

# RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,  
o texto completo desta dissertação  
será disponibilizado somente a partir  
de 29/06/2020.

---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
(ZOOLOGIA)**

---

**DIVERSIDADE, DISTRIBUIÇÃO E EFEITO DAS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS SOBRE COMUNIDADES DE ANFÍBIOS DA MATA  
ATLÂNTICA**

**MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas - Zoologia.

**Junho - 2018**

MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE

DIVERSIDADE, DISTRIBUIÇÃO E EFEITO DAS MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS SOBRE COMUNIDADES DE ANFÍBIOS DA MATA  
ATLÂNTICA

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biociências do Câmpus de Rio Claro,  
Universidade Estadual Paulista, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Ciências Biológicas (Zoologia).

Orientador: Prof. Dr. Célio Fernando Baptista Haddad  
Coorientador: Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

Rio Claro  
2018

591 Vancine, Maurício Humberto  
V222d      Diversidade, distribuição e efeito das mudanças  
             climáticas sobre comunidades de anfíbios da Mata Atlântica /  
             Maurício Humberto Vancine. - Rio Claro, 2018  
             138 f. : il., figs., tabs., quadros

             Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
             Instituto de Biociências de Rio Claro  
             Orientador: Célio Fernando Baptista Haddad  
             Coorientador: Milton Cezar Ribeiro

             1. Zoologia. 2. Biodiversidade neotropical. 3. Bioma da  
             Mata Atlântica. 4. Comunidades de anfíbios. 5. Mudanças  
             climáticas. 6. Brachycephalus. I. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

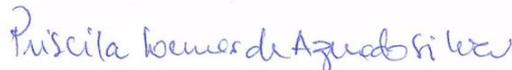
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Diversidade, Distribuição e Efeito das Mudanças Climáticas sobre Comunidades de Anfíbios da Mata Atlântica

**AUTOR: MAURÍCIO HUMBERTO VANCINE**  
**ORIENTADOR: CELIO FERNANDO BAPTISTA HADDAD**  
**COORIENTADOR: MILTON CEZAR RIBEIRO**  
**COORIENTADOR: OTSO TAPIO OVASKAINEN**

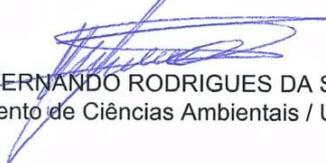
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CELIO FERNANDO BAPTISTA HADDAD  
Departamento de Zoologia / UNESP - Instituto de Biociências de Rio Claro - SP



Profa. Dra. PRISCILA LEMES DE AZEVEDO SILVA  
Departamento de Zoologia / UNESP



Prof. Dr. FERNANDO RODRIGUES DA SILVA  
Departamento de Ciências Ambientais / UFSCAR - Campus Sorocaba

Rio Claro, 29 de junho de 2018

A Lauren (Japa) Ono e ao Paulo Eduardo Ono Vancine (Dudu), que suportaram minha ausência física, mental e espiritual durante muitas noites e também nos feriados e finais de semana. Vocês são minha fonte de inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos Professores Célio e Miltinho pela orientação, confiança e principalmente paciência, já que eu atrasei todos os prazos de entrega possíveis...

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por parte da bolsa concedida.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, processo nº 2017/09676-8, por parte da bolsa concedida.

Aos amigos Fernanda Anez e Rafael Fávero por todo apoio e companhia.

Agradeço aos meus pais pelo amor e compreensão, principalmente sobre minha ausência durante os últimos meses pré-defesa.

Obrigado a todo(a)s (é muita gente para listar) do Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC), Laboratório de Herpetologia e Ecosystem Dynamics Observatory (EcoDyn), pela grande ajuda e paciência em responder às minhas dúvidas acadêmicas e existenciais.

Agradeço especialmente ao Thadeu Sobral-Souza e Jéssica Trujillo pela parceria e conversas durante o mestrado, fundamentais na reta final.

Agradeço especialmente ao Kauã, Paula, Danilo, Luana e Nayara, pela ajuda no início do mestrado, medindo mais de 2600 anuros...

Agradeço especialmente à Thais Condez e à Juliane Monteiro por compilar uma fantástica base de dados das ocorrências dos *Brachycephalus*.

Obrigado a todo(a)s os professore(a)s e pesquisadore(a)s que contribuíram enviando informações sobre as comunidades de anfíbios da Mata Atlântica.

Agradeço à Alexandra Elbakyan (mantenedora do SciHub), por prover acesso a grande parte dos trabalhos lidos para a elaboração dessa dissertação.

Agradeço ao Alexandre Beck (criador das tirinhas do Armandinho), que gentilmente informou a fonte e enviou-me a tirinha usada na epígrafe desta dissertação.

Finalmente agradeço à Lauren (Japa) Ono, companheira e amiga. Sua parceria completou quase dez anos durante esse mestrado. Acredite, sem você nada disso seria possível. Espero poder retribuir todo sua cumplicidade na sua pós-graduação. Te amo!

Agradeço especialmente ao Dudu, meu filho, pela paciência, carinho e compreensão nesse tempo que fiquei ausente ou estava visivelmente estressado. Não o fiz por mal. Irei me esforçar para estar cada dia mais presente no seu crescimento.



A PRESENÇA DELES É SINAL QUE O LOCAL NÃO ESTÁ POLUÍDO!



## RESUMO

As incertezas acerca da diversidade e distribuição de espécies é um dos principais desafios para a biologia da conservação. Dentre os hotspots mundiais de biodiversidade, a Mata Atlântica é considerada um dos biomas mais ameaçados devido, principalmente, à perda e fragmentação de habitat, mudanças climáticas e espécies invasoras. Entre essas ameaças, as projeções de cenários de mudanças climáticas têm se mostrado o principal agente de redução da biodiversidade, particularmente entre os anfíbios. Esse grupo é considerado um dos táxons mais sensíveis a essas alterações, devido às suas características particulares de morfologia, fisiologia e ecologia. Dessa forma, buscamos atingir dois objetivos nesse trabalho: 1) apresentar uma ampla compilação e avaliação da composição e distribuição das comunidades de anfíbios já inventariadas para o Bioma da Mata Atlântica, e 2) utilizando parte dos dados das comunidades, inferir como as mudanças climáticas poderão afetar a distribuição de anuros do gênero *Brachycephalus*, grupo considerado altamente sensível às alterações climáticas. Realizamos análises descritivas e espaciais das amostragens das comunidades de anfíbios para a Mata Atlântica e fizemos uso de Modelos de Nicho Ecológico para inferir a distribuição do gênero frente aos impactos das mudanças climáticas. No primeiro objetivo, não tivemos uma hipótese pré-definida, já que se tratou de uma compilação de dados. No segundo objetivo, nossa hipótese foi de que no futuro, haverá um aumento dos valores de adequabilidade aos *Brachycephalus* em regiões de maiores altitudes, onde provavelmente haverá pouca floresta disponível para a manutenção das populações das espécies desse gênero. Os resultados da compilação das amostragens de anfíbios gerou um panorama geral da diversidade, composição, métodos e esforço amostral das comunidades desse táxon para a Mata Atlântica. Em relação aos efeitos das mudanças climáticas, nossos resultados indicaram drásticas mudanças de adequabilidade do gênero *Brachycephalus* em distintas áreas do bioma. Quando relacionamos os valores de adequabilidade (atual e futura) com os valores de altitude, observamos que as regiões de altitude mais elevadas terão um aumento dos valores de adequabilidade, quando comparadas com as áreas atuais. No entanto, essas regiões mais elevadas (geralmente acima de 1500 m) não possuirão habitat florestal, colocando diversas espécies em sério risco de redução do tamanho populacional e/ou até mesmo extinções locais, principalmente as espécies com distribuição restritas.

**Palavras-chave:** Biodiversidade Neotropical. Bioma da Mata Atlântica. Comunidades de anfíbios. Mudanças climáticas. *Brachycephalus*.

## ABSTRACT

Uncertainties about species diversity and distribution are one of the major challenges for conservation biology. Among the world's biodiversity hotspots, the Atlantic Forest is considered one of the most threatened biomes, mainly due to the loss and fragmentation of habitats, climate changes and invasive species. Among these threats, projections of climate change scenarios have proven to be the main agent of biodiversity reduction, particularly among amphibians. This group is considered one of the most sensitive taxa to these alterations, due to their particular characteristics of morphology, physiology and ecology. Thus, we aim to achieve two objectives in this work: 1) to present a comprehensive compilation and evaluation of the composition and distribution of the amphibian communities already inventoried to the Atlantic Forest Biome, and 2) to use part of the data from the communities, to infer how climate change may affect the distribution of anurans of the genus *Brachycephalus*, a group considered highly sensitive to climate change. We performed descriptive and spatial analyzes of amphibian community samples for the Atlantic Forest and used Ecological Niche Models to infer the distribution of the genus in face of the impacts of climate change. In the first objective, we did not have a pre-defined hypothesis, since it was a compilation of data. For the second objective, our hypothesis was that in the future there will be an increase in *Brachycephalus* suitability values in regions of higher altitudes, where there will probably be little forest available for the maintenance of the populations of the species of this genus. The results of the compilation of the amphibian samples generated an overview of the diversity, composition, methods and sample effort of the communities of this taxon for the Atlantic Forest. Regarding the effects of climate change, our results indicated drastic changes in the suitability of the *Brachycephalus* genus in different areas of the biome. When we relate the values of suitability (current and future) with the altitude values, we observed that the higher altitude regions will have an increase in suitability values when compared to the current areas. However, these higher regions (generally above 1,500 m) will not have forest habitat, placing several species at serious risk of population size reduction and/or even local extinctions, especially species with restricted distribution.

**Keywords:** Neotropical Biodiversity. Atlantic Forest Biome. Amphibian Communities. Climate Changes. *Brachycephalus*.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS.....	15
ATLANTIC AMPHIBIANS: A DATASET OF AMPHIBIAN COMMUNITIES FROM THE ATLANTIC FORESTS OF SOUTH AMERICA.....	20
Introduction.....	22
METADATA.....	23
Class I. Data set descriptors.....	23
A. Data set identity.....	23
B. Data set identification code.....	24
C. Data set description.....	24
1. Originators.....	24
2. Abstract.....	24
D. Key words.....	25
E. Description.....	25
Class II. Research origin descriptors.....	36
A. Overall project description.....	36
1. Identity.....	37
2. Originators.....	37
3. Period of study.....	37
4. Objectives.....	37
5. Abstract.....	37
6. Sources of funding.....	37
B. Specific subproject description.....	37
1. Site description.....	37
2. Experimental or sampling design.....	38
a. Literature survey.....	38
3. Research methods.....	39
a. Literature data.....	39
b. Taxonomic and systematics.....	42
c. Statistical analyses.....	43
d. Data limitations and potential enhancements.....	43

Class III. Data set status and accessibility.....	45
A. Status.....	45
1. Latest update.....	45
2. Latest archive date.....	45
3. Metadata status.....	45
4. Data verification.....	45
B. Accessibility.....	46
1. Storage location and medium.....	46
2. Contact persons.....	46
3. Copyright restrictions.....	46
4. Proprietary restrictions.....	46
a. Release date.....	46
b. Citation.....	46
c. Disclaimer(s).....	46
5. Costs.....	46
Class IV. Data structural descriptors.....	46
A. Data set file.....	47
B. Variable information.....	47
C. Data anomalies.....	52
Class V. Supplemental descriptors.....	52
F. Publications and results.....	52
G. History of data set usage.....	52
Acknowledgments.....	53
Literature cited.....	53
CORRAM PARA AS COLINAS! EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE SAPOS MINIATURIZADOS DA MATA ATLÂNTICA.....	96
RESUMO.....	98
ABSTRACT.....	99
1 INTRODUÇÃO.....	100
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	102
2.1 Área de estudo.....	102
2.2 O gênero <i>Brachycephalus</i> .....	103
2.3 Variáveis ambientais.....	104

2.4 Modelos Nicho Ecológico.....	105
2.5 Mudanças na distribuição e persistência das espécies de <i>Brachycephalus</i> frente às mudanças climáticas.....	106
3 RESULTADOS.....	107
3.1 Modelos de Nicho Ecológico.....	107
3.2 Mudanças da distribuição do gênero <i>Brachycephalus</i> frente às mudanças climáticas....	110
3.3 Persistência das espécies.....	113
4 DISCUSSÃO.....	115
4.1 Efeito das mudanças climáticas e persistência das espécies.....	115
4.2 Pressupostos dos modelos.....	118
4.3 Considerações finais.....	118
REFERÊNCIAS.....	119
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	128
CONCLUSÕES FINAIS.....	138

## INTRODUÇÃO GERAL

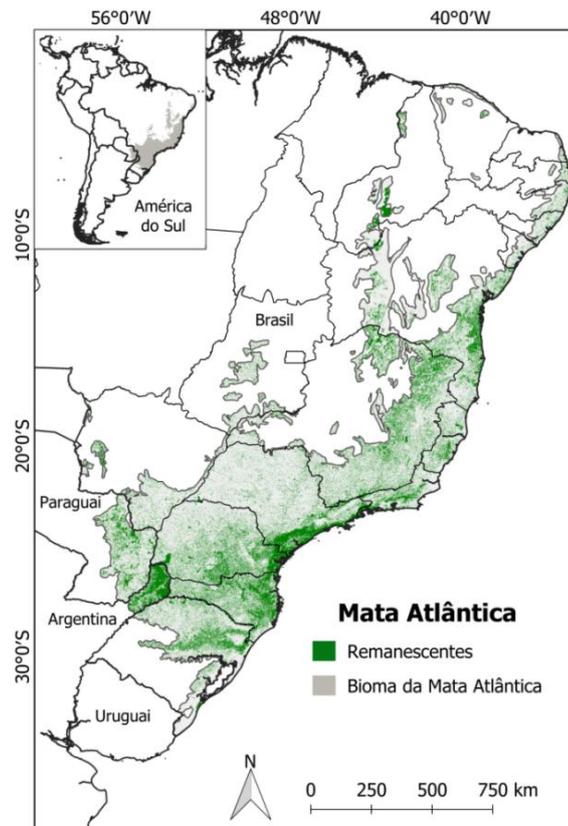
O conhecimento sobre a composição, diversidade e distribuição de espécies é fundamental para o desenvolvimento de estudos biogeográficos e macroecológicos, assim como auxiliar na tomada de decisões de conservação em amplas escalas espaciais (HORTAL et al., 2015). No entanto, a compreensão espacial do padrão de distribuição de espécies e dos processos ecológicos possui diversas incertezas, principalmente na região tropical, onde há elevado número de espécies e diversos vieses de coleta (OLIVEIRA et al., 2016). Hortal et al. (2015) listaram e classificaram essas incertezas sobre o conhecimento da biodiversidade em sete déficits ou lacunas: Linneano (taxonomia das espécies), Wallaceano (distribuição geográfica), Prestoniano (dinâmica populacional), Darwiniano (relações evolutivas), Raunkiærano (características funcionais), Hutchinsoniano (tolerâncias abióticas) e Eltoniano (interações ecológicas).

Tais lacunas de conhecimento possuem várias implicações para a compreensão da diversidade biológica, principalmente em relação a identidade e distribuição geográfica das espécies. Esses últimos possuem maior influência que as outras lacunas supracitadas, pois a identificação e distribuição das espécies são fatores fundamentais para determinar os padrões e processos que moldam a biodiversidade (e.g. áreas de endemismo ou processos de colonizações e extinções; HORTAL et al., 2015). Sendo assim, para diminuir essas incertezas, principalmente em relação ao conhecimento e distribuição das espécies, é necessário mapear e desenvolver estratégias para avaliar a qualidade e a quantidade dos dados já coletados. Esses mapeamentos, chamados de mapas de “ignorância” (incertezas), fornecem informações sobre a confiabilidade dos dados (ROCCHINI et al., 2011) e podem ser usados para identificar lacunas de conhecimento e/ou auxiliar na proposição de amplos projetos de pesquisa, como a implementação de novos inventários de comunidade de espécies (HORTAL; LOBO; JIMENEZ-VALVERDE, 2005).

As alterações advindas das atividades antrópicas, como as modificações do uso e cobertura da terra e as mudanças climáticas são apontadas como as principais causas de perda de biodiversidade em todo o mundo, agravando ainda mais o cenário de desconhecimento sobre a diversidade, uma vez que grande parte das espécies podem estar extintas (PARMESAN, 2006; HOF et al., 2011; BELLARD et al., 2012; SCHEFFERS et al., 2016). Dentre os hotspots mundiais de conservação, a Mata Atlântica é listada como uma das três regiões mais vulneráveis, devido às alterações no uso e cobertura da terra, mudanças climáticas e aos efeitos negativos de espécies invasoras (MITTERMEIER et al., 2011;

BELLARD et al., 2014). A Mata Atlântica sofreu intenso impacto antrópico e em 2005 possuía entre 11,4% e 16,0% de cobertura florestal original, com 80% de fragmentos menores que 50 hectares, isolados entre si e com baixo índice de conectividade (RIBEIRO et al., 2009). Estimativas atuais têm melhorado um pouco esse panorama, mas os dados ainda se mostram preocupantes, dado o alto impacto antrópico e a alta biodiversidade presente no bioma (RIBEIRO et al. em preparação, Figura 1).

**Figura 1** – Remanescentes de Mata Atlântica para o ano de 2015.



Fonte: elaborado pelo próprio autor. Limite integrativo do bioma proposto por Muylaert et al. (no preto) e remanescentes de Ribeiro et al. (em preparação).

Essas ameaças têm agravado o cenário de conhecimento e conservação da biodiversidade da Mata Atlântica, principalmente em relação ao grupo dos anfíbios, uma vez que o bioma detém uma enorme diversidade (625 espécies), sendo que 485 espécies (~77%) são endêmicas (JENKINS et al., 2015; ROSSA-FERES et al., 2017). Embora a diversidade e endemismo de anfíbios ainda seja elevada, o acentuado grau de perda florestal, fragmentação e conversão dos habitats em cultivos agrícolas, agropecuária, expansão dos centros urbanos e estradas, sugere que parte expressiva dessa diversidade animal já tenha sido perdida ao longo

do tempo (HADDAD et al., 2013; ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2015; ROSSA-FERES et al., 2017). Além disso, diversos estudos têm demonstrado os efeitos negativos das modificações da paisagem sobre a diversidade de anfíbios da Mata Atlântica, principalmente em relação a comunidades (DIXO; MARTINS, 2008; CONDEZ; SAWAYA; DIXO, 2009; ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2014; BRUSCAGIN et al., 2014; ALMEIDA-GOMES et al., 2016); diversidade funcional (ALMEIDA-GOMES; ROCHA, 2015); desconexão de habitat (BECKER et al. 2007; BECKER et al. 2010) e diversidade genética (DIXO et al., 2009), apesar desse último trabalho possuir resultados contrastantes.

Além dos efeitos das modificações da paisagem, diversas evidências têm apontado para os efeitos negativos diretos e indiretos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica e biodiversidade de anfíbios da Mata Atlântica (LEMES et al., 2014; LOYOLA et al., 2014). Primeiramente, Colombo e Joly (2010) relatam retração da distribuição potencial de espécies vegetais e os resultados de Zwiener et al. (2017) mostram que as mudanças climáticas podem levar à uma homogeneização das comunidades vegetais, diminuindo assim a diversidade das florestas do bioma, com efeitos indiretos sobre as espécies de anfíbios de habitat florestal. Além disso, Lemes et al. (2014) mostraram que as mudanças climáticas futuras causarão impactos diretos na perda de espécies de anuros dentro e fora de áreas protegidas da Mata Atlântica. Nesse sentido, Loyola et al. (2014) ressaltam ainda que além da perda de espécies de anuros no futuro, as mudanças climáticas poderão causar também a diminuição da diversidade filogenética de espécies com características mais derivadas, ressaltando o efeito das mudanças climáticas sobre os fatores evolutivos desse grupo no bioma.

Dentre o grupo dos tetrápodes, os anfíbios são listados como um dos táxons mais sensíveis às mudanças climáticas em virtude de suas características morfológicas, fisiológicas e ecológicas particulares (CUSHMAN, 2006; BLAUSTEIN et al., 2010; HOF et al. 2011; LI; COHEN; ROHR, 2013; CATENAZZI, 2015). Os anfíbios, em sua grande maioria, possuem tamanho corporal reduzido e baixa capacidade de locomoção, que limitam sua capacidade de dispersão (DUELLMAN; TRUEB, 1994; WELLS, 2007). Aliado a isso, a alta permeabilidade da pele para realizar diversas funções fisiológicas, como respiração, osmorregulação e termorregulação, ocasiona elevada sensibilidade às mudanças do ambiente, como dessecação e poluição, assim como pequenas mudanças das condições microclimáticas (DUELLMAN; TRUEB, 1994; WELLS, 2007). Em relação à sua ecologia, grande parte das espécies possui ciclo de vida bifásico (parte da vida em meio aquático e outra em meio terrestre), com alta dependência de umidade e/ou disponibilidade de água para sua manutenção fisiológica e

reprodução, além da necessidade de transição de um habitat para o outro – muitas espécies possuem fase larval aquática e fase pós-metamórfica terrestre (DUELLMAN; TRUEB, 1994; BECKER et al., 2007; BECKER et al., 2010a). Além disso, a alta diversidade e especialidade de modos reprodutivos desse táxon os tornam estritamente dependentes de micro-habitats específicos para a reprodução (HADDAD; PRADO, 2005).

Entre as espécies de anfíbios mais ameaçadas pelas mudanças climáticas no Bioma da Mata Atlântica, encontram-se os anuros do gênero *Brachycephalus* (HADDAD, GIOVANELLI; ALEXANDRINO, 2008). Esse gênero é endêmico de regiões montanhosas da Mata Atlântica brasileira, ocorrendo desde o sul do estado da Bahia até o centro-leste do estado de Santa Catarina (NAPOLI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2015), e habitam principalmente a serrapilheira das florestas nebulares, também conhecidas como *Tropical Montane Cloud Forests* (BRUIJNZEEL; SCATENA; HAMILTON, 2010; BRUIJNZEEL; MULLIGAN; SCATENA, 2011; FALKENBERG; VOLTOLINI, 1994; POMPEU et al., 2018). As espécies desse gênero são dependentes da umidade trazida pelas nuvens, que molda um micro-habitat específico para sua ocorrência. Entretanto, estimativas de previsões das mudanças climáticas indicam que grande parte desse banco de nuvens irá migrar para regiões mais elevadas, diminuindo assim a umidade da serrapilheira (FOSTER, 2001; NADKARNI; SOLANO, 2002; MULLIGAN, 2010). Essas mudanças podem ameaçar as populações de *Brachycephalus* nesses ambientes, que dificilmente irão acompanhar o banco de nuvens para regiões mais elevadas (HADDAD, GIOVANELLI; ALEXANDRINO, 2008).

Nesse estudo, estruturado em dois capítulos, apresentamos primeiramente uma ampla compilação e avaliação da composição e distribuição das amostragens de comunidades de anfíbios para o Bioma da Mata Atlântica, a fim de preencher as lacunas Linneana e Wallaceana (HORTAL et al., 2015) desse grupo para esse bioma. No segundo capítulo, apresentamos uma aplicação dos dados do primeiro, inferindo como as mudanças climáticas poderão afetar a distribuição de anuros do gênero *Brachycephalus* para diversos cenários de emissões de CO<sub>2</sub> (HADDAD; GIOVANELLI; ALEXANDRINO, 2008; CORTES, 2011). Sendo assim, as respostas desse estudo podem fornecer subsídios para melhorar as proposições de conservação e restauração desse bioma, como já tem sido feito em Ribeiro et al. (2011) e Tambosi et al. (2014), além de poder direcionar melhor as tomadas de decisão de conservação realizadas em escala macroecológica, como bioma e/ou país, principalmente em relação aos anfíbios (BECKER et al., 2010b; LOYOLA et al., 2008, 2013, 2015; LEMES; LOYOLA, 2013; CAMPOS et al., 2017).

Para a realização desse trabalho, utilizamos análises descritivas e espaciais das

amostragens das comunidades de anfíbios para toda a Mata Atlântica. Para inferir o efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição do gênero *Brachycephalus*, utilizamos Modelos de Nicho Ecológico (*Ecological Niche Modeling*), adotando a abordagem de consenso (*ensemble*), baseados em variáveis climáticas do futuro, para três períodos temporais (presente, 2050 e 2070) e dois cenários de projeções de mudanças climáticas, segundo o IPCC (ARAÚJO; NEW, 2007; DINIZ-FILHO et al., 2009; QIAO et al. 2015, GUIBAN et al. 2017).

A compilação dos dados de comunidades de anfíbios da Mata Atlântica gerou um panorama geral da diversidade, composição de espécies, métodos e esforço amostral desse táxon para o bioma. Este conjunto de dados representa um esforço significativo para preencher uma grande lacuna de conhecimento acerca da biodiversidade de anfíbios na Região Neotropical. Esperamos que esta compilação possa servir de subsídio para a conservação desse grupo, além de ser uma fonte de dados importante para outros estudos que abordem tópicos de distribuição espacial de organismos em diferentes escalas espaciais. Além disso, esses dados podem ser utilizados em inúmeros outros trabalhos focados principalmente em ecologia de comunidades ou mesmo em novos modelos de nicho ecológico para prever comunidades potenciais (DA SILVA; ALMEIDA-NETO; ARENA, 2014; GUIBAN; RAHBEK, 2011).

Os resultados dos efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição do gênero *Brachycephalus* demonstraram uma drástica redução da adequabilidade em diversas áreas do bioma. Em contrapartida, áreas mais elevadas tiveram um aumento da adequabilidade em relação aos valores do presente, principalmente em regiões com pouca floresta habitável. Dessa forma, algumas espécies do gênero *Brachycephalus* possivelmente terão suas populações reduzidas e/ou sofrerão extinções locais, principalmente as espécies com distribuição restrita.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-GOMES, M; ROCHA, C. F. D. Landscape connectivity may explain anuran species distribution in an Atlantic Forest fragmented area. **Landscape Ecology**, v. 29, p. 29-40, 2014.
- ALMEIDA-GOMES, M; ROCHA, C. F. D. Habitat loss reduces the diversity of frog reproductive modes in an Atlantic Forest fragmented landscape. **Biotropica**, v. 47, n. 1, p. 113-118, 2015.
- ALMEIDA-GOMES, M. et al. Patch size matters for amphibians in tropical fragmented landscapes. **Biological Conservation**, v. 195, p. 89-96, 2016.

- ARAÚJO, M. B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, p. 42-47, 2007.
- BECKER, C. G. et al. Habitat split and the global decline of amphibians. **Science**, v. 318, p. 1775-1777, 2007.
- BECKER, C. G. et al. Habitat split as a cause of local population declines of amphibians with aquatic larvae. **Conservation Biology**, v. 24, n. 1, p. 287-294, 2010a.
- BECKER, C. G. et al. Integrating species life-history traits and patterns of deforestation in amphibian conservation planning. **Diversity and Distributions**, v. 16, p. 10-19, 2010b.
- BELLARD, C. et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, p. 365-377, 2012.
- BELLARD, C. et al. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, p. 1376-1386, 2014.
- BLAUSTEIN, A. R. et al. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. **Diversity**, v. 2, p. 281-313, 2010.
- BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F.; HAMILTON, L. Tropical montane cloud forests: science for conservation and management. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- BRUIJNZEEL, L. A.; MULLIGAN, M.; SCATENA, F. N. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, v. 25, p. 465-498, 2011.
- BRUSCAGIN, R. T. et al. Diversity of leaf-litter anurans in a fragmented landscape of the Atlantic Plateau of São Paulo State, southeastern Brazil. **Journal of Natural History**, v. 48, p. 1-16, 2014.
- CAMPOS, F. S. et al. Cost-effective conservation of amphibian ecology and evolution. **Science Advances**, v. 3, p. e1602929, 2017.
- CATENAZZI, A. State of the world's amphibians. **Annual Review of Environmental and Resources**, v. 40, p. 91-119, 2015.
- COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 697-708, 2010.
- CONDEZ, T. H.; SAWAYA, R. J.; DIXO, M. Herpetofauna dos remanescentes de Mata Atlântica da região de Tapiraí e Piedade, SP, sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 1, p. 157-186, 2009.
- CORTES, J. P. S. **Estimativa dos impactos das mudanças climáticas na distribuição das espécies montanas do gênero *Brachycephalus* (Amphibia: anura) através da modelagem de nicho ecológico**. 2011. 48 f. Tese de Conclusão de Curso (Curso de Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro, Rio Claro, São Paulo, 2011.

CUSHMAN, S. A. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. **Biological Conservation**, v. 128, n. 2, p. 231-240, 2006.

DA SILVA F. R.; ALMEIDA-NETO M.; ARENA, M. V. N. Amphibian beta diversity in the Brazilian Atlantic forest: contrasting the roles of historical events and contemporary conditions at different spatial scales. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, p. e109642, 2014.

DINIZ-FILHO, J. A. F. et al. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. **Ecography**, v. 32, p. 897-906, 2009.

DIXO, M; MARTINS, M. Are leaf-litter frogs and lizards affected by edge effects due to forest fragmentation in Brazilian Atlantic Forest? **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, n. 5, p. 551-554, 2008.

DIXO, M. et al. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1560-1569, 2009.

DUELLMAN, W. E.; TRUEB, L. **Biology of amphibians**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994.

FALKENBERG, D. B.; VOLTOLINI, J. C. The Montane Cloud Forest in Southern Brazil. In: LAWRENCE S. HAMILTON, L. A.; JUVIK, J. O; SCATENA, F. N. **Tropical Montane Cloud Forests**. New York: Springer-Verlag New York, Inc., 1995, p. 138-149.

FOSTER, P. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. **Earth-Science Reviews**, v. 55, p. 73-106, 2001.

GUISAN, A. et al. **Habitat Suitability and Distribution Models**: with applications in R. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

GUISAN, A.; RAHBEK, C. SESAM – a new framework integrating macroecological and species distribution models for predicting spatio-temporal patterns of species assemblages. **Journal of Biogeography**, v. 38, p. 1433-1444, 2011.

HADDAD, C. B. F. et al. **Guia dos Anfíbios da Mata Atlântica: Diversidade e Biologia**. 1. ed. Anolis Books Editora, 2013.

HADDAD, C. F. B.; GIOVANELLI, J. G. R.; ALEXANDRINO, J. M. B. O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. In: BUCKERIDGE, M. (Org.). **A biologia e as mudanças climáticas no Brasil**. 1ed. São Carlos: RIMA, 2008, v. 1, p. 195-206.

HADDAD, C. F. B.; PRADO, C. P. A. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience**, v. 55, p. 207-217, 2005.

HOF, C. et al. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. **Nature**, v. 480, p. 516-519, 2011.

HORTAL, J.; LOBO, J. M.; JIMENEZ-VALVERDE, A. Limitations of biodiversity databases: case study on seed-plant diversity in Tenerife, Canary Islands. **Conservation**

**Biology**, v. 21, n. 3, p. 853-863, 2007.

HORTAL, J. et al. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 46, p. 523-549, 2015.

JENKINS, C. N. et al. Patterns of vertebrate diversity and protection in Brazil. **PLoS ONE**, v. 10, n. 12, p. e0145064, 2015.

LEMES, P.; LOYOLA, R. D. Accommodating species climate-forced dispersal and uncertainties in spatial conservation planning. **PLoS ONE**, v. 8, p. e54323, 2013.

LEMES, P. et al. Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, p. 357-368, 2014.

LI, Y.; COHEN, J. M.; ROHR, J. R. Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. **Integrative Zoology**, v. 8, n. 2, p. 145-161, 2013.

LOYOLA, R. D. et al. Hung out to dry: choice of priority ecoregions for conserving threatened Neotropical anurans depends on life-history traits. **PLoS ONE**, v. 3, p. e2120, 2008.

LOYOLA, R. D. et al. A straightforward conceptual approach for evaluating spatial conservation priorities under climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 22, p. 483-495, 2013.

LOYOLA, R. D. et al. Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. **Ecography**, v. 37, p. 65-72, 2014.

LOYOLA, R. D. et al. Amphibians in a changing world: a global look at their conservation status. **FrogLog**, v. 116, p. 30-31, 2015.

MITTERMEIER, R. A. et al. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: ZACHOS, F. E.; HABEL, J. C. (Ed). **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verla, 2011. p. 2-22.

MULLIGAN, M. Modelling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. In: BRUIJNZEEL, L. A.; SCATENA, F. N.; HAMILTON, L. S. (Ed). **Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010, p. 14-38.

MUYLAERT, R. L., et al. Limites territoriais inclusivos para estudos ecológicos e biogeográficos na Mata Atlântica. *Oecologia Australis* (no prelo).

NADKARNI, N. M.; SOLANO, R. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. **Oecologia**, v. 131, p. 580-586, 2002.

NAPOLI, M. F. et al. A new species of flea-toad, genus *Brachycephalus* Fitzinger (Amphibia: Anura: Brachycephalidae), from the Atlantic rainforest of southern Bahia, Brazil. **Zootaxa**, v. 2739, p. 33-40, 2011.

OLIVEIRA, U. et al. The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity. **Diversity and Distributions**, v. 22, p. 1232-1244, 2016.

PARMESAN, C. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 37, p. 637-669, 2006.

POMPEU, P. V. et al. Assessing Atlantic cloud forest extent and protection status in southeastern Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 43, p. 146-155, 2018

PÜTZ, S. et al. Long-term carbon loss in fragmented Neotropical forests. **Nature Communications**, v. 5, p. 5037, 2014.

QIAO, H. et al. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 1126–1136, 2015.

RIBEIRO, L. F. et al. Seven new microendemic species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. **PeerJ**, v. 3 (e1011), p. 1-36, 2015

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: ZACHOS, F. E.; HABE, J. C. (Ed.). **Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas**. 1 ed. Heidelberg: Springer-Verla, 2011. p. 405-434.

RIBEIRO, M. C. et al. ATLANTIC SPATIAL: a dataset of spatial variables from the Atlantic Forest of South America (em preparação).

ROCCHINI, D. et al. Accounting for uncertainty when mapping species distributions: the need for maps of ignorance. **Progress in Physical Geography**, v. 35, p. 211-226, 2011.

ROSSA-FERES, D. C. et al. Anfíbios da Mata Atlântica: lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação. In: MONTEIRO-FILHO, E. L. A.; CONTE, C. E. (Ed.). **Revisões em zoologia: Mata Atlântica**. Curitiba: Ed. UFPR, 2017. p. 237-314.

SCHEFFERS, B. R. et al. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v. 354, n. 6313, p. aaf7671, 2016.

TAMBOSI, L. R. et al. A framework to optimize biodiversity restoration efforts based on habitat amount and landscape connectivity. **Restoration Ecology**, v. 22, n. 2, p. 169-177, 2014.

WELLS, K. D. **The ecology and behavior of amphibians**. 1 ed. Chicago: University of Chicago Press, 2007.

ZWIENER, V. P. et al. Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. **Global Ecology and Biogeography**, v. 00, p. 1-12, 2017.

## CONCLUSÕES FINAIS

- A compilação dos dados de comunidades de anfíbios da Mata Atlântica gerou um panorama geral da diversidade, composição de espécies, métodos e esforço amostral para esse táxon no bioma, preenchendo assim uma grande lacuna de conhecimento acerca da biodiversidade de anfíbios na Região Neotropical.
- Notamos diversas lacunas de amostragem ao longo do bioma, principalmente nos leste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, oeste do Paraná e São Paulo, sul do Mato Grosso do Sul, sudeste, norte e nordeste de Minas Gerais, assim como regiões interiores dos estados da Bahia e Goiás. Essas regiões ainda possuem relativa quantidade de floresta e podem ser novos locais potenciais de amostragens de comunidades de anfíbios.
- Em relação ao gênero *Brachycephalus*, nossos resultados nos levam a crer que grande parte das espécies desse gênero podem estar à mercê dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Além disso, comprovamos que as áreas adequadas no futuro se localizarão em porções mais elevadas do bioma, com grandes perdas de adequabilidade em todos os cenários analisados.
- Encontramos ainda que essas novas áreas adequadas, em sua maior parte não possuirão habitat florestal para manter as populações de espécies de *Brachycephalus* e, também, não sabemos se os indivíduos dessas espécies conseguirão migrar para essas áreas, dado sua baixa vagilidade, ainda mais no sentido a montante das vertentes. Dessa forma, é necessário o monitoramento do tamanho de suas populações como uma principais medidas de conservação.