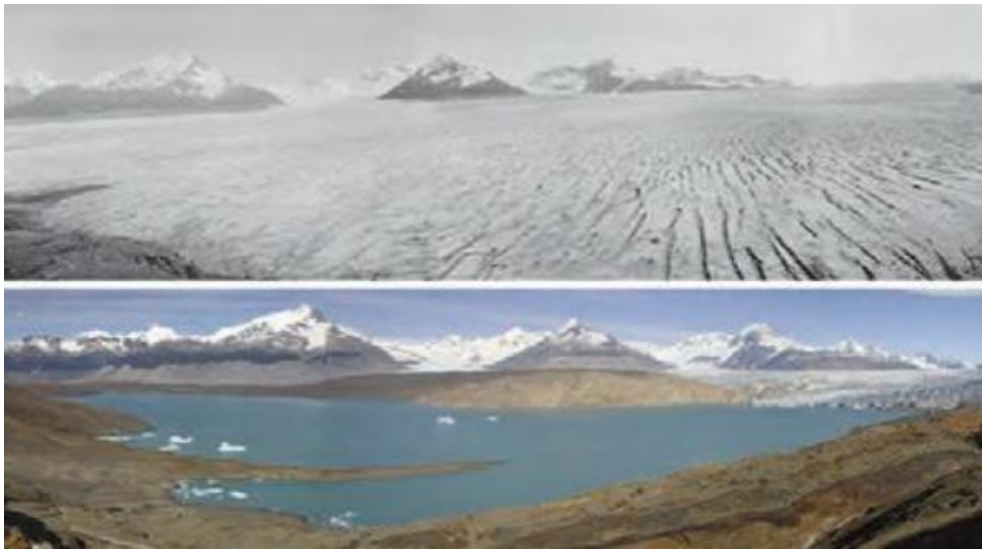
Bem, como foi visto anteriormente, a temperatura da Terra varia naturalmente ao longo do tempo. Logo, as mudanças climáticas são processos naturais, que não são, por si só, causados pelo homem ou por qualquer outro organismo. O que o homem vem fazendo, na verdade, é potencializar as mudanças climáticas naturais. É como jogar álcool em uma fogueira: você não está fazendo o fogo, mas sim tornando-o mais intenso.

Desde a descoberta dos combustíveis fósseis e de suas utilidades, lá no século XVIII, o homem tem “jogado cada vez mais álcool” (=CO₂) “na fogueira” (Atmosfera), o que tem intensificado o fogo (=efeito estufa) e aumentado a temperatura da Terra. Só para termos uma

ideia: Entre 1750 e 2011, a concentração de CO₂ emitido pelo homem foi maior do que aquela acumulada nos últimos 800 mil anos, e mais da metade dessas emissões ocorreram somente entre 1970 e 2010!

Como consequência desse aumento repentino na concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, tivemos um aumento súbito na temperatura média do planeta: +1°C entre 1880 e 2017. Parece pouco, né? Mas não foi só isso que mudou... isso fez com que a temperatura dos oceanos também tenha aumentado, e cerca de 49% do gelo marinho foi perdido entre 1979 e 2012, o que levou também ao aumento do nível do mar.

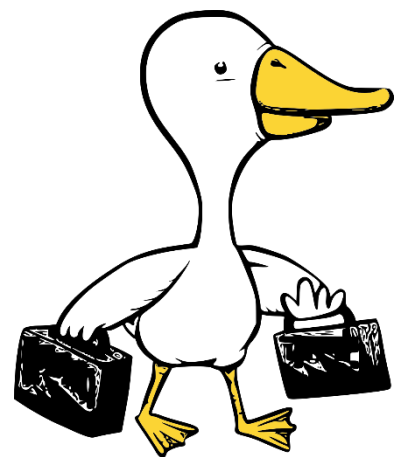
Geleira de Upsala, Argentina: 1928 x 2004



Hannah, L. Climate Change Biology. Elsevier.

Essas mudanças repentinas vêm causando impactos tanto para a natureza, quanto para a sociedade humana. Ondas de calor, secas, inundações, ciclones, aumento dos focos de incêndio selvagem, perda de terras para plantar, favorecimento ao surgimento de novas doenças, aumento do número de vetores de doenças, perda de espécies animais e vegetais... Tudo isso ocorre devido às mudanças climáticas aceleradas pelo homem. Na natureza, algumas espécies já

estão mudando seus hábitos, suas relações com outras espécies e até mesmo a sua distribuição. Espécies migratórias, por exemplo, estão antecipando o momento de migrar, que normalmente ocorre durante a primavera, para fugir dos períodos mais quentes.



Outras espécies estão enfrentando desafios ainda maiores. Nas tartarugas, por exemplo, o sexo dos embriões dentro dos ovos é determinado pela temperatura do ambiente no ninho onde os ovos se encontram chocando. Assim, uma mudança na temperatura vai fazer mudar o sexo das tartaruguinhas se desenvolvendo no ninho: Quando está muito quente no ninho, nascem mais fêmeas. Desta forma, só esse aquecimento observado nos últimos anos, já foi o suficiente para causar um desequilíbrio entre a quantidade de machos e fêmeas e dificultar a formação de pares para o acasalamento. Por fim, algumas espécies já foram extintas por conta dessas alterações climáticas recentes. Esse é o caso do sapo dourado da Costa Rica e de um roedor australiano.



Fonte: Carlota Alfaro



Fonte: Charles Smith



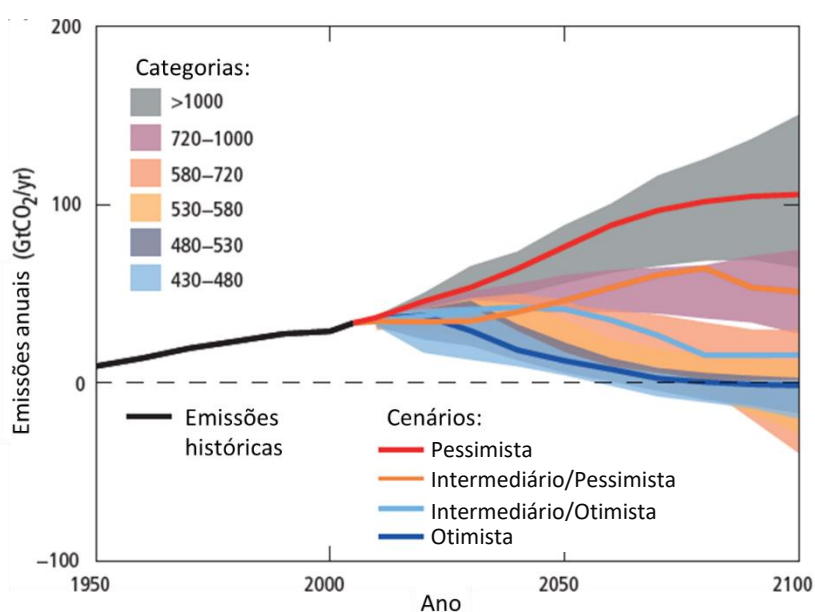
Fonte: Ian Bell

5. Previsões para o futuro

Prever o futuro parece coisa de cinema, né? Apesar de difícil e bastante complexo, os cientistas conseguem fazer isso com a variação climática do planeta utilizando modelos para representar os diferentes processos que atuam no sistema climático. Estes modelos utilizam informações de diferentes cenários de poluentes do ar, emissão de gases do efeito estufa, padrões de uso da terra, entre outros, para obter diferentes projeções climáticas para os próximos 80 anos.

Em 2013 foi lançado um relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas, originalmente criado em 1988, que sintetiza toda a informação disponível sobre as Mudanças

Climáticas até o momento. Neste documento, quatro projeções foram reconhecidas: uma mais otimista, que considera que as emissões de gases do efeito estufa irão se reduzir nos próximos anos; duas intermediárias, que consideram que estas taxas se manterão próximas da emissão observada até 2010, e uma mais pessimista, que considera um aumento gradual nessas emissões seguindo o padrão de aumento verificado nos últimos anos.



Atualmente, considera-se que, caso mantenham-se as taxas de emissões dos últimos anos, haverá um aumento de mais 0,5°C na temperatura média da Terra até 2040, e de mais 3,3°C em 2100, totalizando quase 5°C de variação em 300 anos. Além de mudanças na temperatura, espera-se ainda que haja um aumento na taxa de chuvas no hemisfério norte e na região do oceano pacífico, enquanto em regiões tropicais e subtropicais espera-se o oposto. Os oceanos se tornarão mais quentes e ácidos, e o nível do mar irá subir quase um metro. Dessa forma, o último relatório do Painel Internacional de Mudanças Climáticas divulgado em outubro de 2018 apontou a necessidade de manter o aumento da temperatura do planeta em no máximo 1,5°C.

Todas estas previsões são alarmantes e levaram os cientistas a se perguntarem como isso pode influenciar na biodiversidade do planeta. Você tem alguma ideia do que eles encontraram?

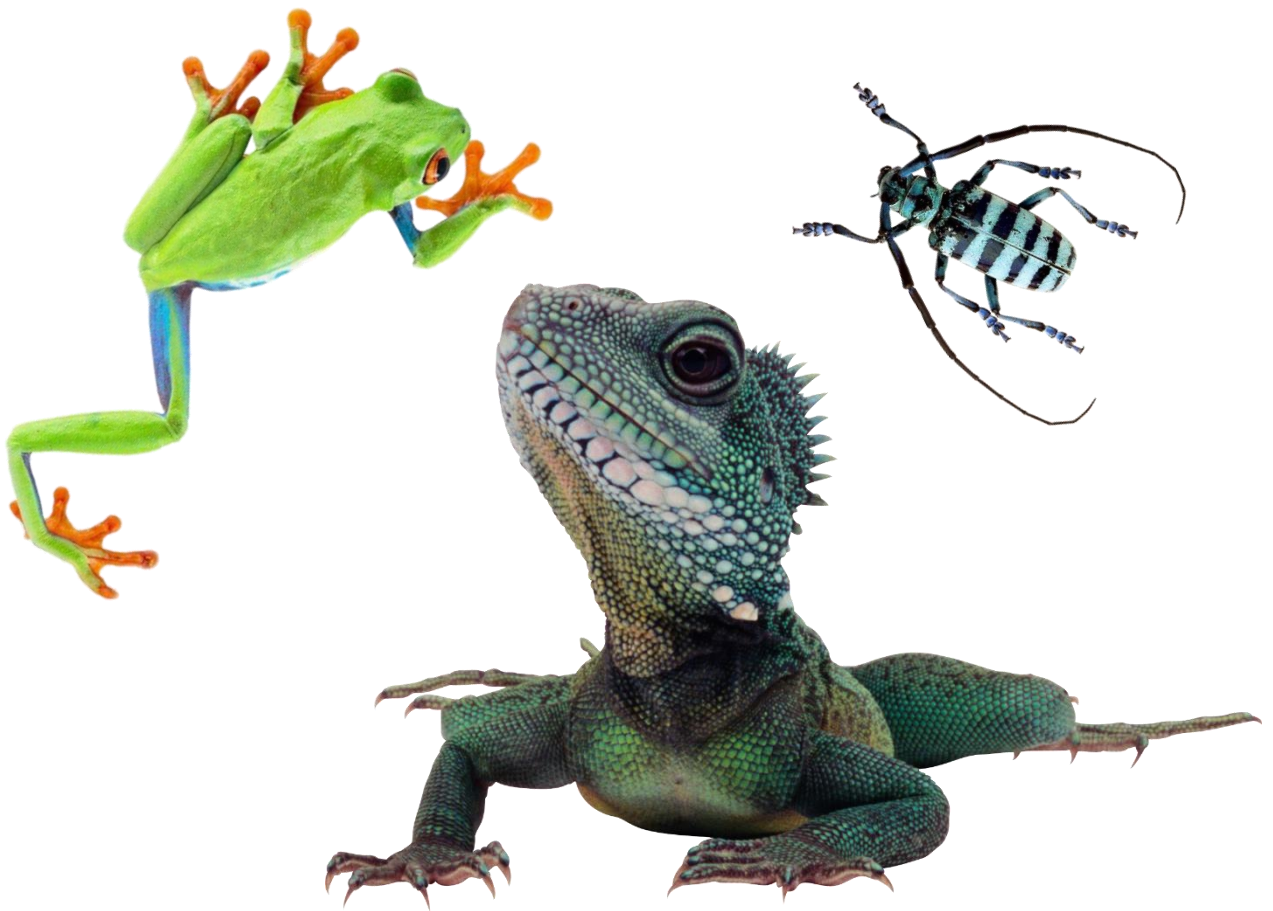
Biodiversidade

Como vocês viram, as mudanças climáticas naturais determinaram a diversidade de espécies ao longo do tempo, e, recentemente, já começaram a aparecer as primeiras consequências das mudanças climáticas potencializadas pelo homem, como a extinção confirmada de duas espécies e as alterações no comportamento de diversas outras. A tendência, infelizmente, é esse cenário piorar cada vez mais. Lembra das cinco extinções em massa que ocorreram ao longo de milhões de anos? Pois bem... Os cientistas preveem que as mudanças climáticas recentes podem ser a causa da sexta extinção em massa que estaria por vir – e, se as previsões estiverem corretas, isso ocorrerá em menos de 100 anos!

A extinção é o efeito mais extremo que as mudanças climáticas podem causar nas espécies animais e vegetais e demais organismos. Porém, existem várias outras respostas que eles podem ter, e isso depende do quanto cada organismo é sensível às mudanças no ambiente em que vivem e como eles lidam com tais mudanças. Muitas espécies conseguem se adequar à variação de temperatura através da mudança de hábitos, estratégia conhecida como “plasticidade fenotípica”. Estas respostas são mais imediatas, e normalmente o organismo pode voltar à sua condição anterior às mudanças depois que o período estressante passou. Outra forma de lidar com as mudanças é através da dispersão. Neste caso, o organismo se muda (se dispersa) para novos ambientes que possuem características climáticas mais adequadas para a sua sobrevivência. O problema é que nem todas as espécies possuem alta capacidade de se dispersar: Muitas vezes existem barreiras que as impedem de fazer isso, sejam elas naturais (como rios, mares e montanhas) ou antrópicas (como ambientes urbanos). Uma outra resposta das espécies às mudanças climáticas é a adaptação ao longo de gerações. Neste caso, as espécies desenvolvem características genéticas que as tornam mais resistentes às mudanças climáticas. Porém, esse processo de adaptação só ocorre ao longo de gerações, o que, dependendo do tempo de vida das espécies, pode ser bastante demorado.

Alguns organismos apresentam características próprias que os fazem ser mais sensíveis às mudanças climáticas. Nós, humanos, assim como os outros mamíferos e as aves, somos animais endotérmicos, o que significa que regulamos a nossa temperatura internamente, e por isso nos mantemos na nossa temperatura ideal independente da temperatura externa. Quando temos algum problema de saúde, nosso corpo se defende

aumentando a temperatura, e é assim que ficamos com febre. Entretanto, existem animais que não conseguem fazer isso, e dependem da temperatura do ambiente para regular a temperatura do corpo: estes são os chamados animais ectotérmicos, como os insetos, os anfíbios e os répteis. Normalmente estes animais apresentam faixas de temperatura ideais para manterem as suas atividades, e alcançam essas faixas através da termorregulação, ou capacidade de regular a temperatura interna com base na temperatura do ambiente. Desta forma, para estes animais as alterações climáticas podem ter consequências gravíssimas, uma vez que qualquer variação na temperatura do ambiente pode levá-los a ultrapassar estas faixas de temperatura ideais, prejudicando o bom funcionamento do seu corpo. Com isso, os ectotérmicos são considerados bons modelos de estudo para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade, considerando que toda a sua existência depende da temperatura do ambiente. Aqui, vamos focar nos répteis como modelo para entendermos essa influência.



Répteis

1. Quem são?

Os répteis são animais vertebrados, ectotérmicos, que apresentam escamas ao longo do corpo. O grupo é bastante diversificado, compreendendo linhagens extintas e viventes. Dentre os representantes extintos do grupo, estão os dinossauros e os grandes répteis marinhos, como o mosassauro. Dentre os viventes, estão os lagartos, anfisbenas*, serpentes, tartarugas, jacarés, tuataras**... e as aves! SIM, apesar das aves serem endotérmicas e apresentarem características únicas e bastante diferenciadas, a origem das aves se deu na linhagem dos dinossauros. Portanto, podemos considerá-las como os últimos dinossauros viventes! Apesar disso, por serem grupos muito diferentes, aqui vamos considerar somente os répteis viventes que são “senso comum”, ou seja, todos os demais, sem incluir as aves.



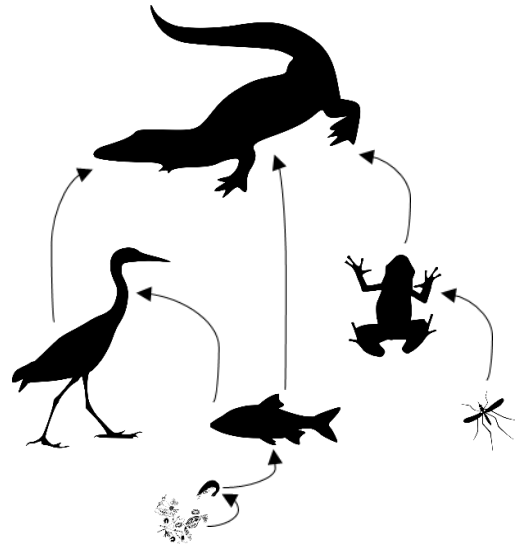
*As anfisbenas são conhecidas como “cobras de duas cabeças”. São um grupo dentro de lagartos que, assim como as serpentes, não possui membros. São difíceis de serem vistas na natureza por viverem enterradas, mas elas estão por aí!

** Os tuataras são répteis que se parecem bastante com os lagartos. Atualmente só existe uma espécie vivente que ocorre na Nova Zelândia, mas eles já foram bastante diversos no passado.

Os répteis podem ser encontrados em diversos tipos de ambientes, e, portanto, apresentam adaptações específicas para cada local que ocupam. Por exemplo, as tartarugas marinhas,

apresentam os membros anteriores modificados em nadadeiras, enquanto os cágados, que são semiaquáticos, apresentam membranas interdigitais para auxiliar na natação e garras para auxiliar na locomoção terrestre. Apesar de também ocuparem o ambiente aquático (seja ele marinho ou fluvial), a grande maioria dos répteis é terrestre. Neste meio, eles ocupam desde ambientes rochosos a beira mar até as árvores mais altas de florestas tropicais.

Além de bastante diversos, os répteis também são importantes nas cadeias tróficas, seja como predadores, seja como presas. Espécies de topo de cadeia, como crocodilos e jacarés, são espécies chave na regulação dos ambientes em que estão inseridos. A retirada destes elementos de uma cadeia pode levar ao aumento da população de presas, e por consequência, a base da cadeia será consumida em excesso, levando à escassez de alimento e aumento da competição entre os consumidores. Esse desequilíbrio também pode ser causado se forem retiradas as espécies herbívoras da cadeia, como as iguanas. Neste caso, haverá uma escassez de alimentos para os seus consumidores, que por consequência irão competir entre si e, possivelmente, precisarão buscar alimento em outros locais.



Como explicado antes, os répteis são ectotérmicos, o que significa que dependem da temperatura do ambiente para regular a sua temperatura do corpo e manter suas atividades diárias. Apesar de todos os répteis serem ectotérmicos, o modo como eles regulam a sua temperatura muda bastante entre as espécies. Alguns são termorreguladores ativos, o que significa que eles procuram ativamente por meios de alcançar a temperatura ideal. São estes os répteis que você encontra pegando sol por aí! Eles normalmente ficam expostos ao sol até alcançarem essa temperatura ideal para eles, e somente então eles vão iniciar suas atividades do dia: buscar alimento, encontrar um par, demarcar territórios ou buscar abrigo, entre outros. Outros são termorreguladores passivos, ou termoconformadores, que se conformam com o local em que estão e tem a temperatura do corpo como um reflexo da temperatura do ambiente. Portanto, estes animais evitam locais ensolarados, sendo mais encontrados em ambientes sombreados ou durante a noite.

Em relação à reprodução, os répteis têm fecundação interna e a maioria é ovípara, mas existem exceções. Muitos lagartos e serpentes são vivíparos, o que significa que o embrião

que geram se desenvolve internamente no corpo, como nós. Além disso, existem algumas espécies que são partenogenéticas, ou seja, não existem machos! A reprodução nestes casos é baseada em um gene que transforma as células reprodutoras (os óvulos) em embriões sem precisar de fecundação. Legal, né?

Outra coisa interessante é a determinação do sexo dos embriões pela temperatura do ninho durante um período específico do seu desenvolvimento, chamado período termossensível. Isso ocorre para tartarugas, crocodilos, jacarés, tuatara e algumas espécies de lagartos, mas em cada grupo ela ocorre de maneira diferente. Para as tartarugas, os ninhos com temperaturas maiores que 30°C levarão ao nascimento de um maior número de fêmeas. Já para os crocodilos e jacarés, temperaturas extremas (tanto baixas quanto altas) levam ao nascimento de fêmeas, enquanto em temperaturas intermediárias nascem machos. No caso do tuatara, temperaturas elevadas geram um maior número de machos, e, para lagartos, isso depende da espécie.

2. Influência das mudanças climáticas

Apesar de apresentarem uma infinidade de adaptações, o fato de serem ectotérmicos torna os répteis mais sensíveis às mudanças climáticas. Mas como exatamente elas podem afetá-los?

Vimos que tartarugas, jacarés e tuataras, por exemplo, tem o seu sexo definido pela temperatura do ninho durante o período termossensível. Agora, com o aumento da temperatura causado pelas mudanças climáticas, as chances de a temperatura do ambiente ser alta o suficiente para levar ao nascimento de somente fêmeas (ou machos, no caso dos tuatara) também aumentam! Isso já vem sendo observado em algumas populações, como vimos lá atrás quando falamos de mudanças climáticas recentes. Porém, se esse processo se intensificar, em pouco tempo não haverá mais como essas espécies se reproduzirem devido a falta de indivíduos do sexo oposto. Triste, não?

Cágados, jacarés e crocodilos costumam colocar seus ovos na beira de rios, de modo que os mesmos estão sujeitos a variação natural do nível de água do rio. Desta forma, a postura é feita de modo que o embrião tenha tempo suficiente para se desenvolver e nascer antes do rio subir e cobrir o ninho. Com as mudanças no regime de chuvas, o nível de água destes rios irá aumentar, e, conseqüentemente, o tempo em que estes ovos ficam expostos será reduzido. Se esta redução invadir o tempo necessário para o embrião se formar, este não conseguirá se desenvolver a tempo. No longo prazo, isto também pode oferecer uma ameaça à persistência destas espécies.

Outro fator que pode ser bastante influenciado é a fisiologia térmica das espécies. Com o aumento da temperatura do ambiente, os répteis podem acabar ultrapassando a faixa de temperatura do corpo ideal para a manutenção das suas atividades diárias. Isto gera um estresse no animal, que então pode buscar diferentes estratégias para lidar com isso. Muitos lagartos optam pelo uso de refúgios nas horas mais quentes do dia, o que significa que, durante seu período de atividade, o animal restringe a atividade durante algumas horas para evitar o risco de superaquecimento. O problema desta estratégia é simples: Quanto mais horas ele passa nos refúgios, menos tempo ele tem para termorregular, buscar alimento, buscar um par, demarcar territórios, entre outras atividades. Ou seja: embora os refúgios sejam boas estratégias para o aumento da temperatura, eles acabam se tornando um fator limitante para a manutenção da vida do animal.

A maioria dos estudos até hoje buscou prever a distribuição das espécies no futuro, e assim calcular o seu risco de extinção por causa das mudanças climáticas. De maneira geral, o que os cientistas têm encontrado é que os répteis têm grandes chances de não conseguirem lidar com as mudanças climáticas nos próximos anos. Só para lagartos, foram previstas extinções locais em todo o mundo até 2080, independente da preferência térmica!! A situação é realmente preocupante, e por isso agora é hora de tentarmos reverter esse quadro.

Mas afinal... por que isso importa?

Além da importância biológica de se preservar a diversidade, sabendo que cada organismo vivo tem um papel a desempenhar no ecossistema, os répteis também são importantes para nós, seres humanos. Por exemplo, muitas espécies de lagartos, como a lagartixa de parede (aquela que você normalmente vê na parede da sua casa!), se alimentam principalmente de insetos, como o mosquito *Aedes aegypti*. Isso mesmo! As lagartixas comem o maior vetor da dengue, da zica e da Chikungunya, doenças que tem aterrorizado os brasileiros nos últimos anos.

No ambiente agrícola, isso também pode ser usado a nosso favor. Muitas vezes é feito uso de agrotóxicos para livrar as plantações de pragas, porém estes fazem muito mal não só a nós, mas a todo o ecossistema no entorno das plantações. Os répteis podem ajudar a conter essas pragas sem precisar do uso destes agrotóxicos. É só deixar os bichos comerem!

Entre as plantas já conhecemos milhares de espécies que possuem substâncias específicas (chamadas de componentes ativos) que atuam sobre muitas doenças e também são fundamentais para a indústria de cosméticos que o homem tanto utiliza diariamente. Mas uma coisa que nem todo mundo sabe é que o veneno de serpentes peçonhentas também tem estes componentes ativos, e é utilizado na medicina moderna! Isso mesmo! O veneno da jararaca, por exemplo, tem propriedades que vêm sendo utilizadas a bastante tempo na indústria farmacêutica para o tratamento da hipertensão e insuficiência cardíaca. Além disso, existem estudos que mostram uma possível aplicação destas substâncias para proteger os neurônios da morte celular causada pelo mal de Parkinson, além de estimular a criação de novos neurônios! Já o veneno da cascavel, por sua vez, tem potencial para substituir os antibióticos convencionais por apresentar princípios ativos mais potentes e com menos efeitos colaterais. Não é maravilhoso?

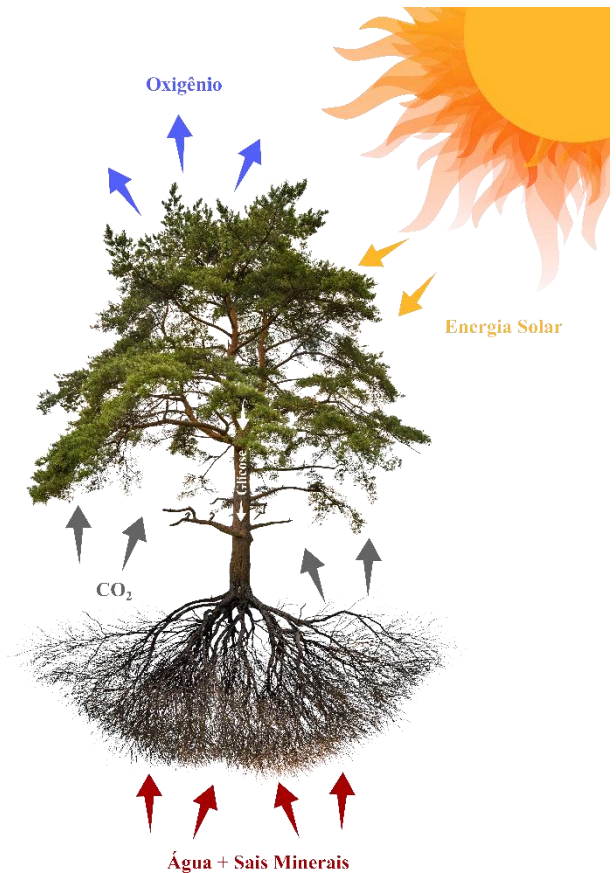


Pois bem, mas o que é preciso ser feito para reverter o quadro previsto para os próximos anos?

Medidas de mitigação

A maior preocupação dos cientistas agora é tentar evitar que as emissões de gases do efeito estufa ultrapassem o previsto para que haja um aumento de mais 0,5°C na temperatura média da Terra até 2040. Isto porque essas previsões consideram que as taxas de emissões irão se manter como estão hoje até 2040, embora a tendência seja que, na verdade, esta taxa aumente ao longo dos anos. Para que o objetivo seja alcançado, é necessário haver mudanças nas políticas públicas ao redor do mundo, focando principalmente no desenvolvimento sustentável.

Organismos fotossintetizantes, como as plantas, utilizam o CO_2 como fonte para gerar energia, capturando este gás da atmosfera e liberando oxigênio em seu lugar. Para limitar o aumento da temperatura previsto pelos cientistas, as emissões de CO_2 precisam ser reduzidas a ponto de se igualarem às taxas de captura (ou “sequestro”) de carbono da atmosfera, de modo que o balanço entre emissão e captura entre em equilíbrio. A implicação deste equilíbrio seria uma diminuição da concentração de CO_2 na atmosfera ao longo do tempo, levando a uma temperatura global praticamente constante ao longo de muitos séculos. Para que isso seja possível, é necessário que se mude tanto o sistema global de obtenção de energia, assim como a forma como o uso do solo é organizado ou a forma como o alimento, a energia e os materiais são consumidos. Mas por que esse deve ser o foco?



Nossa sociedade utiliza muita energia obtida através da queima de combustíveis fósseis, o que leva a altas taxas de emissão de CO_2 e outros gases do efeito estufa. Porém, existem diferentes outras fontes de energias consideradas “energias limpas”, ou “energias renováveis”, que não precisam da queima de combustíveis fósseis para serem geradas e, portanto, são energias sustentáveis: este é o caso da energia eólica, obtida através do vento, e da energia solar, obtida através dos raios solares.

O sistema de transportes (automóveis e coletivos) também é ainda hoje muito baseado na queima de combustíveis fósseis, através da gasolina e do diesel. Porém, com o avanço da tecnologia, já existem hoje alternativas sustentáveis, como os transportes movidos à base de eletricidade. Promover a popularização destes meios de transporte ao redor do globo irá levar a uma redução considerável nas emissões dos gases do efeito estufa, auxiliando no combate às mudanças climáticas.

As mudanças nos padrões de uso da terra também são essenciais: o desmatamento de florestas tropicais, como a Amazônia, reduz o amontado de carbono “sequestrado” nestes ambientes, uma vez que reduz a área verde, diminuindo as taxas de fotossíntese. Além disso, somado à agricultura, o desmatamento também é responsável por altas taxas de emissão de gases do efeito estufa, através da queima de resíduos agrícolas, preparo convencional do solo e o uso de combustíveis fósseis. Desta forma, a adoção de políticas visando reverter o desmatamento e incentivar uma agricultura de baixa emissão de carbono se faz necessária para alcançar o objetivo de redução na emissão de gases do efeito estufa.

Por fim, mas não menos importante, a igualdade de gênero e a garantia de direitos humanos básicos a população mundial não só promoveria maior resiliência às alterações climáticas, mas também diminuiria a poluição lançada na atmosfera e, conseqüentemente, a concentração de gases emitida. Oi? Como assim? Sim, é isso mesmo que você leu.

Isso acontece porque o crescimento populacional é a maior causa do aumento da demanda de processos emissores de gases – como o uso da terra e a produção de energia –, e ele se intensifica em locais onde as mulheres não conseguem estudar ou concluir seus estudos, não tem o controle sobre o próprio corpo e não tem acesso a um planejamento familiar. Em outras palavras, a educação promove autoconhecimento e empoderamento, o que leva as mulheres a administrar a sua própria saúde reprodutiva, e, na prática, a reduzirem o crescimento populacional, uma vez que mulheres com mais educação, com liberdade de escolha tendem a ter menos filhos. Além disso, as mulheres constituem um dos grupos mais vulneráveis aos desastres naturais, considerando que elas representam 72% dos pobres extremos no mundo. Desta forma, quanto maior for a escolaridade das mulheres, maior as oportunidades para que elas consigam quebrar ciclos de pobreza, diminuindo a vulnerabilidade a desastres ambientais.

Mudanças de hábitos

Falamos aqui de muitas coisas que devem ser feitas pelos nossos governantes e pela sociedade como um todo para reduzir as emissões de gases do efeito estufa e com isso amenizar os efeitos das mudanças climáticas. Mas o que nós podemos fazer no nosso dia a dia para ajudar?

- **Buscar reduzir seu consumo individual de energia elétrica ou de combustíveis:**

Quanto menos energia você gastar, menor é a demanda de energia que as companhias elétricas vão ter, e assim menos gases do efeito estufa serão emitidos para gerar energia!! Como fazer isso? Apagar a luz e tirar os eletrônicos da tomada quando não estiver utilizando são um bom começo!

- **Buscar consumir alimentos orgânicos e produzidos por agricultores familiares:**

Evitando o consumo de alimentos oriundos de grandes empresas, você não só incentiva a sustentabilidade e valoriza o trabalho de pequenos empresários, como ainda consome alimentos mais saudáveis (sem adição de agrotóxicos) e produzidos a partir de menores taxas de emissões de gases do efeito estufa!

- **Usar mais meios de transportes alternativos e/ou transportes público:**

Trocando o carro pela caminhada ou pela bicicleta, você não só contribui para a diminuição da emissão de gases como ainda pratica exercício físico – o que é muito bom para a sua saúde! Mas se você precisa ir para longe e essas não são uma opção, que tal buscar alternativas ao invés de ir de carro? Por exemplo, usar transportes públicos (se possíveis aqueles que não utilizam combustíveis fósseis, como o metrô, trem ou ônibus movidos a energia elétrica), ou ainda combinar com amigos de irem juntos no mesmo carro (ao invés de utilizarem dois carros e emitirem duas vezes mais gases).

- **Produzir menos lixo diariamente e facilitar que o lixo seja reciclado:**

Reduzir o quanto geramos de lixo e ajudar a facilitar a reciclagem de lixo é uma forma de contribuir para evitar que novas emissões de gases do efeito estufa sejam gerados na cadeia produtiva. Você pode fazer isso evitando usar materiais plásticos descartáveis, como copos e talheres, por exemplo!

- **Preservar a natureza!**

Vamos valorizar a nossa biodiversidade! Evite jogar lixo no chão, poluir as nossas praias, rios e florestas. Vamos tratar bem os nossos animais e respeitar a natureza! Ela é parte essencial do planeta, e sem ela nós não seríamos capazes de sobreviver!

- **Espalhar conhecimento!**

Muita gente não sabe ou não acredita nas mudanças climáticas, e por isso acabam não adotando medidas que podem ajudar bastante a reverter as previsões atuais. Além disso, muita gente tem medo dos répteis, e acabam matando estes animais ao invés de respeitar seu lugar na natureza. Por isso, não deixe nunca de falar sobre as coisas que você aprendeu! Conte para sua família, amigos, vizinhos, e lembre-se sempre: O planeta é nossa casa, e por isso precisamos cuidar dele!

E aí, posso contar com vocês?

Os répteis – e toda a biodiversidade do planeta – agradecem!!



Glossário

Biodiversidade – Conjunto de todas as espécies de seres vivos existentes no planeta Terra.

CO₂– Gás carbônico, principal gás do efeito estufa.

Combustíveis fósseis– Combustíveis gerados por processos naturais de decomposição de organismos. Estes combustíveis possuem elevadas taxas de carbono, utilizado no processo de queima para gerar energia.

Dispersão– Processo de locomoção de indivíduos em busca de um ambiente favorável para reproduzir e/ou se estabelecer.

Ectotermia– Mecanismo de regulação da temperatura corpórea a partir de fonte de calor externa ao corpo do animal.

Efeito estufa – Fenômeno natural de absorção da radiação solar e transformação em calor pela atmosfera.

Endotermia – Mecanismo de regulação interna da temperatura corpórea através da produção de calor pelo metabolismo.

Energia renovável– Energia gerada a partir de recursos naturais inesgotáveis, como sol, vento, chuva e marés.

Extinção em massa– Períodos temporais na escala geológica do tempo onde um grande número de espécies se extinguiu por conta de um ou mais fatores comuns.

Fotossíntese – Processo realizado pelas plantas para produção de energia.

Mudanças climáticas– Qualquer variação do clima ao longo do tempo, seja devido à fatores naturais ou por conta da influência humana.

Ovíparos – Animais cujo o embrião se desenvolve dentro de um ovo, em ambiente externo.

Painel internacional de mudanças climáticas– Órgão das Nações Unidas responsável por avaliar a ciência relacionada às Mudanças Climáticas.

Partenogênese – Desenvolvimento de um ser vivo a partir de um óvulo não fecundado, onde fêmeas procriam sem necessidade de machos para fecundarem seus óvulos.

Plasticidade fenotípica – Capacidade de um organismo de alterar sua fisiologia ou morfologia de acordo com as condições do ambiente.

Radiação eletromagnética – Ondas que se propagam no vácuo ou no ar transportando energia.

Revolução Industrial – Conjunto de mudanças que aconteceram na Europa que promoveu a transição de métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, através da queima de combustíveis fósseis.

Sequestro de carbono– Processo de remoção do CO₂ da atmosfera através da fotossíntese

Termoconformador– Animal ectotérmico que não termorregula ativamente, e, portanto, tem a temperatura corpórea próxima da temperatura do ambiente em que se encontra.

Termorregulação– Processo de regulação da temperatura do corpo por animais ectotérmicos, seja essa regulação ativa ou passiva.

Vivíparos – Animais cujo o embrião se desenvolve dentro do corpo da mãe.

9.3.5 As donas da ilha: Uma história real sobre as Mabuias de Noronha

Livreto a ser compartilhado no Arquipélago de Fernando de Noronha. Público alvo: Crianças e adolescentes em idade escolar.

Texto principal

Era uma vez uma ilha no meio do Oceano Atlântico, não muito perto do Brasil, mas bem longe de qualquer outro lugar. Agora era uma vez um lagartinho miúdo lá de Madagascar, que cansou da África e resolveu explorar o mundo.

Como foram parar na ilha, ninguém sabe. Mas antes mesmo do primeiro homem que pisou na ilha aparecer por lá, lá em 1503, essas criaturinhas enfrentaram uma jornada de mais de 3000 km de oceano até alcançarem seu litoral. Parece difícil, não?

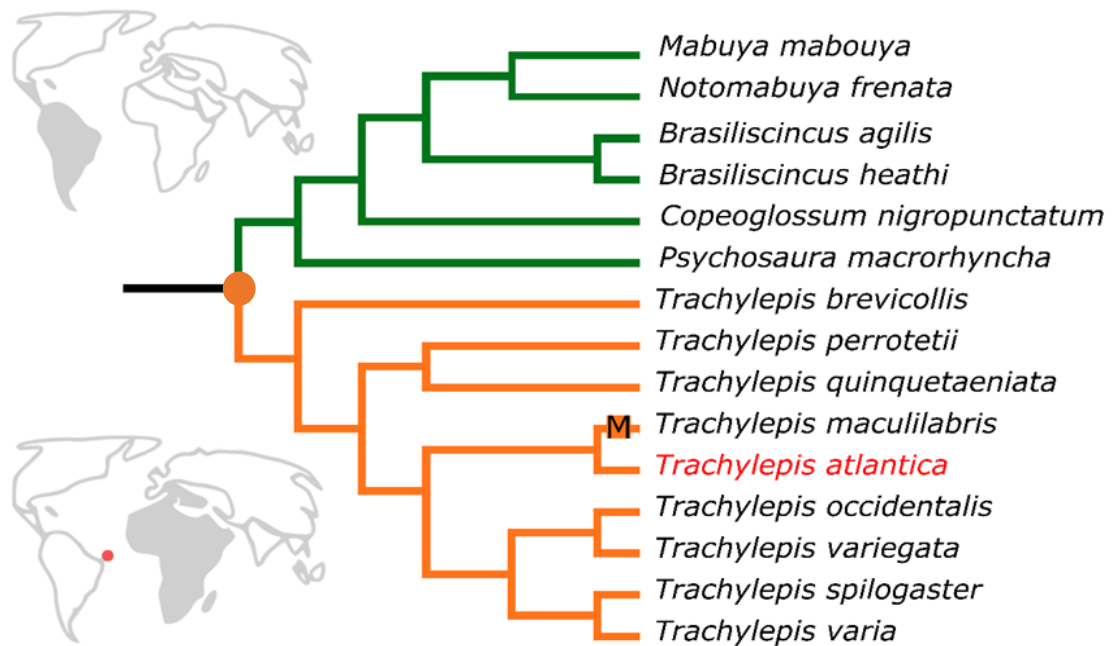
Hoje em dia, qualquer um que visita o Arquipélago de Fernando de Noronha sabe que a ilha é toda delas: as carismáticas “Mabuias de Noronha” estão em todos os lugares. Agora, uma coisa que você provavelmente ainda não sabe é que elas estão ameaçadas de extinção, e que isso pode acontecer em um curto prazo. Sim, isso mesmo! Elas podem sumir do mapa mais rápido do que a gente pensava. Quer entender melhor o porquê?



Vamos começar falando um pouquinho sobre quem é esse lagartinho carismático.

Todos os seres vivos conhecidos possuem um nome científico, que é como se fosse o nome e sobrenome da sua espécie, pelo qual o cientista consegue identificar toda a sua história de vida e seu grau de parentesco com as demais espécies existentes. Esse sistema de classificação começou lá no século XVIII, e vem sendo utilizado pelos cientistas desde então como uma forma de organizar as espécies e facilitar o seu estudo. O nome científico da espécie da “Mabuia de Noronha”, por exemplo, é *Trachylepis atlantica*, o que indica que ela é do gênero *Trachylepis*, da família Scincidae, subordem Lacertilia, ordem Squamata, classe Reptilia, reino Animalia. Viu quanta informação vinda de um único nome?

Como foi dito antes, a Mabuia de Noronha teve sua origem lá na África. Mas isso não significa que ela não tenha outros parentes no continente americano! Só no Brasil, existem outras 14 espécies da mesma família. A origem de todas elas também foi na África, mas a partir de um grupo diferente do que originou a Mabuia de Noronha.



Legenda: Essa é uma *árvore filogenética*, ou seja, uma representação das relações entre algumas espécies da família de lagartos Scincidae. A bolinha laranja indica a origem africana do grupo que inclui tanto as espécies do continente americano, em verde, quanto as demais espécies africanas e a Mabuia de Noronha. Nos mapas, é possível ver em cinza onde cada subgrupo ocorre atualmente, com o ponto vermelho representando a nossa espécie. Além disso, vale ressaltar que na árvore, a espécie mais próxima geneticamente da nossa Mabuia é a *Trachylepis maculinabris*, uma espécie nativa de Madagascar!

Como todo lagarto, a Mabuia tem escamas ao longo do corpo e é ectotérmica, o que significa que depende da temperatura do ambiente em que ela está para regular a sua própria temperatura e manter suas atividades diárias. Sendo assim, todos os aspectos da sua vida são influenciados pela temperatura do local onde ela vive, no caso, o arquipélago de Fernando de Noronha!

Por conta disso e por ser uma espécie diurna, é comum encontrar a Mabuia pegando um solzinho pela manhã, para fazer a regulação da temperatura do seu corpo. Desta forma, o que ela está fazendo é a chamada termorregulação ativa, ou seja, ela está regulando a sua temperatura para alcançar a temperatura ideal para realizar as suas atividades. Isso porque, como ela acabou de acordar, seu metabolismo ainda está lento, o que impede ela de ir em busca de alimento, se exercitar e buscar um parceiro, por exemplo. Por isso, ela precisa se aquecer para acelerar o metabolismo e conseguir fazer todas essas coisas.

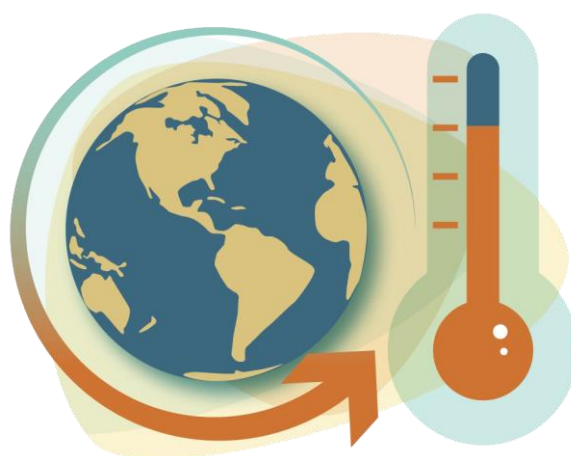


Essa termorregulação ativa no sol tem nome: helioterminia. Mas nem todo lagarto gosta de ficar pegando sol... Muitos preferem encontrar lugares quentinhos, como pedras e troncos caídos que foram aquecidos pelo sol anteriormente, para encostar seu corpo ou se expor ao calor do ar ali existente, fazer a termorregulação e alcançar essas temperaturas corpóreas que são boas para eles. A Mabuia de Noronha também faz isso: Nas horas mais quentes do dia, ao invés de ficar torrando no sol, ela busca áreas sombreadas e com temperaturas mais amenas. Caso elas precisem acelerar o metabolismo nessas horas, elas correm para pedras quentinhas, onde termorregulam sem precisar se expor ao sol quente e correr o risco de superaquecer.

A dependência da temperatura do ambiente para regular a temperatura do corpo é o que faz a Mabuia – e muitas outras espécies – ser afetada pelas mudanças climáticas*. Apesar da Mabuia termorregular ativamente para acelerar seu metabolismo, de maneira geral a temperatura do arquipélago já está alta demais para elas, o que faz com que a temperatura corpórea das Mabuias acabe eventualmente ultrapassando a sua temperatura ideal, mesmo com elas evitando o sol nos períodos mais quentes do dia. Com isso, o risco de superaquecimento vem aumentando continuamente para ela, o que pode ser perigoso para a sua sobrevivência.

* Mudanças Climáticas? O que é isso?

A temperatura da Terra varia naturalmente ao longo do tempo. Isso se dá por conta da concentração de gases na atmosfera que retém a radiação solar e devolve para o planeta em forma de calor. Esses são os chamados gases do *efeito estufa*, justamente por eles tornarem a Terra mais quentinha e habitável, da mesma forma que uma estufa faz. Essa variação cíclica da temperatura da Terra é, portanto, um processo natural, que não é causado pelo homem ou por qualquer outro organismo. O problema é que o homem, desde a descoberta dos combustíveis fósseis no século XVIII (como o petróleo, por exemplo), começou a aumentar a emissão desses gases, o que potencializou as mudanças climáticas naturais. É como jogar álcool em uma fogueira: você não está fazendo o fogo, mas sim tornando-o mais intenso. Desde então, o homem vem emitindo cada vez mais gases, o que tem intensificado cada vez mais o efeito estufa e, conseqüentemente, aumentando cada vez mais a temperatura da Terra.



As previsões para o futuro da ilha são alarmantes: pode ocorrer um aumento de quase 3 °C na temperatura até 2070, se não houver medidas que revertam essa tendência. Para a Mabuia, isso pode indicar não só que ela precisará ficar mais tempo na sombra ou reclusa em seu abrigo, mas, mais do que isso, que haverá períodos em que será impossível para ela se manter ativa, mesmo que longe do sol. De acordo com os cientistas, esses períodos podem chegar a até OITO horas em um dia! Considerando que a Mabuia normalmente está ativa fora de seu abrigo entre 6:00 e 18:00, isso significa que só restarão quatro horas de atividade para ela termorregular, buscar alimento, fazer a digestão, buscar um parceiro, se reproduzir, fugir de predadores... enfim, é praticamente impossível conseguir fazer tudo em tão pouco tempo. Por conta disso, o risco da espécie se extinguir no arquipélago é muito alto! De acordo com os cientistas, se as emissões de gases do efeito estufa se mantiverem nas taxas atuais, até 2070 as



Mabuias de Noronha não vão mais existir.

Triste, né? Mas ainda podemos reverter essa situação!

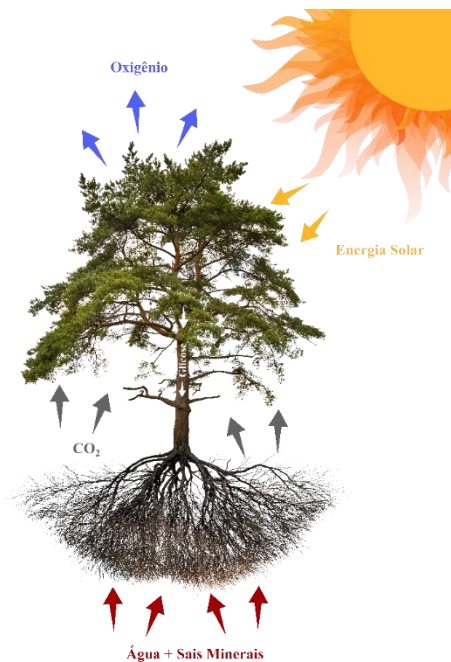
Existem muitas formas de ajudar a diminuir as emissões de gases do efeito estufa e, com isso, minimizar os efeitos das mudanças climáticas no arquipélago e salvar a Mabuia. Quer saber como? Aqui vão algumas dicas:

1. Plante uma árvore

Você sabia que as plantas utilizam o gás carbônico, principal gás do efeito estufa, como fonte de energia? Sim, basicamente elas retiram o gás da atmosfera, transformam ele em energia e liberam o oxigênio, gás que nós usamos para respirar! Elas também usam o



carbono para a estrutura do seu corpo, e aí conseguem imobilizar uma boa parcela daquele carbono da atmosfera. Além disso, elas também servem como um “guarda-sol” natural, aumentando a área sombreada e diminuindo assim a temperatura local. Por isso, quanto mais árvores no arquipélago, melhor!



2. Reduza seu consumo de energia elétrica

A companhia que fornece energia elétrica para o arquipélago utiliza o diesel, derivado do petróleo, como combustível principal. Isso significa que toda vez que você acende a luz, a queima desse combustível está liberando gases do efeito estufa para a atmosfera! Com isso, quanto menos energia você usar, menos gases irá emitir. Por isso, lembre-se sempre de apagar as luzes e de desligar os eletrodomésticos quando não estiver usando!



3. Consuma mais alimentos orgânicos e produzidos por agricultores familiares

Fazendo o consumo direto de alimentos oriundos de produtores rurais, você não só incentiva a sustentabilidade e valoriza o trabalho de pequenos empresários, como ainda consome alimentos mais saudáveis (sem adição de agrotóxicos) e produzidos a partir de menores taxas de emissões de gases do efeito estufa!



4. Produza menos lixo e facilite a reciclagem

Reduzir o quanto geramos de lixo e facilitar a reciclagem desse lixo é uma forma de contribuir para evitar que novas emissões de gases do efeito estufa sejam gerados na cadeia produtiva. Você pode fazer isso evitando usar materiais plásticos descartáveis, como copos e talheres, por exemplo!



5. Espalhe conhecimento!

Muita gente não sabe ou não acredita nas mudanças climáticas, e por isso acabam não adotando medidas que podem ajudar bastante a reverter as previsões atuais. Além disso, muita gente não faz ideia de que a carismática Mabuia, símbolo da ilha justamente por ser tão fácil de ser encontrada, pode estar ameaçada de extinção. Por isso, não deixe nunca de falar sobre as coisas que você aprendeu!

AINDA DÁ
TEMPO DE ME
AJUDAR!

POSSO CONTAR
COM VOCÊS?



9.3.6 Divulgação falada

A divulgação científica não se resume a capítulos de livros e artigos em revistas de divulgação. É importante falar sobre ciência para diferentes públicos, de modo a disseminar o conhecimento e mostrar a importância da ciência e de se fazer ciência. Pensando nisso, no decorrer dos dois anos em que desenvolvi o presente estudo, eu optei por buscar diferentes maneiras de falar sobre o meu trabalho, através de cursos de curta duração ministrados, seminários, palestras e mesas redondas, conforme descrito a seguir.

Cursos de curta duração

- Público alvo: Qualquer interessado pelo tema
 - ✓ Biologia dos Répteis brasileiros. Minicurso (12h). Ora Cursos Online, 2017.
 - ✓ Introdução à herpetologia: o estudo dos répteis e anfíbios (8h). Vivamar Cursos Livres, 2018.
- Público alvo: Profissionais, estudantes de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação em áreas afins.
 - ✓ Mudanças Climáticas e a vulnerabilidade da herpetofauna brasileira. (8h). Semana da Biologia UVA, Rio de Janeiro/RJ. Março/2017.
 - ✓ _____ (8h). BioSemana UFRJ, Rio de Janeiro/RJ. Março/2017.
 - ✓ Mudanças Climáticas e a vulnerabilidade dos lagartos da Amazônia. Palestra. Curso de Ecologia de Campo. Alta Floresta, MT. Julho/2017.
 - ✓ Modelagem da vulnerabilidade dos lagartos frente às mudanças climáticas. Minicurso (8h). Congresso Brasileiro de Herpetologia, Campo Grande/MS. Agosto/2017.
 - ✓ Vulnerabilidade animal frente às mudanças climáticas. Minicurso (8h). SemaBio UNB, Brasília/DF. Outubro/2017.
 - ✓ Mudanças climáticas e sua influência na vida animal: Uma perspectiva global. Semana Acadêmica da Biologia UFPR, Curitiba/PR Maio/2018.

Oficinas, pôsteres e apresentações orais

- Público alvo: Profissionais, estudantes de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação em áreas afins.
 - ✓ Introdução à linguagem R para estudos ecológicos. Oficina (4h). 7^a SNCT IFPR, Paranaguá, PR. Outubro/2017.

- ✓ Fisiologia térmica de Lagartos amazônicos. Apresentação oral. Congresso Brasileiro de Herpetologia, Campo Grande/MS. Agosto/2017.
- ✓ Thermal Physiology of Amazonian Lizards. Apresentação oral. OU/JCU Herpetology Symposium, John Carrol University, Cleveland, Ohio, Estados Unidos. Outubro/2018
- ✓ Are reptiles toast? A worldwide evaluation of the Lepidosaurians vulnerability to climate change. Apresentação oral. OU/JCU Herpetology Symposium, John Carrol University, Cleveland, Ohio, Estados Unidos. Outubro/2018
- ✓ Climate change implications on thermal biology and vulnerability of the African hallow in South America, the endemic skink *Trachylepis atlantica*. Poster. OU/JCU Herpetology Symposium, John Carrol University, Cleveland, Ohio, Estados Unidos. Outubro/2018.

Palestras e simpósios

- Público alvo: Qualquer interessado pelo tema
 - ✓ Aquecimento global: Uma ameaça aos répteis tropicais. Palestra. Projeto TAMAR, Fernando de Noronha, Pernambuco. Julho/2018 (Figura 1)
 - ✓ Mitigando os efeitos das mudanças climáticas em répteis tropicais: Qual o papel das unidades de conservação? Palestra. Quinta da Boa Prosa, ICMBio, Fernando de Noronha, Pernambuco. Julho/2018.

- Público alvo: Profissionais, estudantes de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação em áreas afins.
 - ✓ Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da herpetofauna brasileira. Palestra. 11ª Semana de Biologia UNIRIO, Rio de Janeiro/RJ. Abril/2017.
 - ✓ Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade dos Répteis Brasileiros. Simpósio. Congresso Brasileiro de Herpetologia, Campo Grande/MS. Agosto/2017.
 - ✓ Mudanças Climáticas e a vulnerabilidade dos lagartos da Amazônia. Palestra. Semana Acadêmica de Biologia Estácio, Petrópolis/RJ. Setembro/2017.
 - ✓ _____ Palestra. Conferências PPGEE UERJ, Rio de Janeiro/RJ. Setembro/2017.
 - ✓ _____ Palestra. 37ª Sembro UFRRJ, Seropédica, RJ. Outubro/2017.
 - ✓ Mudanças Climáticas e a vulnerabilidade da vida animal. Palestra. 7ª SNCT IFPR, Paranaguá, PR. Outubro/2017.

- ✓ Os impactos das mudanças climáticas nos biomas Brasileiros e sua capacidade adaptativa. Palestra. Semana de Biologia, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Abril/2018.
- ✓ Mudanças Climáticas: Passado, presente, futuro. Semana Acadêmica da Biologia UFPR, Curitiba, Paraná. Maio/2018.
- ✓ Are Amazonian lizards toast? A regional evaluation of species' vulnerability to climate change. In: Ecolunch, Ohio University, Athens, Ohio, Estados Unidos. Outubro/2018

Figura 99 – Aquecimento global: Uma ameaça aos répteis tropicais. Palestra. Projeto TAMAR, Fernando de Noronha, Pernambuco. Julho/2018



Fonte: A Autora.

9.4 Referências

- ALBAGLI, S. **Divulgação científica : informação científica para a cidadania ?** *Ciência e Informação*, [s.l.], v. 25, n° 3, p. 396–404, 1996.
- ANDRADE, A. J. P.; SILVA, N. M.; SOUZA, C. R. **As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar.** *Desenvolvimento e Meio ambiente*, [s.l.], v. 31, p. 77–96, 2014.
- BUENO, W. C. **Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais.** *Informação & Informação*, [s.l.], v. 15, p. 1–12, 2010. DOI: 10.5433/1981-8920.2010v15nesp.p1.
- CROSS, D.; THOMSON, S.; SINCLAIR, A. **Research in Brazil - A report for CAPES by Clarivate Analytics.** In: *Clarivate Analytics*. [s.l.]: [s.n.], 2018.
- DORVILLÉ, L. F. M.; SELLES, S. L. E. **Criacionismo: transformações históricas e implicações para o ensino de ciências e biologia.** *Cadernos de Pesquisa*, [s.l.], v. 46, n° 160, p. 442–465, 2016. ISSN: 0100-1574, DOI: 10.1590/198053143581.
- FLECK, C. F. **A tríade ensino-pesquisa-extensão e os vetores para o desenvolvimento regional.** *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, [s.l.], v. 7, n° 3, p. 270–298, 2016.
- FRANKE, I. L.; HACKBART, R. **Mudanças Climáticas: Vulnerabilidades Socioeconômicas e Ambientais e Políticas Públicas para a Adaptação no Brasil. IV Encontro Nacional da Anppas 4,5 e 6 de junho de 2008,** [s.l.], p. 2–26, 2008.
- IWAMA, Y. et al. **Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar.** [s.l.], 2016.
- PAOLILLO, J. C. **The Flat Earth phenomenon on YouTube.** *First Monday*, [s.l.], v. 23, n° 12, 2018.
- PAULA, A.; SATO, S. **What is the importance of vaccine hesitancy in the drop of vaccination coverage in Brazil ?** [s.l.], p. 1–9, 2018.
- SALA, O. **O papel da ciência na sociedade.** *Revista de História*, [s.l.], v. 50, n° 100, p. 813–820, 1974. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9141.rh.1974.132677>.
- SILVA, A. F.; FERREIRA, J. H.; VIEIRA, C. A. **O ensino de ciências no ensino fundamental e médio: reflexões e perspectivas sobre a educação transformadora.** *Revista Exitus*, [s.l.], v. 7, n° 2, p. 283–304, 2017. DOI: 10.24065/2237-9460.2017v7n2ID314.
- SIQUEIRA, C. C.; ROCHA, C. **Brazil ' s public universities in crisis.** *Science*, [s.l.], v. 356, n° 6340, p. 812, 2017.
- SLEUTJES, M. H. S. C. **Refletindo sobre os três pilares de sustentação das universidades : ensino-pesquisa-extensão *.** *Revista de Administração Pública*, [s.l.], v. 33,

n° 3, p. 99–101, 1999.

VALENÇA, M. L. **Comunicação Pública de Ciência – Um Guia para Cientistas**. 1-144 p. 2015.

CONCLUSÕES GERAIS

Os répteis são organismos ectotérmicos, e, portanto, dependem da temperatura do ambiente para regular a temperatura corpórea e manter seu metabolismo ativo. Por conta disso, são bons modelos para avaliar a influência das mudanças climáticas na biodiversidade, considerando que o grau de habilidade de um indivíduo em alcançar uma temperatura corpórea ótima através da termorregulação comportamental pode influenciar na sua capacidade de se adaptar às mudanças na temperatura.

O presente estudo foi subdividido em três partes com o intuito de guiar o leitor através das diferentes metodologias aplicadas, apresentando assim uma abordagem integrativa de avaliação dos efeitos das mudanças climáticas não somente nos répteis, que são os organismos focais do trabalho, mas também nos sistemas em que estão inseridos. Ademais, além dos produtos finais provenientes de cada uma das sete seções iniciais, os quais totalizaram oito manuscritos submetidos e/ou publicados em revistas científicas indexadas e de alto fator de impacto, o presente estudo buscou ainda gerar produtos para o público não especializado, permitindo assim a democratização da ciência.

O estudo começa com uma revisão bibliográfica robusta, a partir da qual foram gerados dois artigos científicos, publicados respectivamente na *Ecography*, revista Qualis A1 e Fator de Impacto 4,9, e *Journal of Thermal Biology*, Qualis A2 e fator de impacto 2,15. Nesta revisão, foi visto que o aspecto mais abordado na literatura que avalia a influência das mudanças climáticas em Lepidosauria é a distribuição das espécies, uma vez que este é na verdade o resultado de todos os demais tópicos abordados. Além disso, foi possível verificar que existe uma possível relação entre a filogenia dos Lepidosauria e a sua vulnerabilidade, considerando que há uma tendência ao aumento da vulnerabilidade em direção aos clados mais derivados. Por fim, foi visto que espécies de ambientes com diferentes características climáticas são igualmente vulneráveis, indicando que a vulnerabilidade das espécies não segue um padrão biogeográfico.

Após esta primeiraseção, o estudo se divide em três partes. A primeira delas avalia o impacto das mudanças climáticas no Arquipélago de Fernando de Noronha e na sua espécie endêmica de lagarto, *Trachylepis atlantica*. Nesta parte, foi visto que os padrões climáticos do arquipélago são passíveis de se inverterem, com a estação seca se tornando mais úmida e a estação úmida se tornando mais seca. Considerando um aumento de 1 m no nível do mar, também foi previsto que o arquipélago irá perder cerca de 35% da sua área terrestre total. Por

fim, foi visto que o lagarto endêmico de Fernando de Noronha é altamente vulnerável às mudanças climáticas, apresentando risco de se extinguir completamente até 2070 caso nenhuma medida de conservação da espécie seja tomada.

Na segunda parte da tese, mensurou-se o impacto das mudanças climáticas e as perspectivas políticas do Brasil na vulnerabilidade do bioma amazônico, além de avaliar a vulnerabilidade de répteis Squamata a nível de comunidade, espécie e população. Foi visto que os efeitos combinados das mudanças climáticas e as perspectivas políticas do Brasil podem levar a perdas irreversíveis na sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos, o que pode indicar um colapso iminente do ecossistema e consequentes implicações drásticas para a produtividade agrícola e manutenção humana. Além disso, foi visto que embora algumas espécies possam lidar com os efeitos das mudanças climáticas através de mudanças comportamentais, as áreas com maior convergência biótica de lagartos da Amazônia serão também as áreas que sofrerão a maior perda de adequabilidade térmica até 2070 devido às mudanças climáticas, reduzindo a probabilidade de ocorrência das espécies para até 40%. Por fim, a única espécie de serpente avaliada, *Corallus hortulanus*, aparenta também ser altamente vulnerável às mudanças climáticas, apresentando uma redução da área de ocorrência de até 90% dentro das unidades de conservação em que a espécie é passível de ocorrer.

Na última parte da tese, foram elaborados dois documentos com a síntese das informações contidas na primeira e na segunda parte da presente tese, com o intuito de disponibilizar o conhecimento gerado para os gestores das Unidades de Conservação do arquipélago de Fernando de Noronha e do bioma Amazônico. Desta forma, o documento poderá servir como base científica para que medidas conservacionistas sejam tomadas visando a preservação das espécies locais e do ecossistema em que elas estão inseridas. Além disso, foram elaborados ainda seis textos de divulgação científica, expostos na seção nove e em seu anexo, onde três deles serão publicados como capítulos de livro de divulgação científica (dois pela editora Na Raíz e um pela EdUERJ), um foi publicado na edição de fevereiro/2019 da revista Ciência Hoje das Crianças, e dois serão distribuídos em escolas públicas do Rio de Janeiro e de Fernando de Noronha em formato de cartilha educativa.

Desta forma, o presente estudo ofereceu uma síntese do estado atual do conhecimento acerca dos efeitos das mudanças climáticas nos répteis Lepidosauria, ressaltou pontos que ainda precisam ser estudados para que se tenha um real entendimento do assunto e, por fim, avaliou fatores bióticos e abióticos com o intuito de se ampliar este conhecimento em relação aos répteis Squamata da Amazônia e do Arquipélago de Fernando de Noronha. Desta forma,

as informações aqui obtidas iluminam o caminho para novos estudos a serem desenvolvidos em todo o mundo, e ressaltam a importância de se fazer ciência e de tornar essa ciência acessível para todos os públicos.