

---

**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.

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.



Alexandre Beck 2390/17

Fonte: DIÁRIO CATARINENSE, 2017.

## 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

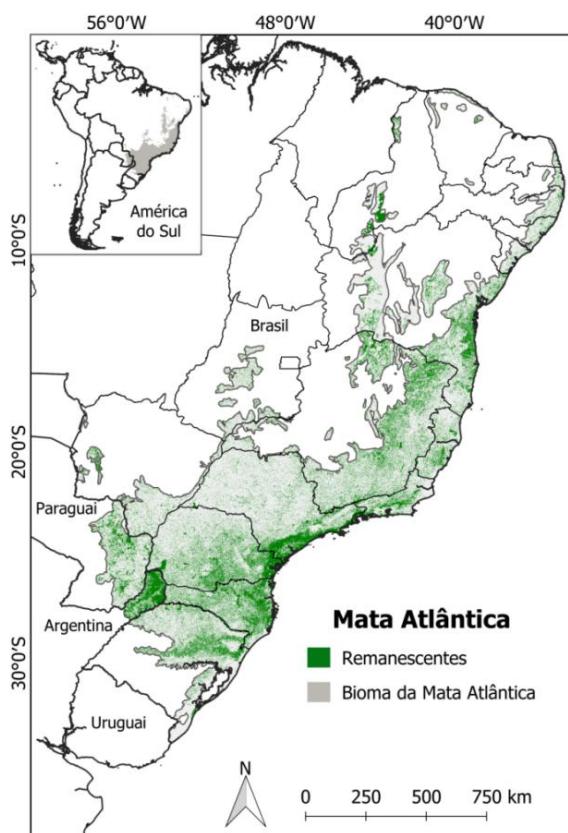
O conhecimento sobre a composição, diversidade e distribuição de espécies é fundamental para o desenvolvimento de estudos biogeográficos e macroecológicos, assim como auxiliar na tomada de decisões de conservação em amplas escalas espaciais (HORTAL et al., 2015). No entanto, a compreensão espacial do 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 prelo) 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, GUISAN 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; GUISAN; 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.

## CAPÍTULO I

### ATLANTIC AMPHIBIANS: A DATASET OF AMPHIBIAN COMMUNITIES FROM THE ATLANTIC FORESTS OF SOUTH AMERICA

Maurício Humberto Vancine, Kauã da Silva Duarte, Yuri Silva de Souza, João Gabriel Ribeiro Giovanelli, Paulo Mateus Martins Sobrinho, Ariel López, Rafael Parelli Bovo, Fábio Maffei, Marília Bruzzi Lion, José Wagner Ribeiro Júnior, Ricardo Brassaloti, Carolina Ortiz Rocha da Costa, Henrique Oliveira Sawakuchi, Jaime Bertoluci, Lucas Rodriguez Forti, Pier Cacciali, Célio Fernando Baptista Haddad, Milton Cezar Ribeiro

Type of manuscript: Article

(ACEITO NA REVISTA ECOLOGY EM 18 DE MARÇO DE 2018)

**ATLANTIC AMPHIBIANS: A DATASET OF AMPHIBIAN COMMUNITIES FROM THE ATLANTIC FORESTS OF SOUTH AMERICA**

Maurício Humberto Vancine<sup>1,2,\*</sup> (0000-0001-9650-7575), Kauã da Silva Duarte<sup>1,\*</sup> (0000-0002-0564-2104), Yuri Silva de Souza<sup>3</sup> (0000-0002-2133-0469), João Gabriel Ribeiro Giovanelli<sup>2</sup> (0000-0002-7314-9442), Paulo Mateus Martins-Sobrinho<sup>4</sup> (0000-0003-2780-2604), Ariel López<sup>5</sup>, Rafael Parelli Bovo<sup>6</sup> (0000-0003-4345-6430), Fábio Maffei<sup>7</sup> (0000-0001-7320-1602), Marília Bruzzi Lion<sup>8</sup>, José Wagner Ribeiro Júnior<sup>9</sup> (0000-0003-3438-6936), Ricardo Brassaloti<sup>10</sup> (0000-0002-3880-1263), Carolina Ortiz Rocha da Costa<sup>11</sup>, Henrique Oliveira Sawakuchi<sup>12</sup> (0000-0002-6815-7261), Lucas Rodriguez Forti<sup>13</sup> (0000-0003-3057-2141), Pier Cacciali<sup>14,15</sup> (0000-0002-3263-8813), Jaime Bertoluci<sup>16</sup>, Célio Fernando Baptista Haddad<sup>2,\*</sup> (0000-0003-1057-5660), Milton Cezar Ribeiro<sup>1,\*</sup> (0000-0002-4312-202X)

\* Correspondence and request for material should be addressed to Maurício Humberto Vancine ([mauricio.vancine@gmail.com](mailto:mauricio.vancine@gmail.com)), Kauã da Silva Duarte ([kauaduarte@gmail.com](mailto:kauaduarte@gmail.com)), Célio Fernando Baptista Haddad ([haddad1000@gmail.com](mailto:haddad1000@gmail.com)), or Milton Cezar Ribeiro ([miltinho.astronauta@gmail.com](mailto:miltinho.astronauta@gmail.com)).

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Rio Claro, Brazil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia e Centro de Aquicultura (CAUNESP), Rio Claro, SP, Brazil

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ciência do Sistema Terrestre, Rio Claro, SP, Brazil

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Laboratório de Ecologia Filogenética e Funcional, Departamento de Biologia, Recife, PE, Brasil

<sup>5</sup> INMeT - Instituto Nacional de Medicina Tropical Puerto Iguazú, Misiones, Argentina

<sup>6</sup> Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Biociências, Departamento de Fisiologia, Laboratório de Ecofisiologia e Fisiologia Evolutiva (LEFE), São Paulo, SP, Brazil

<sup>7</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Bauru, SP, Brazil

<sup>8</sup> Departamento de Ecologia, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN, 59072-970, Brazil

<sup>9</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Rio Claro, Brazil

<sup>10</sup> Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Zootecnia, Laboratório de Biotecnologia Animal, Piracicaba, SP, Brazil

<sup>11</sup> Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia, Evolução e Conservação de Anfíbios e Répteis (LabVert). São Paulo, SP, Brasil

<sup>12</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brazil

<sup>13</sup> Laboratório de História Natural de Anfíbios Brasileiros (LaHNAB) e Laboratório Multusuário de Bioacústica (LMBio), Departamento de Biología Animal, Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), Brazil

<sup>14</sup> Instituto de Investigación Biológica del Paraguay, Del Escudo 1607, 1425 Asunción, Paraguay

<sup>15</sup> Pesquisador associado, Guyra Paraguay Association, Av. Cnel. Carlos Dome, Capital Verde Parque Ecológico - Viñas Cué, Assunção, Paraguai

<sup>16</sup> Universidade de São Paulo (USP), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Biológicas, Piracicaba, SP, Brazil

## Introduction

More than 7,700 amphibian species from around the world have been described (Frost 2017). Among all living vertebrates, amphibians have the widest diversity of reproductive modes (Haddad and Prado 2005, Zamudio et al. 2016), and they are currently the most threatened vertebrate group: over 30% of the world's amphibian species are formally classified as threatened by IUCN and for another 25%, data is insufficient to assess their threat status (Catenazzi 2015, IUCN 2017). Amphibians are highly sensitive to landscape modifications such as habitat loss and fragmentation (Cushman 2006, Nowakowski et al. 2017), and climate change (Hof et al. 2011, Catenazzi 2015). In some geographic areas, they are also affected by emerging diseases (Carey et al. 1999, Paré 2003), including past declines of amphibian populations in Atlantic Forest Biome, associated with spatial distribution and emerging fungal disease (Carvalho et al. 2017). Their susceptibility to such impacts occurs mainly due to (a) small body size and low vagility (Wells 2007); (b) highly permeable skin for numerous functions including respiration, osmoregulation, thermoregulation, protection, reproduction, and communication (Duellman and Trueb 1994, Wells 2007); (c) the need of specific microhabitats related to their reproductive modes (e.g., Haddad and Prado 2005, Zamudio et al. 2016); and (d) a biphasic life cycle in most species (Becker et al. 2007, Becker et al. 2010).

Since the 1970s, amphibian populations have been declining around the planet, and extinctions are increasingly being documented in several countries (Stuart et al. 2004, Eterovick et al. 2005, Wake and Vredenburg 2008). The leading reasons for the decline include habitat loss and fragmentation, global warming, introduction of exotic species, UV-B radiation, chemical pollution, and infectious diseases (Young et al. 2001, Blaustein and Kiesecker 2002, Collins and Storfer 2003, Blaustein and Bancroft 2007). These facts highlight amphibians' importance, since their decline may indicate a serious change or even loss of ecological functions due to alterations in aquatic and terrestrial ecosystems (Whiles et al.

2006, Collins et al. 2009, Mohneke and Rödel 2009).

The Atlantic Forest Biome is considered a global hotspot for conservation priorities, with special attention on land use modifications, climate change, and invasive species (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2011, Bellard et al. 2014, Joly et al. 2014). This biome is composed of two main types of phytophysiognomy: Dense Ombrophilous Forest and the Semideciduous Seasonal Forest (Morellato and Haddad 2000). Some other vegetation types can also be found in the transition zones with Cerrado, Pampa, Pantanal and Caatinga Biomes (Ribeiro et al. 2009). The Atlantic Forest has 625 species of amphibians and 485 (about 77%) of these are endemic (Rossa-Feres et al. 2017). This high number of species and endemism in these vegetation formations can be explained by (i) the great environmental heterogeneity that allowed the reproductive specialization of different species throughout the course of evolution, the microenvironment being a powerful selective force favoring the environmental specialization and speciation of anurans (Haddad and Prado 2005); and (ii) the widespread mountainous terrain, which contributed to the speciation process by functioning as a physical barrier to the gene flow between populations (Haddad et al. 2013, Rossa-Feres et al. 2017).

Despite the great diversity of species, only between 11.4% and 16% of original Atlantic Forest vegetation remains (Ribeiro et al. 2009). According to these authors, 80% of the remaining fragments are smaller than 50 hectares and poorly connected to larger forests. In this critical scenario, a comprehensive dataset that compiles information about amphibian communities throughout the Atlantic Forest Biome is a fundamental step in improving efforts to synthesize their ecological diversity and to support conservation decisions making.

In this study, we compiled information about amphibian species composition and, when available, abundance, and described the sampling method and effort applied. The dataset of amphibian communities was assembled from 389 studies (articles, books, theses, and dissertations), representing the communities of 1,163 sites in the Atlantic Forest within Brazil, Argentina, and Paraguay (Figure 1). The ATLANTIC AMPHIBIANS dataset—which is part of ATLANTIC SERIES data papers—represents a major effort to compile inventories of amphibian communities for the Neotropical region, thus filling a large data gap for the Atlantic Forest hotspot.

## METADATA

### **Class I. Data set descriptors**

#### **A. Data set identity**

**Title:** ATLANTIC AMPHIBIANS. A Dataset of Amphibian Communities from the Atlantic

Forests of South America.

## **B. Data set identification code**

**Suggested data set identity codes:**

ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_sites.csv

ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_species.csv

ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_references.csv

## **C. Data set description**

### **1. Originators**

Maurício Humberto Vancine

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia,  
Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Rio Claro, Brazil

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia  
e Centro de Aquicultura (CAUNESP), Rio Claro, SP, Brazil

Kauã da Silva Duarte

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia,  
Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Rio Claro, Brazil

Célio Fernando Baptista Haddad

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia  
e Centro de Aquicultura (CAUNESP), Rio Claro, SP, Brazil

Milton Cezar Ribeiro

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia,  
Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Rio Claro, Brazil

### **2. Abstract**

Amphibians are among the most threatened vertebrates in the world and this is also true for those inhabiting the Atlantic Forest hotspot, living in ecosystems highly degraded and threatened by anthropogenic activities. We present a dataset containing information about amphibian communities sampled throughout the Atlantic Forest Biome in South America. The data were extracted from 389 bibliographic references (articles, books, theses, and

dissertations) representing inventories of amphibian communities from 1940 to 2017. The dataset includes 17,619 records of 528 species with taxonomic certainty, from 1,163 study sites. Of all the records, 14,450 (82%) were classified using the criterion of endemism; of those, 7,787 (44%) were considered endemic and 6,663 (38%) were not. Historically, multiple sampling methods were used to survey amphibians, the most representative methods being active surveys (82.1%), surveys at breeding sites (20%), pitfall traps (15.3%), and occasional encounters (14.5%). Species richness averaged  $15.2 \pm 11.3$  SD, ranging from 1 to 80 species per site. We found a low dominance in the communities, with ten species occurring in about 26% of communities: *Physalaemus cuvieri* (4.1%), *Dendropsophus minutus* (3.8%), *Boana faber* (3.1%), *Scinax fuscovarius* (2.8%), *Leptodactylus latrans* (2.7%), *Leptodactylus fuscus* (2.6%), *Boana albopunctata* (2.3%), *Dendropsophus nanus* (1.6%), *Rhinella ornata* (1.6%), and *Leptodactylus mystacinus* (1.6%). This dataset represents a major effort to compile inventories of amphibian communities for the Neotropical region, filling a large gap in the data on the Atlantic Forest hotspot. We hope this dataset can be used as a credible tool in the proposal of new studies on amphibian sampling and even in the development of conservation planning for these taxa. This information also has great relevance for macroecological studies, being foundational for both conservation and restoration strategies in this biodiversity hotspot.

#### **D. Key words**

Biodiversity hotspot, Neotropical region, Atlantic Forest Biome, amphibian communities, anurans, caecilians.

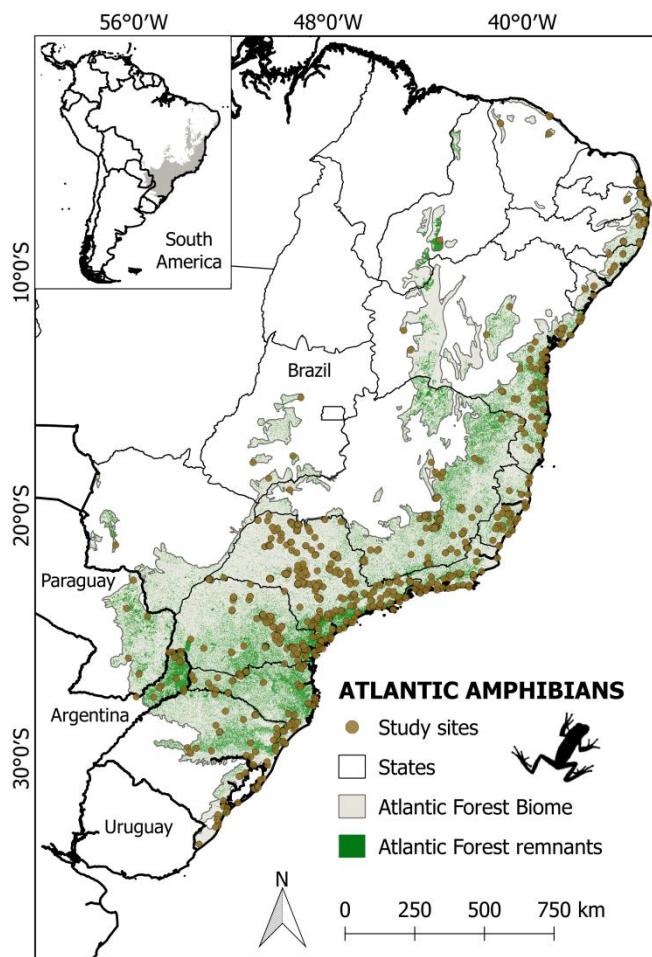
#### **E. Description**

The dataset was organized based on the delimitation of the Atlantic Forest Biome (Figure 1) that resulted from union of the following limits (*sensu* Muylaert et al. in review): World Wildlife Fund - WWF (Olson et al. 2001); Ministry of the Environment of Brazil (“Ministério do Meio Ambiente” in Portuguese, IBGE 2017a); Atlantic Forest law (provides for the use and protection of native Atlantic Forest vegetation, as well as other measures, IBGE 2017b); and Ribeiro et al. (2009). The Atlantic Forest Biome occurs in Brazil, Paraguay, and Argentina (Muylaert et al. in review).

We compiled information from 389 references, 60% (231) of which were peer-reviewed articles, 29% (114) were undergrad monographs, theses, and dissertations, and 11% (44) were books or book chapters. Although monographs, theses, and dissertations are not peer-reviewed publications, we decided to include them in our data paper because they are

used frequently in Brazilian biodiversity inventories.

This dataset consists of 17,619 specimen records, including 15,788 with taxonomic certainty for 528 species distributed among 1,163 study sites (Figure 1).

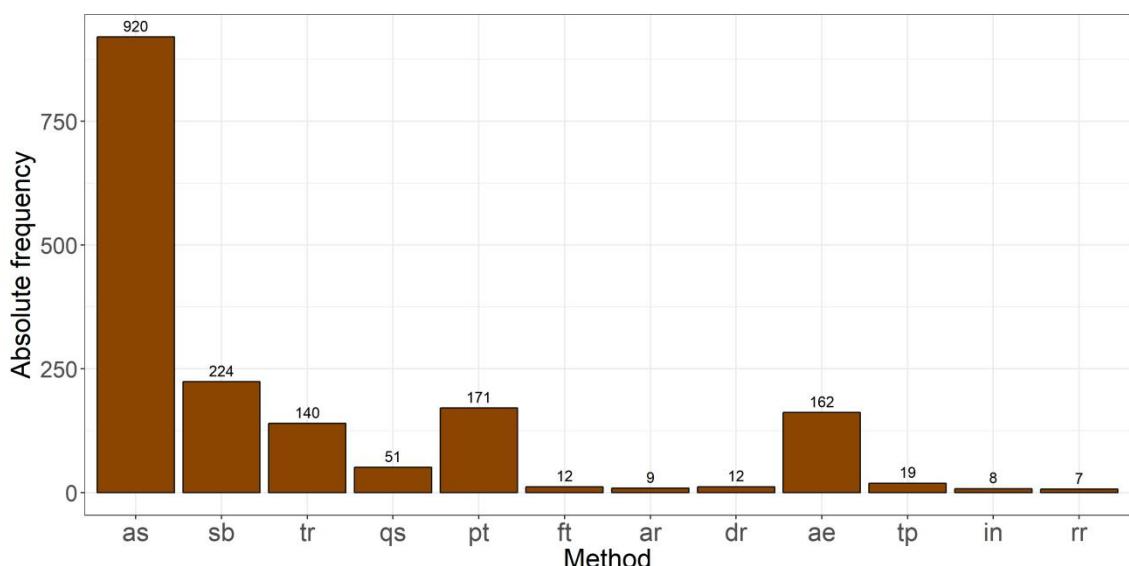


**Figure 1. Distribution of the study sites in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.** The limit of Atlantic Forest Biome according to Muylaert et al. (in review).

The taxonomic uncertainties [“species” (sp.), “several species” (spp.), “confer” (cf.), “affinis” (aff.), and “group” (gr.)] and records of *Elachistocleis ovalis*, *Chaunus pombali*, *Bufo pombali*, and *Rhinella pombali* represented around 10% (1,831) of all species records. These records have not been taxonomically corrected using the information in Frost (2017) because of the uncertainty associated with the changes that amphibians have undergone in recent years. In 70% (817) of the studies, the species records document composition (only species presence), while only 30% (346) document species abundance (number of individuals found in the sampled period), estimated mainly by use of pitfall traps. We classified 14,450 (82%) records according to the criterion of endemism in the Atlantic Forest Biome (*sensu*

Haddad et al. 2013), finding that 7,787 records (44%) were considered endemic species and 6,663 (38%) were not.

Considering only studies that described the sampling methods (1,121), most of the sampling used in study sites was conducted by active methods: active survey (82.1%, Crump and Scott Jr. 1994), survey at breeding site (20%, Scott Jr. and Woodward 1994), transect (12.5%, Crump & Scott Jr. 1994), and quadrat sampling (4.5%, Jaeger and Inger 1994). These methods are more common because they are based on the vocalizations of anuran males, facilitating species identification while also allowing quantification of males during calling activity (Figure 2). The passive methods comprised pitfall traps (15.3%, Corn 1994, Cechin and Martins 2000), funnel traps (1.1%), digital recorders (1.1%, Acevedo and Villanueva-Rivera 2006), and artificial shelters (0.8%). Pitfall traps were the most common method for litter amphibians. Complementary methods included accidental encounters (14.5%, Sawaya et al. 2008), third-party records (1.7%), interviews (0.7%), and road riding (0.6%, Sullivan 2012). These methods contribute important complementary sampling, especially the occasional encounter of species found far from breeding areas, or when only pitfall trap lines were used (Figure 2). All our definitions of sampling methods followed the descriptions provided in the original studies. However, the original descriptions often inaccurately defined active surveys and surveys in reproductive sites, so we considered surveys in reproductive sites only when the authors had specified them, and we categorized the active survey of adults, tadpoles, and spawns as active surveys.

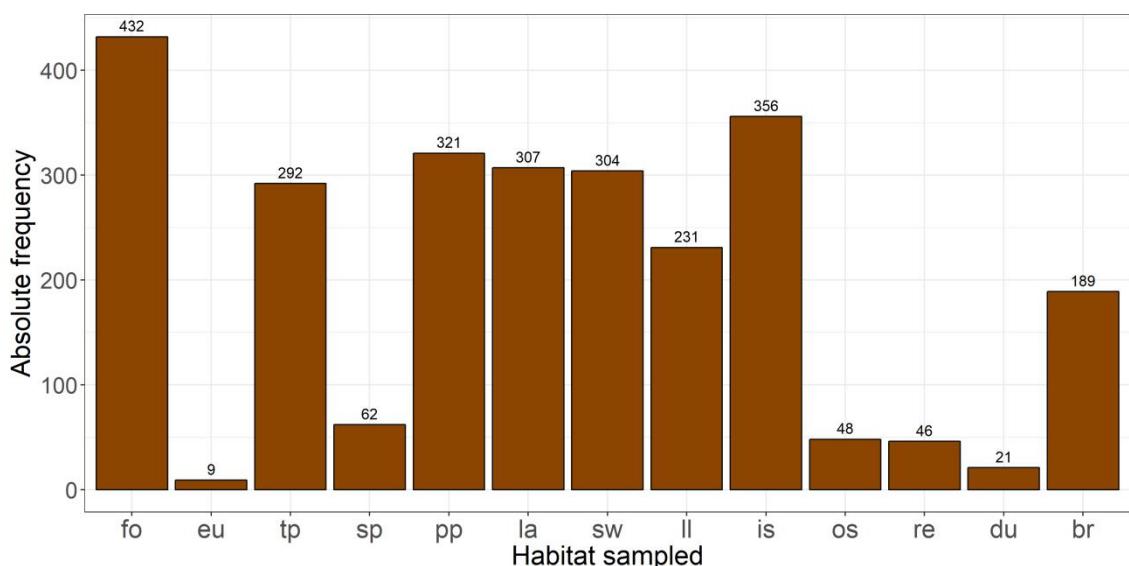


**Figure 2. Absolute frequency of the methods used in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset, for a total of 1,121 study sites.** Some studies used more than one method in a single

site. Abbreviations are: as = active surveys, sb = survey at breeding site, tr = transect, qs = quadrat surveys, pt = pitfall traps, ft = funnel traps, ar = artificial shelters, dr = digital recorders, ae = accidental encounter, tp = third-party records, in = interview, rr = road riding.

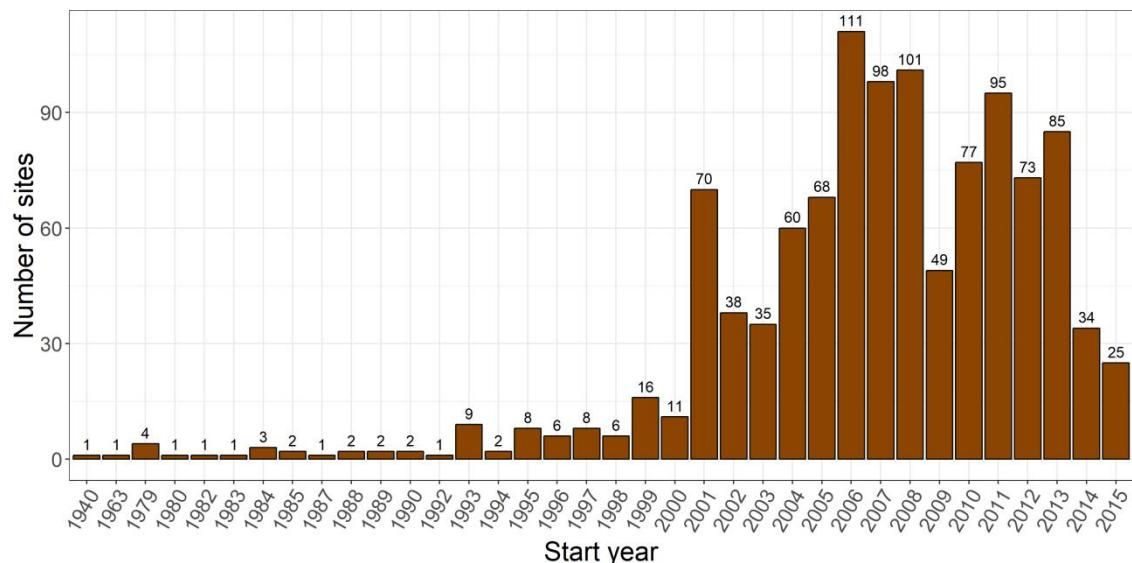
Among the study sites for which sampled habitat was reported (1,062), no sampled habitat was predominant (Figure 3), though forest habitat was reported most frequently (40.7%). However, the information about sampled forest habitat should be interpreted with caution. For example, many studies were conducted in water bodies and still reported sampling in forest areas, although the method informed does not allow to conclude whether the forest habitat was actually sampled. Most of the study sites were sampled in water bodies—stream in the forest interior (33.5%), permanent pond (30.2%), lake (28.9%), swamp (28.6%), temporary pond (27.5%), semi-permanent pond (5.8%), and stream in open area (4.5%)—which was expected, since the most frequent methods were active surveys and surveys at breeding sites (Figures 2 and 3). Other sampled habitats were located in the forest interior, mainly leaf litter (21.8%) and bromeliads (17.8%), which represent important habitats for litter-dweller families such as Brachycephalidae and Craugastoridae, as well as specific bromeliad frogs (Figure 3). Samplings in strictly coastal habitats, such as restingas (4.3%) and dunes (2%), were not very representative, since these are highly restricted habitats and generally have low amphibian diversity because of the high salinity (Figure 3).

Despite the classification of water bodies based on duration (permanent, semi-permanent, semi-temporary, or temporary) was inconsistent among works, we adhered to the descriptions found in the original studies.



**Figure 3. Absolute frequency of the habitat sampled in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset, for a total of 1,062 study sites.** Some studies sampled more than one habitat in a single site. The abbreviations are: fo = forest, eu = *Eucalyptus* plantation, tp = temporary pond, sp = semi-permanent pond, pp = permanent pond, la = lake, sw = swamp, ll = leaf litter, is = stream in the forest interior, os = open area stream, re = restinga, du = dunes, br = bromeliads.

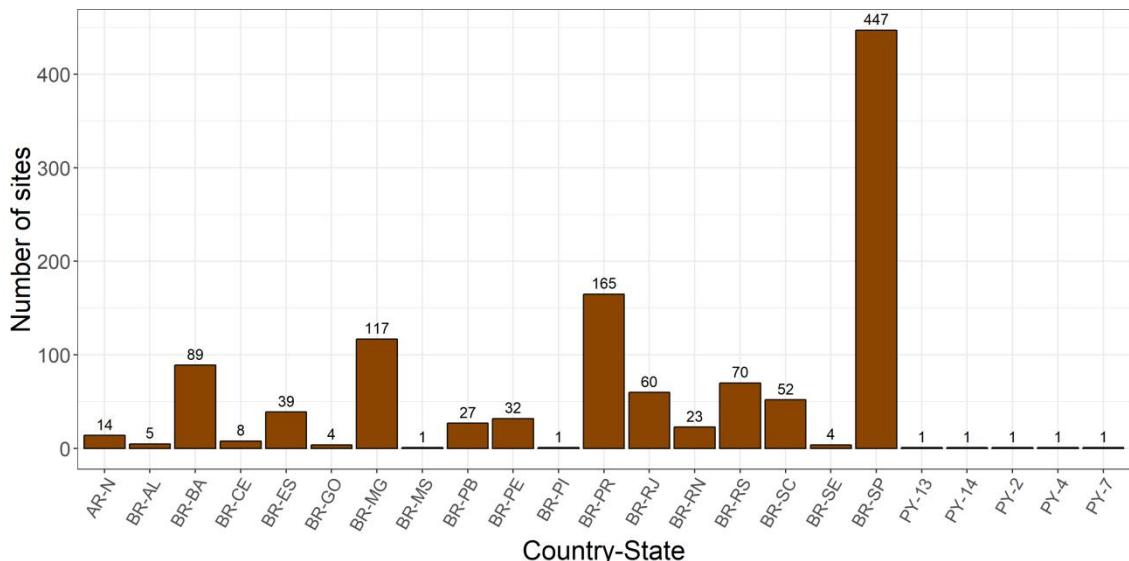
Of the 1,107 study sites for which the date of sampling was reported, only 8% of the studies were made before the year 2000; 64% occurred between 2001 and 2010, and 28% between 2011 and 2015 (Figure 4). This fact can be explained mainly by the implementation of the BIOTA-FAPESP program (<http://www.biota.org.br>) in São Paulo State and of other species inventory projects in Brazil, such as “Vertebrate Inventory and Ecology” (<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelholinha/866155114331427776840>, Joly et al. 2011).



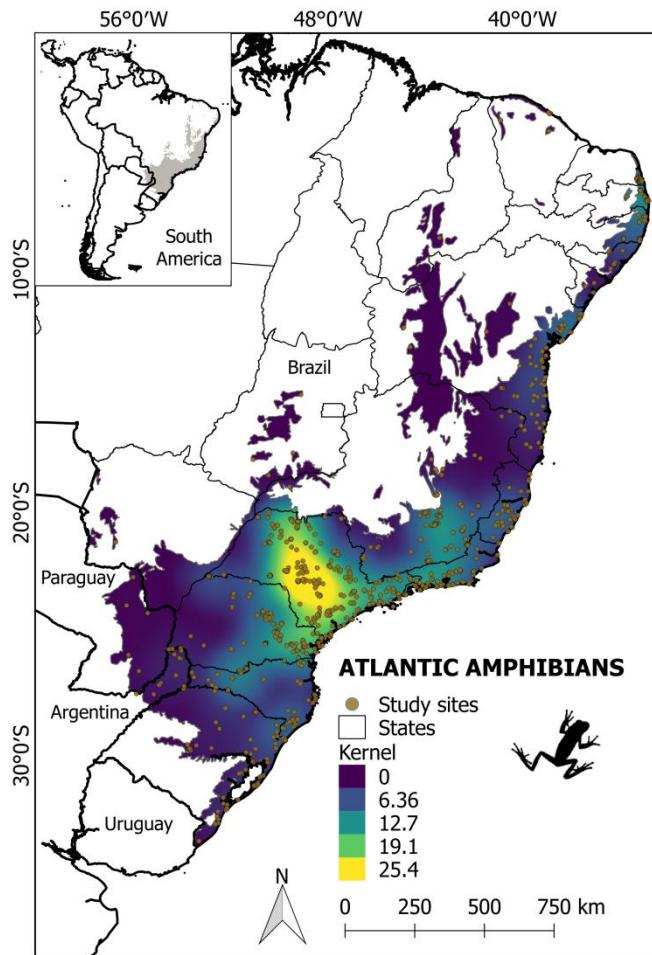
**Figure 4. Number of study sites sampled per year in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset, of a total of 1,107 study sites.** The start year represents the year in which data collection began in each study site, from 1940 to 2015.

Most of the samplings were carried out in the states of São Paulo (38.4%), Paraná (14.2%), and Minas Gerais (10.1%), collectively representing almost 63% of the surveys (Figure 5). In Figure 6, the kernel density map represents the high clustering of samples in the central region of São Paulo State. This high concentration of samplings may be due to several reasons. First, it was possible to describe two or more study sites for the same reference, which inflated the total number of study sites in this state. Second, there was a historical

process of training amphibian researchers in São Paulo State, mainly students of Dr. Werner C. A. Bokermann, followed by researchers such as Drs. Ivan Sazima, Jorge Jim, Adão J. Cardoso, Jaime Bertoluci, Miguel T. Rodrigues, Célio Haddad, and Denise Rossa Feres; the last two cited researchers led the surveys of amphibian sampling in the BIOTA-FAPESP Program. Third, and relatedly, the concentration of large collections of herpetology at the three state universities in São Paulo (UNESP, UNICAMP, and USP) attracted researchers to perform taxonomic works. Finally, the article "Frogs of Boraceia" by Heyer et al. (1990) was a benchmark, being that, Boraceia, a reserve of University of São Paulo, belonging to the municipality of Salesópolis, São Paulo state, was considered one of the world's richest places in amphibian species, which attracted interest to the amphibians of Serra do Mar, a large Conservation Unit on the coast of São Paulo.

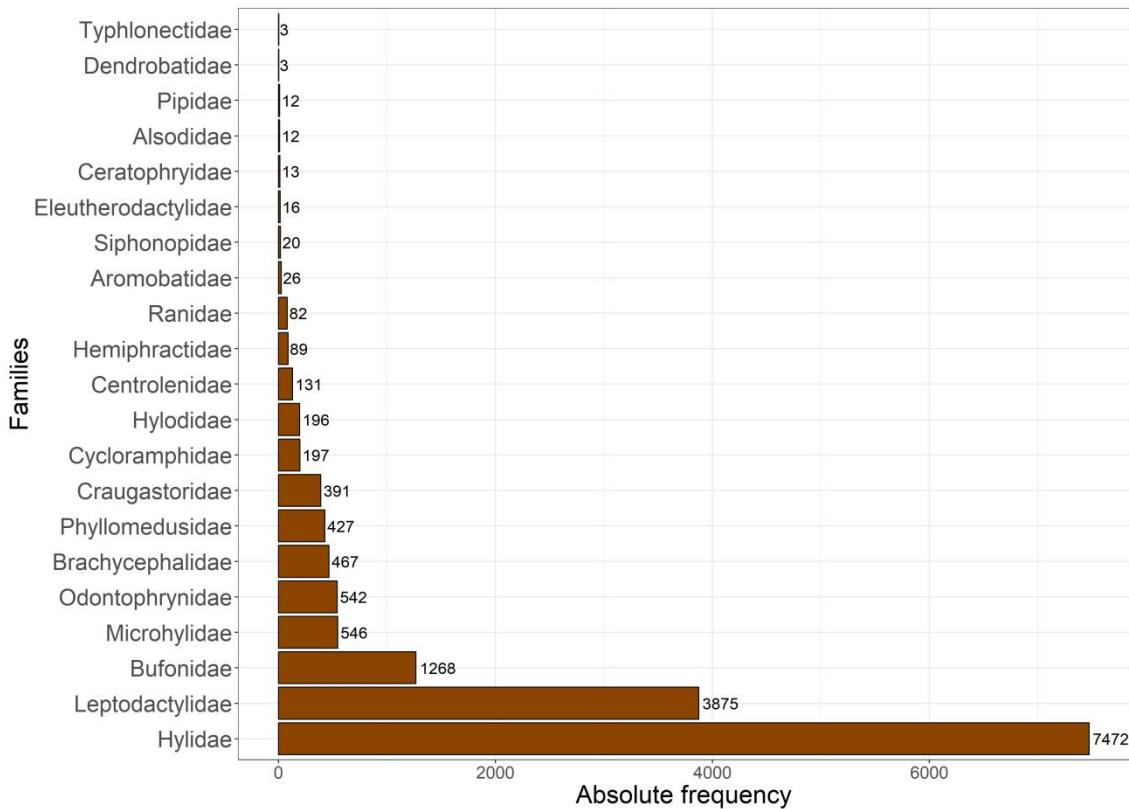


**Figure 5. Number of study sites sampled per country-state in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset, for a total of 1,163 study sites.** The abbreviation of states follows the ISO 3166-2 (defines codes for the names of the major subdivisions of all countries): AR-N = Misiones, BR-AL = Alagoas, BR-BA = Bahia, BR-CE = Ceará, BR-ES = Espírito Santo, BR-GO = Goiás, BR-MG = Minas Gerais, BR-MS = Mato Grosso do Sul, BR-PB = Paraíba, BR-PE = Pernambuco, BR-PI = Piauí, BR-PR = Paraná, BR-RJ = Rio de Janeiro, BR-RN = Rio Grande do Norte, BR-RS = Rio Grande do Sul, BR-SC = Santa Catarina, BR-SE = Sergipe, BR-SP = São Paulo, PY-13 = Amambay, PY-14 = Canindeyu, PY-2 = San Pedro, PY-4 = Guaira, PY-7 = Itapua. The countries were abbreviated as: AR = Argentina, BR = Brazil and PY = Paraguay.



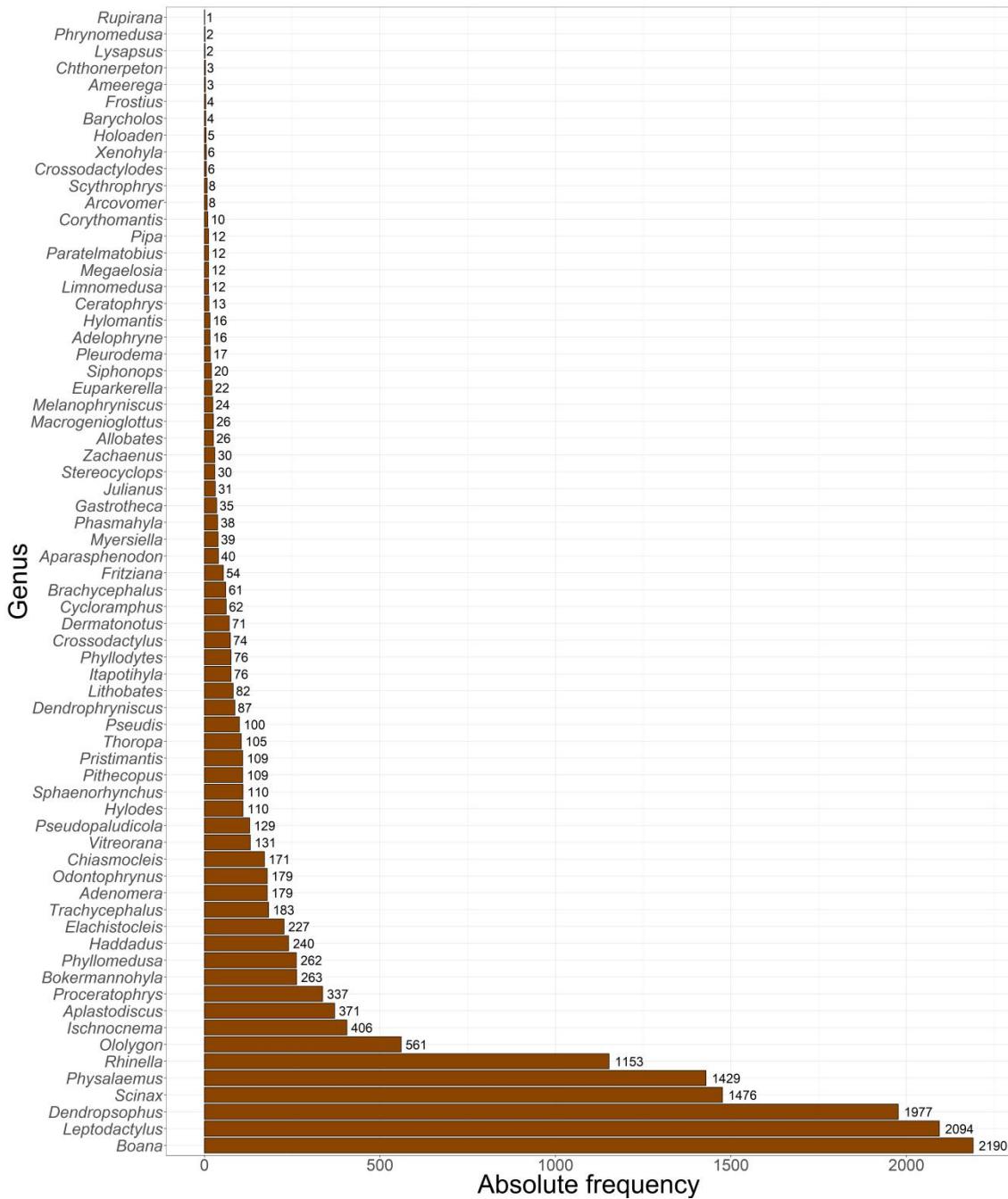
**Figure 6. Kernel density of study sites in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.** Kernel density map for 1,163 study sites, made with  $2^\circ$  (~220 km) of radius and  $0.0083^\circ$  (~1 km) of resolution, using ‘quartic’ kernel method from ‘v.kernel’ module in GRASS GIS (Okabe et al. 2009, Neteler et al. 2012). The color scale was made with five equal intervals, using ‘viridis’ color palette in QGIS. The values must be interpreted as a qualitative analysis, where high values show a high density of points.

For the records of species with taxonomic certainty (15,788), the Hylidae family represented 47% of the records, followed by Leptodactylidae (25%) and Bufonidae (8%), collectively accounting for about 80% of the records (Figure 7), following the composition pattern for the Neotropical region (Duellman 1999). Only Typhlonectidae and Siphonopidae belong to the Order Gymnophiona; the rest of the families belong to the Order Anura.



**Figure 7. Representativeness of the families in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.**  
 Absolute frequency of the families based on the 15,788 records of species with taxonomic certainty (see above).

The most representative genera were *Boana* (13.9%), *Leptodactylus* (13.3%), *Dendropsophus* (12.5%), *Scinax* (9.7%), *Physalaemus* (9.1%), *Rhinella* (7.3%), *Oolygon* (3.6%), *Ischnocnema* (2.6%), and *Aplastodiscus* (2.4%), which accounted for 74% of the records (Figure 8). Dominance was low in the communities, with ten species occurring in about 26% of the communities: *Physalaemus cuvieri* (4.1%), *Dendropsophus minutus* (3.8%), *Boana faber* (3.1%), *Scinax fuscovarius* (2.8%), *Leptodactylus latrans* (2.7%), *Leptodactylus fuscus* (2.6%), *Boana albopunctata* (2.3%), *Dendropsophus nanus* (1.6%), *Rhinella ornata* (1.6%), and *Leptodactylus mystacinus* (1.6%). This result reflects the ecology of these species, which are habitat generalists with wide geographic distribution (Haddad et al. 2013).



**Figure 8. Representativeness of the genera in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.**

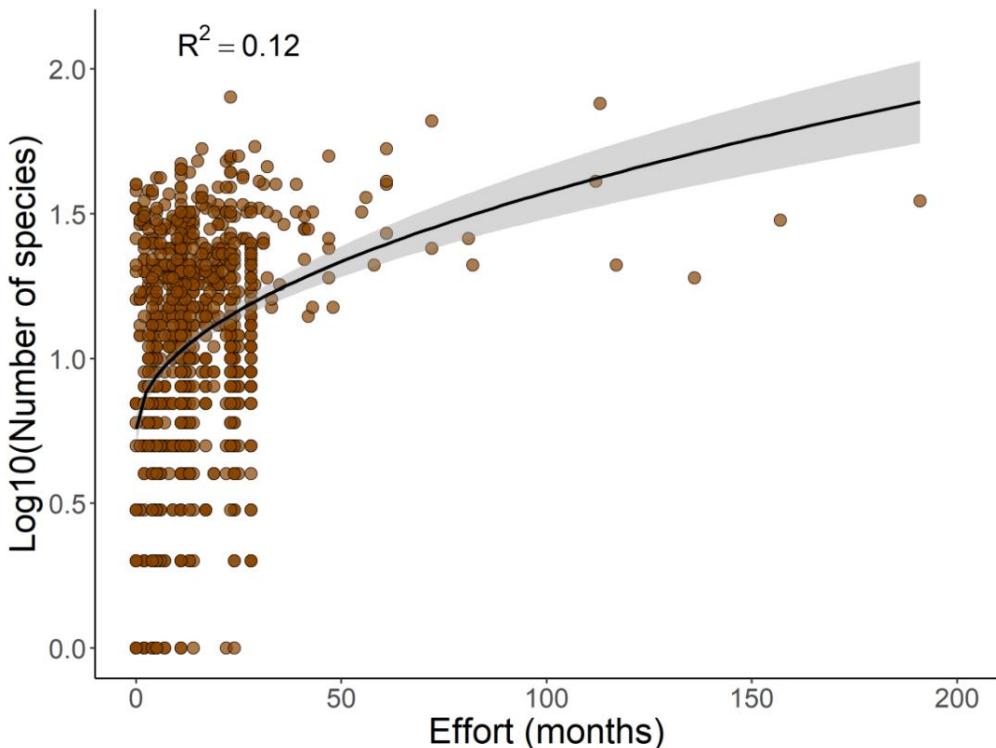
Absolute frequency of the genera based in the 15,788 records of species with taxonomic certainty (see above).

When we considered all of the reviewed studies, the average number of species per study site was  $15.17 \pm 11.25$  SD, ranging from 1 to 80 species. The sites with the greatest number of species were: Reserva do Patrimônio Natural Serra Bonita, Camacan e Pau-Brasil, Bahia (80); Reserva Ecológica de Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro (76); Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (69); Parque Estadual da Serra do Mar -

Núcleo Curucutu, Itanhaém, São Paulo (66); Estação Biológica de Boracéia, Salesópolis, São Paulo (65); Pró-Mata, São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul (55); Parque Estadual Carlos Botelho, Sete Barras, São Paulo (54); Reserva Natural Salto Morato, Guaraqueçaba, Paraná (54); Reserva Biológica de Santa Lúcia, Santa Teresita, Espírito Santo (53); Reservas legais das empresas Eucatex/SA, Cia. Suzano Celulose, Papel, Pilar do Sul, São Paulo (53); Parque Natural Municipal Nascentes de Paranapiacaba, Santo André, São Paulo (53).

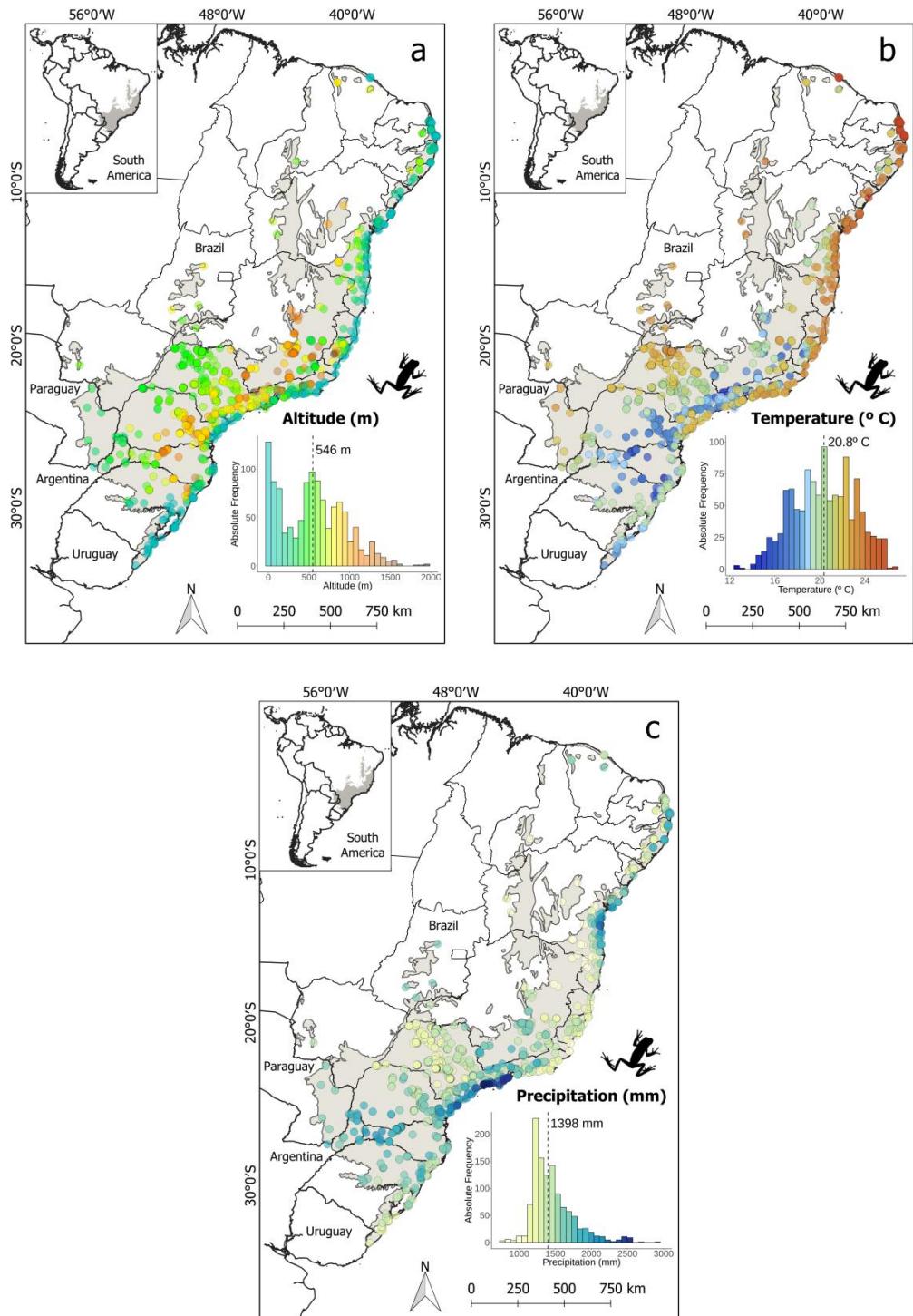
Considering only the studies that describe their sampling effort (1,066), we calculated sampling effort as the total study duration in months, which does not necessarily correspond to the number of months in which the sampling was performed. We used this measure of effort because some studies did not report the months in which the sampling was actually performed, but reported only the study's beginning and end. For these data, the average number of species per study site was  $14.74 \pm 11.24$  SD, and the average effort per site was  $14.30 \pm 14.07$  SD months, ranging from less than one full month of sampling to a maximum of 191 months.

We used a simple linear model to relate the number of species (logarithm) to sampling effort (square root). Although the linear model ( $F = 139.4$ ,  $df = 1064$ ,  $P < 0.001$ ) and the slope ( $slope = 0.82 \pm 0.03$ ,  $t = 11.8$ ,  $P < 0.001$ ) were significant, the coefficient of determination was low ( $R^2 = 0.12$ ), indicating a slightly positive effect of sampling effort on the number of species (Figure 9). The lack of a stronger relationship between number of species and sampling effort may be due to several factors. It may have been caused by the approximation we made for calculating the sampling effort, which probably overestimated the actual sampling effort of at least part of the studies, as we calculated the total of months in the reported time interval and not the time spent sampling. Alternatively, as sampling was performed in remnants of different sizes and in different regions of the Atlantic Forest, places generally closer to the coast may have had a high number of species with than inland locations with the same sampling effort. Finally, we did not separate the sampling effort used for active survey and survey at breeding site from that used for pitfall traps, even though these methods are completely different. In short, these results should be interpreted with parsimony given the variation among the studies compiled.



**Figure 9. Relationship between the number of species and sampling effort in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset, for a total of 1,066 study sites with confirmed effort.** The plot shows untransformed effort values (months). The model shows a slightly positive effect of sampling effort on the number of species observed in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset. The shaded area represents 95% confidence intervals for predicted values.

We extracted the values from following variables to each study site coordinate: a) altitude (meters) from Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010, <https://lta.cr.usgs.gov/GMTED2010>, Danielson and Gesch 2011), b) annual mean temperature (Celsius degrees), and c) annual precipitation (millimeters) from WorldClim v. 2.0 (<http://worldclim.org/version2>, Fick and Hijmans 2017). We used variables with spatial resolution of  $0.0083^\circ$  ( $\sim 1 \text{ km}^2$ ). The values of each variable in the study sites were plotted in the Figure 10, showing also a histogram with median value. The values of these variables for each study site can be accessed in “altitude”, “temperature”, and “precipitation” columns in the Table 1.



**Figure 10. Spatial distributions, histograms and medians (dashed lines) of the values of altitude, annual mean temperature and annual precipitation of the study sites in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.** In the figure: a. altitude in meters; b. temperature in Celsius degrees; and c. precipitation in millimeters.

## Class II. Research origin descriptors

### A. Overall project description

## **1. Identity**

A compilation of amphibian communities of the Atlantic Forest Biome.

## **2. Originators**

The ATLANTIC AMPHIBIANS project was coordinated by Maurício H. Vancine at the Universidade Estadual Paulista (UNESP), and the database was assembled with help from all the other authors. This is part of ATLANTIC SERIES, which is led by Mauro Galetti and Milton Ribeiro, São Paulo State University (UNESP), Brazil.

## **3. Period of study**

Data sampling ranged from 1940 to 2017.

## **4. Objectives**

The aims of this data paper were (i) to compile the information available in the Portuguese, Spanish, and English literature about amphibian inventories in the Atlantic Forest Biome of South America, focusing on composition, species abundance, methods, and sampling effort; and (ii) to communicate the current state of knowledge on the amphibian communities of the Atlantic Forest Biome to guide future sampling efforts and conservation decisions.

## **5. Abstract**

Same as above.

## **6. Sources of funding**

The compilation of this dataset was supported by São Paulo Research Foundation (FAPESP) grants #2013/02883-7 (MVH), #2013/50421-2 (MCR), #2013/50741-7 (CFBH), #2014/50342-8 (CFBH), #2017/09676-8 (MHV), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) grants fellowships (MVH and KSD), and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), grants #312045/2013-1 (MCR) and #312292/2016-3 (MCR), and Procad/CAPES project #88881.068425/2014-01 (MCR).

## **B. Specific subproject description**

### **1. Site description**

We adopted a broad delimitation of the Atlantic Forest Biome following Muylaert et al. (in review)—see Figure 1—which encompasses several ecotonal regions, thus ensuring the inclusion of more amphibian inventories performed in regions where an Atlantic Forest formation occurs. The Atlantic Forest Biome originally covered about 1.5 million km<sup>2</sup>, extending from latitudes 3° S to 30° S, and longitudes 35° W to 60° W (Morellato and Haddad 2000). Around 92% of its original distribution was located along the Brazilian coast, sharing complex limits with other biomes such as Pampa (natural open fields), Cerrado (the Brazilian savanna), and Caatinga (the northeast xeric vegetation of Brazil) (Ribeiro et al. 2009, 2011). The Atlantic Forest is composed mainly of two types of phytobiogeographies, the Dense Ombrophilous Forest and the Semideciduous Seasonal Forest, as well as other smaller ecosystems such as oceanic islands, beaches, rocky shores, dunes and restingas, mangroves and marshes, and high-altitude fields and swamps (Morellato and Haddad 2000, Haddad et al. 2013).

This biome holds about 8% of the total number of known species in the world and has a high rate of endemism (Joly et al. 2014), which can be explained by its complex phytobiogeographical borders with other biomes, great altitudinal variability, and the effects of past climates that created humid refuges (e.g. Morellato and Haddad 2000, Ribeiro et al. 2009, Carnaval et al. 2014). However, since human settlement, particularly after European colonization, the Atlantic Forest has been (and continues to be) altered and degraded, which has threatened its original structure and all its biodiversity (Dean 1996). Today, the largest metropolises and many smaller cities—home to about seventy percent of the Brazilian population (~145 million people, IBGE 2013) as well as industrial parks and farms—exist within this regional context, aggravating the current and future state of this biome's conservation (Tabarelli et al. 2005, 2010).

The high rates of endemism, coupled with high biodiversity and severe anthropogenic impact, have put the Atlantic Forest on a list of 35 biodiversity conservation hotspots around the world (Myers et al. 2000, Mittermeier et al. 2011). In addition, the biome is identified as one of the most vulnerable to global warming, climate change, land use and land cover modifications, and invasive species (Bellard et al. 2014).

## **2. Experimental or sampling design**

### **a. Literature survey**

All data were obtained from the literature, including articles, books, theses, and dissertations. We obtained studies from five main sources: (i) articles in online academic

databases (e.g., ISI Web of Knowledge, Scielo, Scopus, Google Scholar, and ResearchGate); (ii) books on amphibian communities; (iii) unpublished literature such as undergrad monographs, theses, and dissertations from digital libraries of state and federal universities; (iv) references cited in articles in the literature; and (v) e-mail correspondence with amphibian experts.

The terms used to search in the online databases were: “amphibian\*”, “anuran\*”, “Atlantic Forest”, “Atlantic Rain Forest” “communit\*”, “anfibio\*” “anuro\*”, “Mata Atlântica”, “Floresta Atlântica”, “comunidad\*”, “anfibios”, “comunidad”, and “Bosque Atlântico”, which were combined in different ways using Boolean operators.

### **3. Research methods**

#### **a. Literature data**

We included studies that sampled amphibian communities and disregarded papers on species description and geographic distribution based on a single taxon. Studies that did not provide detailed information about species composition or geographic coordinates were also disregarded. For every study, the information was organized according to the habitat sampled, survey methods, periods of the day sampled, sampling effort (initial and final month and year), species composition and abundance, and endemism (this last one according to Haddad et al. 2013). We also included information regarding geographic location (latitude, longitude, country, state/province/department, municipality/department/district, and specific locality). When certain information was not available in a publication, it was labeled “NA”.

We searched the database Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (<http://bdtd.ibict.br/vufind/>) with the search term ANFÍBIO\* + MATA ATLÂNTICA to find theses and dissertations in Portuguese. We also used the literature cited in review articles or in articles on specific themes: sand coastal (Oliveira and Rocha 2015, Xavier et al. 2015), bromeliads (Sabagh et al. 2017), tadpoles (Rossa-Feres and Nomura 2006, Fatorelli and Rocha 2008, Borges Jr. and Rocha 2013, Melchior et al. 2017), highland grasslands (Garey and Provete 2016), diversity (Bastos et al. 2003, Vasconcelos et al. 2010, Melchior et al. 2017), Pampa Biome (Santos et al. 2014), Cerrado Biome (Valdujo 2011, Ribeiro et al. 2017), Caatinga Biome (Camardelli and Napoli 2012), distributions (Garcia et al. 2007), landscape modifications (Thompson et al. 2016, Nowakowski et al. 2017, Palmeirim et al. 2017), leaf litter (Pontes and Rocha 2011), metabolic (Canavero et al. 2017), conservation (Eterovick et al. 2005, Silvano and Segalla 2005), São Paulo State (Haddad 1998, Araújo et al. 2009, Provete et al. 2011, Rossa-Feres et al. 2011), Espírito Santo State (Almeida et al. 2011), Rio

de Janeiro State (Rocha et al. 2004), Ceará State (Roberto and Loebmann 2016), Piauí State (Roberto et al. 2013), Paraguay (Brusquetti and Lavilla 2006, Motte et al. 2009, Weiler et al. 2013), and Argentina (Vaira et al. 2012).

Amphibian communities were compiled from Abrunhosa et al. (2006), Adriano (2012), Affonso et al. (2014), Afonso and Eterovick (2007), Aguiar et al. (2014), Albertim et al. (2010), Albuquerque (2016), Almeida-Gomes et al. (2008), Almeida-Gomes et al. (2010), Almeida-Gomes et al. (2014), Alves (2014), Amorim (2009), Andrade (1987), Andrade (2011), Andrade (2012), Andrade et al. (2014), Antunes (2007), Araujo (2017), Araujo and Almeida-Santos (2011), Araujo and Almeida-Santos (2013), Araujo et al. (2009), Araujo et al. (2010), Araujo et al. (2013), Armstrong and Conte (2010), Arzabe (1998), Assis (2009), Assmann et al. (2013), Baldi et al. (2015), Barata et al. (2016), Barbosa and Alves (2014), Barbosa et al. (2017), Bardini Jr. (2012), Bastazini et al. (2007), Bastiani (2012), Batista and Bastos (2014), Becker (2007), Beltramin (2010), Benício and Da Silva (2017), Bernarde and Kokubum (1999), Bernarde and Machado (2001), Bertoluci and Rodrigues (2002a), Bertoluci and Rodrigues (2002b), Bertoluci et al. (2009), Bittencourt-Silva and Silva (2013), Boquimpani-Freitas et al. (2007), Borges-Leite et al. (2014), Borges-Martins et al. (2007), Borges-Nojosa (2007), Both et al. (2008), Both et al. (2009), Both et al. (2014), Brasileiro et al. (2005), Brassaloti (2010), Brassaloti et al. (2010), Bruscagin et al. (2014), Buarque Jr. and Moura (2011), Bueno et al. (2013), Cacciali et al. (2015), Campos and Lourenço-de-Moraes (2017), Camurugi et al. (2010), Canelas and Bertoluci (2007), Caram et al. (2016), Cardoso (1986), Cardoso (2006), Carmona (2007), Carneiro (2011), Carossini (2013), Carvalho (2013), Carvalho et al. (2005), Carvalho-e-Silva et al. (2008), Carvalho-e-Silva et al. (2015), Castanho (2000), Cerezoli (2008), Cerón et al. (2016), Cerón et al. (2017a), Cerón et al. (2017b), Chagas (2017), Chaves et al. (2015), Cicchi (2011), Cicchi et al. (2009), Coelho and Oliveira (2010), Colombo et al. (2008), Colonetti (2005), Condez et al. (2009), Conte (2010), Conte and Machado (2005), Conte and Rossa-Feres (2006), Conte and Rossa-Feres (2007), Conte et al. (2013), Correa Filho (2013), Correia (2015), Costa (2014), Costa et al. (2013), Crivellari et al. (2014), Cruz et al. (2009), Cunha (2013), Cunha et al. (2010), Da Silva (2007), Da Silva et al. (2009), Da Silva et al. (2011), Da Silva et al. (2012), Da Silva et al. (2017a), Da Silva et al. (2017b), Dal Vechio et al. (2016), Dantas (2009), D'Anunciação et al. (2013), Dayrell (2009), De Domenico (2008), De Lucca (2009), De Lucca et al. (2017), Deiques et al. (2007), Dias (2006), Dias (2008), Dias et al. (2014a), Dias et al. (2014b), Dixo and Metzger (2010), Dixo and Verdade (2006), Dorigo (2012), Drummond (2009), Entiauspe-Neto et al. (2016), Esteves (2012), Eterovick (1998), Eterovick (2003), Eterovick and Sazima (2004),

Faria et al. (2007), Farias (2014), Feio and Ferreira (2005), Feio et al. (1998), Feio et al. (2006), Ferrante (2017), Ferreira and Mendes (2010), Ferreira et al. (2010), Ferreira et al. (2012), Ferreira et al. (2016), Figueiredo-de-Andrade et al. (2011), Foerster (2014), Folly et al. (2014), Folly et al. (2016), Fonte et al. (2013), Forlani et al. (2010), Forti (2009), Forti (2013), Freitas (2005), Fusinatto (2008), Gangenova (2017), Garcia et al. (2012), Garey and Da Silva (2010), Garey and Hartmann (2012), Garey et al. (2014a), Garey et al. (2014b), Gayer et al. (1988), Giaretta (1999), Giaretta et al. (1997), Giaretta et al. (1999), Giasson (2008), Gomes (2009), Gomides and Souza (2012), Gondim-Silva et al. (2016), Goyannes-Araújo et al. (2015), Graipel et al. (1997), Grandinetti and Jacobi (2005), Guerra-Fuentes et al. (2017), Guimarães (2006), Guix et al. (1994), Guix et al. (2000), Haddad and Sazima (1992), Hartmann et al. (2008), Hartmann et al. (2010), Herrera (2011), Heyer et al. (1990), Hiert (2014), Hiert and Moura (2007), Iop et al. (2011), Izecksohn and Carvalho-e-Silva (2001), Izecksohn and Carvalho-e-Silva (2010), Jordani et al. (2017), Juarez (2011), Juncá (2006), Kopp and Eterovick (2006), Kwet et al. (2010), Leite and Guilherme (2008), Leite-Filho et al. (2017), Leivas (2014), Leivas and Hiert (2016), Leivas et al. (2015), Leonal (1992), Lescano et al. (2013), Lima (2012), Lima et al. (2011), Lima et al. (2014), Linares and Eterovick (2013), Lingnau (2009), Lion et al. (2014), Lipinski and Santos (2014), Loebman and Figueiredo (2004), Loebman and Vieira (2005), Loebmann (2010), Lopes (2010), López and Kubisch (2008), López and Nazer (2009), López and Prado (2012), Lucas and Fortes (2008), Lucas and Marocco (2011), Luiz et al. (2016), Macedo (2011), Machado (2004), Machado (2006), Machado (2011), Machado and Bernarde (2003), Machado and Maltchik (2010), Machado et al. (1999), Machado et al. (2012), Madalozzo et al. (2017), Maffei (2014), Maffei and Ubaid (2014), Maffei et al. (2011), Maffei et al. (2015), Magalhães (2012), Magalhães (2015), Magalhães et al. (2015), Malagoli (2013), Maltchik et al. (2008), Mariotto (2014), Martínez et al. (2016), Martins (2014), Martins et al. (2012a), Martins et al. (2012b), Martins et al. (2014), Mascarenhas et al. (2015), Matos (2012), Melo et al. (2007), Mendes et al. (2013), Mendonça (2008), Mônico et al. (2017), Monteiro-Leonel (2004), Montesinos et al. (2012), Moraes et al. (2007), Morais et al. (2011), Morato et al. (2011), Moreira and Maltchick (2012), Moreira and Maltchick (2014), Moreira et al. (2008), Moura et al. (2012), Narvaes et al. (2009), Nascimento et al. (1994), Nazaretti (2016), Nazaretti and Conte (2015), Nery (2014), Neves et al. (2017), Nomura (2008), Núñez (2012), Oda et al. (2016), Oda et al. (2017), Oliveira (2004), Oliveira (2008), Oliveira (2011), Oliveira (2012), Oliveira (2013), Oliveira (2015), Oliveira and Lírio Jr. (2000), Oliveira et al. (2013a), Oliveira et al. (2013b), Oliveira et al. (2017), Ouvernay et al. (2012), Palmeira and Gonçalves (2015), Papp (1997),

Paula (2011), Pereira et al. (2016a), Pereira et al. (2016b), Pereira-Ribeiro et al. (2017), Peres (2010), Pertel et al. (2006), Pertel et al. (2010), Pinheiro (2009), Pinto (2015), Pirani et al. (2013), Pombal Jr. and Gordo (2004), Pombal Jr. and Haddad (2005), Pontes (2010), Pontes and Pontes (2016), Pontes et al. (2013), Pontes et al. (2015), Prado and Pombal Jr. (2005), Prado et al. (2009a), Prado et al. (2009b), Preuss et al. (2016), Queissada (2009), Quintela et al. (2009), Quintela et al. (2011), Ramos and Gasparini (2004), Ribeiro et al. (2005), Ribeiro-Júnior and Bertoluci (2009), Rievers (2010), Roberto et al. (2017), Rocha (2013), Rocha et al. (2001), Rocha et al. (2007), Rocha et al. (2008), Rocha et al. (2009), Rocha et al. (2011), Rocha et al. (2013), Rödder et al. (2006), Rödder et al. (2007), Rodrigues et al. (2008), Rolim (2009), Rolim (2013), Rosa (2017), Rossa-Feres and Jim (1996), Rossa-Feres and Jim (2001), Rossa-Feres et al. (2012), Sabbag and Zina (2011), Salles et al. (2009), Santana et al. (2008), Santana et al. (2010), Santos (2003), Santos (2009), Santos (2011), Santos (2013a), Santos (2013b), Santos and Moura (2012), Santos et al. (2007), Santos et al. (2008), Santos et al. (2009), Santos-Pereira et al. (2011), Santos-Pereira et al. (2016), São-Pedro and Feio (2011), Sasso et al. (2017), Sawaya (1999), Scarpellini Jr. (2007), Schiesari and Corrêa (2016), Schineider and Teixeira (2001), Serafim et al. (2008), Shibatta et al. (2009), Sierra-Ramirez (1998), Silva (2007a), Silva (2007b), Silva (2011), Silva (2014), Silva and Moura (2011), Silva et al. (2008), Silva et al. (2011), Silva et al. (2013), Silvano (1999), Silvano and Pimenta (2003), Silva-Soares and Scherrer (2013), Silva-Soares et al. (2010), Siqueira et al. (2009), Siqueira et al. (2011a), Siqueira et al. (2011b), Smith et al. (2016), Soares (2010), Tacioli (2012), Teixeira (2009), Teixeira et al. (2006), Teixeira et al. (2007a), Teixeira et al. (2007b), Teixeira et al. (2008), Teixeira et al. (2015), Telles et al. (2012), Toledo (2013), Toledo et al. (2003), Tonetto (2008), Tonini et al. (2010), Tonini et al. (2011), Torres (2012), Trevine et al. (2014), Uetanabaro et al. (2007), Valdujo et al. (2009), Valência-Aguilar et al. (2016), Van Sluys et al. (2004), Van Sluys et al. (2007), Vasconcelos and Rossa-Feres (2005), Verdade et al. (2009), Vilela (2012), Vilela et al. (2011), Vrcibradic et al. (2011), Wachlevski and Rocha (2010), Wachlevski et al. (2014), Wood et al. (2013), Xavier and Napoli (2011), Yamamoto and Bertoluci (2013), Yanzen and Costa (2014), Zaher et al. (2005), Zanella et al. (2013), Zank et al. (2013), Zina et al. (2007), Zina et al. (2012), and Zocca et al. (2014).

## b. Taxonomic and systematics

The taxonomic arrangement follows FROST v. 6.0 (Frost 2017), accessed in September 2017, and followed Segalla et al. (2016) to update and/or correct the species' taxonomy. This information is described in the "valid\_name" column (Table 2). We have

maintained all the taxonomic uncertainties (sp., spp., cf., aff., and gr.) and records of *Elachistocleis ovalis*, *Chaunus pombali*, *Bufo pombali*, and *Rhinella pombali* as originally reported; however, these data were not considered in the analyses by the reasons presented above (E. Description section).

### **c. Statistical analyses**

We used descriptive statistical analysis to provide an overview of the data, using mainly bar plots for survey methods, habitat sampled, study sites in each state, clustering of geographic coordinates, and taxonomy. We also built a kernel density map to summarize information about the sampling intensity per pixel of ~ 1 km resolution, and we used a search radius of about 200 km. To analyze the numbers of species and effort, we performed a simple linear regression. Data manipulation was performed using the “data.table” package (Dowle and Srinivasan 2017), analysis and graphics were done using the “ggplot2” package (Wickham 2016), data from rasters were extracted with “raster” package (Hijmans 2017), and colors were used from “cptcity” package (Ibarra-Espinosa 2018), in R statistical software (R Core Team 2017). The maps were generated in QGIS software, and kernel density inference was done using GRASS GIS (Okabe et al. 2009, Neteler et al. 2012).

### **d. Data limitations and potential enhancements**

Gathering and presenting information about the amphibian communities of the Atlantic Forest was an arduous task, mainly due to species biology, sampling, and taxonomy. Among terrestrial vertebrates, amphibians have a generally small body size, and the species occupy very distinct niches, with diverse life histories and various modes of reproduction; thus, a variety of sampling methods are required to ensure a complete listing of their communities (Duellman and Trueb 1994, Wells 2007). Intrinsic characteristics such as vocalization and spawning at specific sites, the aquatic larval stage, metamorphosis, and generally small body size coupled with high camouflage ability make amphibian sampling complex and susceptible to various biases and collection failures (Haddad and Prado 2005, Wells 2007). In addition, the seasonal population fluctuation, with periods of higher abundance and density during the rainy season, hampers sampling in all seasons of the year. In this respect, studies should cover different seasons; however, the heterogeneity of the database limits the comparisons. Finally, only 30% of the surveys reported abundance, since estimating this data for amphibians is complicated and sometimes flawed.

Several sampling methods are used to research amphibian communities, but the active

survey (Crump and Scott Jr. 1994) and survey at breeding sites (Scott Jr. and Woodward 1994) are the most common. These methods, however, are limited to seeking amphibians that usually occur in reproductive sites, especially water bodies like ponds, swamps and streams. The use of pitfall traps (Corn 1994, Cechin and Martins 2000) and quadrat sampling (Jaeger and Inger 1994) may complement community sampling, especially for species living in the leaf litter. However, pitfall traps are often used without standardization, with different numbers and sizes of buckets, which can affect the capture rate (Ribeiro-Júnior et al. 2011). Some studies used only the pitfall trap as a sampling method and therefore probably underestimated the communities, particularly the species adapted to live on trees and bushes.

We understand that each sampling has its limitations; however, amphibian surveys are complex and require a combination of survey methods and a consistent sampling effort. The sampling efforts in the surveys that we analyzed were heterogeneous and not standardized, with varying sampling designs, numbers of traps, sampled days, and sampling periods. In addition, the measure of study duration adopted here was the number of months from beginning to end of each study. We are aware that this cannot be considered as a sampling effort, since the samplings in the different studies generally followed different methodologies and were more intense during the rainy season.

Some areas of the Atlantic Forest Biome have been studied much more than others, generating a strong sampling bias. Such has been the case with the states of São Paulo, Paraná, and Minas Gerais, in which most of the samplings occurred, for reasons already described above. Conversely, few studies have considered the Atlantic Forest areas contained within the states of Sergipe and Alagoas, for example; and the situation is similar for portions of the Atlantic Forest in Paraguay and Argentina. Lastly, in several studies that adopted a broad delimitation of the biome, surveys were carried out in transition areas between the Atlantic Forest and other biomes (Cerrado, Caatinga, and Pampa); false sampling gaps may also have resulted, since the search for studies was carried out using keywords for amphibians of the Atlantic Forest (see 2. Experimental or sampling design and 3. Research Methods sections above).

Regarding taxonomy, we know that there are several problems in the species' identification of species, even some of those identified with taxonomic certainty. However, to avoid an imbalance in this information, we assumed that the species identification in the original source was correct and simply updated the taxonomy based on Frost (2017). Nevertheless, the fact that taxonomic uncertainties exist in 10% of the records shows that the taxonomy of this group is complicated, given the diversity among amphibians and the lack of

knowledge about this group. Finally, the relative ease or difficulty of detecting each species may have affected which species were listed. Variability in sampling success may be related to differences in life history, behavior, and abundance among species.

Finally, we did not include data from records of museums or scientific collections in this database. This would be a challenge task, primarily because of the large volume of data deposited in several institutions. Although a considerable part of these data are available online at the speciesLink (<http://splink.cria.org.br>) and Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <https://www.gbif.org>) databases, the same have several taxonomic and/or georeferencing errors that would demand numerous corrections. Second, because a considerable amount of data is deposited mainly in the collections of universities of Rio de Janeiro and São Paulo states, and these data are not yet totally digitized or are still in record books or even in labels inside the bottles where specimens are kept. Therefore, it is important to point out that non-digitized records of collections and doubtful digital data quality impose difficulties to the scientific advance in taxonomic, systematic, and ecological research not only for amphibians but also for other taxa in Brazil.

### **Class III. Data set status and accessibility**

#### **A. Status**

##### **1. Latest update**

December 2017.

##### **2. Latest archive date**

December 2017.

##### **3. Metadata status**

Last updated April 2018, version submitted.

##### **4. Data verification**

The information was compiled as reported before with the exception of taxonomy, where synonymy problems were verified and standardized, following Frost (2017). The updated taxonomic information can be found in the “valid\_name” column, as well as the original taxonomic information in the “species” column, both in the Table 2.

Another exception was the geographic coordinates that were converted to decimal degrees using Datum WGS 84. All coordinates were checked and adjusted as necessary using

maps and coordinates provided in the studies, or through personal information of the authors and using Google Maps. In the absence of information on the geographic coordinates for the collection site, we used Google Earth to obtain approximate geographic coordinates, and this was specified as “NA” in the “precision\_coordinate” column of Table 1.

## **B. Accessibility**

### **1. Storage location and medium**

Original ATLANTIC AMPHIBIANS dataset can be accessed on ECOLOGY repository. Updated versions and additional information will be available at the Zenodo DOI (<http://doi.org/10.5281/zenodo.1233686>).

### **2. Contact persons**

Maurício Humberto Vancine ([mauricio.vancine@gmail.com](mailto:mauricio.vancine@gmail.com)), Kauã da Silva Duarte ([kauaduarte@gmail.com](mailto:kauaduarte@gmail.com)), Célio Fernando Baptista Haddad ([haddad1000@gmail.com](mailto:haddad1000@gmail.com)), or Milton Cezar Ribeiro ([miltinho.astronauta@gmail.com](mailto:miltinho.astronauta@gmail.com)).

### **3. Copyright restrictions**

None.

### **4. Proprietary restrictions**

#### **a. Release date**

None.

#### **b. Citation**

Please, cite this data paper when the data are used in publications or teaching events.

#### **c. Disclaimer(s)**

None.

### **5. Costs**

None.

## **Class IV. Data structural descriptors**

We divided the dataset into three complementary files. The first

(ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_sites.csv) describes the characteristics of the sampled localities. The second (ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_species.csv) contains information regarding species composition or abundance, with taxomic descriptors (class, superfamily, family, subfamily, genus, original species description, valid name, individuals number, and endemism) at each locality. The third (ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_references.csv) contains the references cited and email to contact authors.

### A. Data set file

- 1. Identity:** ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_sites.csv
- 2. Size:** 22 columns and 1164 rows records, including header row, 171 KB.
- 3. Format and storage mode:** comma-separated values (.csv).
- 4. Header information:** See column descriptions in section B.
- 5. Alphanumeric attributes:** Mixed.
  
- 1. Identity:** ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_species.csv
- 2. Size:** 9 columns and 17620 rows records, including header row, 1.43 MB.
- 3. Format and storage mode:** comma-separated values (.csv).
- 4. Header information:** See column descriptions in section B.
- 5. Alphanumeric attributes:** Mixed.
  
- 1. Identity:** ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_references.csv
- 2. Size:** 5 columns and 390 rows records, including header row, 96.9 KB.
- 3. Format and storage mode:** comma-separated values (.csv).
- 4. Header information:** See column descriptions in section B.
- 5. Alphanumeric attributes:** Mixed.

### B. Variable information

- 1) Table 1. Site information in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.** Description of the fields related with the study site of the ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_sites.csv.

Variable identify	Variable description	Levels	Example
<b>id</b>	Identification code for each study site	amp1001-amp2163	amp1676
<b>reference_number</b>	The reference number which report amphibian communities	1001-1389	1228

<b>species_number</b>	Total of species for each study site	1-80	24
<b>records</b>	Type of records of species: ⊗ co: composition ⊗ ab: abundance	co, ab	co
<b>sampled_habitat</b>	Type of habitat sampled: ⊗ fo: forest ⊗ eu: <i>Eucalyptus</i> plantation ⊗ tp: temporary pond ⊗ sp: semi-permanent pond ⊗ pp: permanent pond ⊗ la: lake ⊗ sw: swamp ⊗ ll: leaf litter ⊗ is: stream in the forest interior ⊗ os: open area stream ⊗ re: restinga ⊗ du: dunes ⊗ br: bromeliads	fo, eu, tp, sp, pp, la, sw, ll, is, os, re, du, br	pp,la,ll,is
<b>active_methods</b>	Type of sampling active methods: ⊗ as: active surveys ⊗ sb: survey at breeding site ⊗ tr: transect ⊗ qs: quadrat surveys	as, sb, tr, qs	as
<b>passive_methods</b>	Type of sampling passive methods: ⊗ pt: pitfall traps ⊗ ft: funnel traps ⊗ ar: artificial shelters ⊗ dr: digital recorders	pt, ft, as, dr	NA
<b>complementary_methods</b>	Type of sampling complementary methods: ⊗ ae: accidental encounter ⊗ tp: third-party records ⊗ in: interview ⊗ rr: road riding	ae, tp, in, rr	tp

<b>period</b>	Periods of the day sampled: ⊗ mo: morning (05-12 a.m.) ⊗ da: day (12 a.m.-06 p.m.) ⊗ tw: twilight (06-08 p.m.) ⊗ ni: night (08 p.m.-05 a.m.)	mo, da, tw, ni	da, tw, ni
<b>month_start</b>	Month of the beginning of the study	1-12	3
<b>year_start</b>	Year of the beginning of the study	1940-2015	1988
<b>month_finish</b>	Month of the end of study	1-12	2
<b>year_finish</b>	Year of the end of study	1983-2017	1989
<b>effort_months</b>	Total of months of study (from begging to end of study)	1-191	12
<b>country</b>	English name of the country of the study site	Brazil, Paraguay, Argentina	Brazil
<b>state</b>	State, Province or Department of the study site derived based on the geographic coordinates	23	São Paulo
<b>state_abbreviation</b>	Abbreviation of State, Province, or Department of the study site based on the geographic coordinates, following ISO 3166-2	23	BR-SP
<b>municipality</b>	Municipality, Department, or District of the study site based on the geographic coordinates	411	Jundai
<b>site</b>	Local name of the study site based on the information in the reference	566	Serra do Japi
<b>latitude</b>	Corrected and transformed coordinates of the latitude in decimal degrees (Datum WGS84). The precision of the reported coordinates in the reference papers was mostly inexact. A correction was conducted with the help of the clues in the reference, such as vegetation type, approximate coordinates, trails, rivers,	decimal degrees	-23.22694

	and reserve names. These clues were cross-validated against Google Earth satellite images.		
<b>longitude</b>	Corrected and transformed coordinates of the longitude. See “latitude” for the same information	decimal degrees	-46.96667
<b>coordinate_precision</b>	Coordinate precision of the study site: <ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ dm: the coordinates of the Municipality are reported, or the coordinates mismatch the written information in the reference paper</li> <li>⊗ dms: the grid, transect, or vegetation patch coordinates are reported</li> <li>⊗ dd: the coordinates are report in decimal degrees</li> <li>⊗ utm: the coordinates are report in meters in the UTM system</li> </ul>	dm, dms, dd, utm	dm
<b>altitude</b>	Altitude (meters) from Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010; Danielson and Gesch 2011)	0-1950	971
<b>temperature</b>	Annual mean temperature (Celsius degrees) from WorldClim v. 2.0 (Fick and Hijmans 2017)	12.47- 26.55	17.67
<b>precipitation</b>	Annual precipitation (millimeters) from WorldClim v. 2.0 (Fick and Hijmans 2017)	773- 2909	1327

**2) Table 2. Species information in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.** Description of the fields related to amphibian species information of the ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_species.csv.

Variable identify	Variable description	Levels	Example

<b>id</b>	Identification code for each site where the species were registered	amp1001-amp2163	amp1676
<b>order</b>	Taxonomic order according to Frost 2017	Anura, Gymnophiona	Anura
<b>superfamily</b>	Taxonomic superfamily according to Frost 2017	Brachycephalo idea, Dendrobatoide a	Brachycephalo idea
<b>family</b>	Taxonomic family according to Frost 2017	21	Brachycephali dae
<b>subfamily</b>	Taxonomic subfamily according to Frost 2017	18	NA
<b>species</b>	Species name reported in the study	1878	<i>Brachycephalu s ephippium</i>
<b>valid_name</b>	Valid name according to Frost 2017	357	<i>Brachycephalu s ephippium</i>
<b>abundance</b>	Number of captured individuals	1-11,404	NA
<b>endemism</b>	Endemic of Atlantic Forest Biome according to Haddad et al. (2013): ⊗ 0: not endemic ⊗ 1: endemic	0, 1	1

**3) Table 3. Reference information in the ATLANTIC AMPHIBIANS dataset.**  
 Description of the fields related to the reference information of the ATLANTIC\_AMPHIBIANS\_references.csv.

Variable identify	Variable description	Levels	Example
<b>reference_number</b>	The numbers of references that report amphibian communities	1001-1389	1228
<b>reference_type</b>	Type of bibliography: ⊗ a: article ⊗ b: book ⊗ t: undergrad monographs, theses, and dissertations	a, b, t	b
<b>citation</b>	Citation in Ecology style	factor	Haddad and Sazima 1992

<b>reference</b>	Reference in Ecology style	factor	Haddad, C. F. B., and I. Sazima. 1992. Anfíbios anuros da Serra do Japi, pp. 188–211. In L. P. C. Morellato (eds.), História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil. Editora Unicamp e Fapesp, Campinas, Brazil.
<b>email</b>	Email from first author reported in the study	factor	NA

**C. Data anomalies:** If no information is available for a given record, this is indicated by “NA”.

#### **Class V. Supplemental descriptors**

#### **F. Publications and results**

Vancine (2015), Duarte (2015) and D'Anunciação (2018) used part of this dataset to investigate the effects of landscape modifications in the persistence and lost of functional traits of amphibians in the Atlantic Forest Biome.

#### **G. History of data set usage**

- 1. Data request history:** None.
- 2. Data set updates history:** None.

**3. Review history:** None.

**4. Question and comments from secondary users:** None.

### Acknowledgments

We thank Megan K. King and Pavel Dodonov for English review. We thank also the information of works conceded by Adrian Garda, Adriano Marques, Bianca Berneck, Bott Ursula, Bruno Pimenta, Carla Cassini, Carla Siqueira, Carlos Eduardo, Cristiane Hiert, Cynthia Prado, Delio Baêta, Denise Rossa Feres, Dennis Rödder, Ednilza Maranhão, Elaine Lucas, Felipe Campos, Fernanda Centeno, Fernanda Agostini, Fernando da Silva, Geise Melo, Gisele Winck, Ibere Machado, Iuri Ribeiro Dias, Jane de Oliveira, José Pombal Júnior, Leo Malagoli, Luciana Nascimento, Ludmila Baldi, Luís Giasson, Maurício Almeida-Gomes, Mauricio Moura, Mario Moura, Michel Garey, Paula Eterovick, Rafael Pontes, Renato Feio, Ricardo Sawaya, Samuel Ribeiro, Tereza Thomé, Thais Condez, Ubirajara Oliveira, Vitor Prado, and so many others researchers that answered e-mail about their work. MHV thanks grant Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) graduate fellowship, São Paulo Research Foundation (FAPESP), grant #2013/02883-7, FAPESP, grant #2017/09676-8, “Tropeiros do Paraitinga” for online help, and Lauren Ono and Dudu for family support. KSD thanks CAPES graduate fellowship. JRG thanks CAPES graduate fellowship. RPB thanks FAPESP, grants #2010/20061-6 and FAPESP, grant #2017/10338-0, and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) #166109/2015-0. RB thanks FAPESP, grant #2006/55363-7 and FAPESP, grant #2008/02476-4. JB thanks FAPESP, grant #2004/15938-5 and CNPq #309017/2016-5. LRF thanks FAPESP, grant #2009/13987-2, FAPESP, grant #2013/21519-4, and CNPq #150041/2017-9. CFBH thanks FAPESP, grant #2013/50741-7, FAPESP/Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, grant #2014/50342-8, and a research fellowship from CNPq. MCR thanks grant Procad/CAPES project #88881.068425/2014-01 for financial support, CNPq grants #312045/2013-1 and #312292/2016-3, and FAPESP, grant #2013/50421-2. This paper is dedicated (*in memoriam*) to Alípio de Miranda-Ribeiro, Bertha Lutz, Antenor L. Carvalho, Werner C. A. Bokermann, Eugenio Izecksohn, Jorge Jim, Adão J. Cardoso, for their extensive contribution to the knowledge of the diversity of Brazilian amphibians and the formation of herpetologists.

### Literature cited

Abrunhosa, P. A., H. Wogel, and J. P. Pombal Jr. 2006. Anuran temporal occupancy in a

- temporary pond from the Atlantic Rain Forest, south-eastern Brazil. *Herpetol. J.* 16: 115–122.
- Acevedo, M. A., and L. J. Villanueva-Rivera. 2006. Using automated digital recording systems as effective tools for the monitoring of birds and amphibians. *Wildl. Soc. Bull.* 34: 211–214.
- Adriano, L. R. 2012. Influência do efeito de borda sobre a anurofauna do Parque Estadual Carlos Botelho (SP). M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Affonso, I. P., E. G. Cafofo, R. L. Delariva, F. H. Oda, L. C. Karling, and R. Lourenço-de-Moraes. 2014. List of anurans (Amphibia: Anura) from the rural zone of the municipality of Maringá, Paraná state, southern Brazil. *Check List* 10: 878–882.
- Afonso, L. G., and P. C. Eterovick. 2007. Spatial and temporal distribution of breeding anurans in streams in southeastern Brazil. *J. Nat. Hist.* 41: 949–963.
- Aguiar, A., D. H. Morais, P. J. P. Cicchi, and R. J. Silva. 2014. Evaluation of helminths associated with 14 amphibian species from a Neotropical Island near the southeast coast of Brazil. *Herpetol. Rev.* 45: 227–236.
- Albertim, K. M., E. V. E. Andrade, I. V. C. Melo, and G. J. B. Moura. 2010. Anuros e lagartos associados a bromélias em um fragmento de Mata Atlântica no Estado de Pernambuco, Nordeste brasileiro. *Sitientibus ser. Ci. Biol.* 10: 289–298.
- Albuquerque, P. R. A. 2016. A diversidade filogenética e acústica de anuros com base em levantamento acústico de curta duração. B.S. thesis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Almeida, A. P., J. L. Gasparini, and P. L. V. Peloso. 2011. Frogs of the state of Espírito Santo, southeastern Brazil - The need for looking at the ‘coldspots’. *Check List* 7: 542–560.
- Almeida-Gomes, M., C. C. Siqueira, V. N. T. Borges-Júnior, D. Vrcibradic, L. A. Fusinatto, and C. F. D. Rocha. 2014. Herpetofauna da Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA) e das áreas do entorno, no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotrop.* 14: e20130078.
- Almeida-Gomes, M., D. Vrcibradic, C. C. Siqueira, M. C. Kiefer, T. Klaion, P. Almeida-Santos, D. Nascimento, C. V. Ariani, V. N. T. Borges-Junior, R. F. Freitas-Filho, M. Van Sluys, and C. F. D. Rocha. 2008. Herpetofauna of an Atlantic Rainforest area (Morro São João) in Rio de Janeiro State, Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 80: 291–300.
- Almeida-Gomes, M., M. Almeida-Santos, P. Goyannes-Araújo, V. N. T. Borges-Júnior, D. Vrcibradic, C. C. Siqueira, C. V. Ariani, A. S. Dias, V. V. Souza, R. R. Pinto, M. Van Sluys, and C. F. D. Rocha. 2010. Anurofauna of an Atlantic Rainforest fragment and its

- surroundings in northern Rio de Janeiro State. *Braz. J. Biol.* 70: 871–877.
- Alves, B. C. F. 2014. Influência antrópica sobre a riqueza e abundância de anfíbios anuros em alagados de um remanescente de Mata Atlântica, Paraíba, Brasil. M.S. thesis, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- Amorim, F. O. 2009. Diversidade e distribuição espacial e temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em fragmento de Mata Atlântica de Igarassu, Pernambuco. M.S. thesis, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Andrade, C. A. F. 2011. Anfíbios anuros da restinga de Iquiparí, São João da Barra, Rio de Janeiro, Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Andrade, E. V. E. 2012. Influência das rodovias PE–060 e PE–076 sobre a anurofauna de solo da Reserva Biológica Saltinho. M.S. thesis, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Andrade, E. V. E., I. J. L. Palhas, and G. J. B. Moura. 2014. Diurnal habitat segregation by tadpoles in two temporary ponds in an Atlantic Rainforest remnant, Northeastern Brazil. *Hydrobiologia* 723: 181–194.
- Andrade, G. V. 1987. Reprodução e vida larvária de anuros (Amphibia) em poça de área aberta na Serra do Japi, Estado de São Paulo. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Antunes, A. P. 2007. Descrição taxonômica e história natural de uma nova espécie de *Hypsiboas* da Mata Atlântica do alto da Serra de Paranapiacaba, Estado de São Paulo (Amphibia, Anura, Hylidae). M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Araujo, C. O. 2017. Herpetofauna from Estação Ecológica de Bauru, a fragment of Atlantic Forest in the State of São Paulo, Brazil. *Rev. Inst. Flor.* 29: 71–89.
- Araujo, C. O., and S. M. Almeida-Santos. 2011. Herpetofauna de um remanescente de Cerrado no estado de São Paulo, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 11: 47–62.
- Araujo, C. O., and S. M. Almeida-Santos. 2013. Composição, riqueza e abundância de anuros em um remanescente de Cerrado e Mata Atlântica no estado de São Paulo. *Biota Neotrop.* 13: 265–275.
- Araujo, C. O., D. T. Corrêa, and S. M. A. Santos. 2013. Anuros da Estação Ecológica de Santa Bárbara, um remanescente de formações abertas de Cerrado no estado de São Paulo. *Biota Neotrop.* 13: 230–240.
- Araujo, C. O., T. H. Condez, and R. J. Sawaya. 2009. Anfíbios anuros do Parque Estadual das Furnas do Bom Jesus, sudeste do Brasil, e suas relações com outras taxocenoses no Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 77–98.

- Araujo, C. O., T. H. Condez, R. P. Bovo, F. C. Centeno, and A. M. Luiz. 2010. Anfíbios e répteis do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP: um remanescente de Mata Atlântica do Sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 10: 257–274.
- Araújo, O. G. S., L. F. Toledo, P. C. A. Garcia, and C. F. B. Haddad. 2009. The amphibians of São Paulo State. *Biota Neotrop.* 9: 197–209.
- Armstrong, C. G., and C. E. Conte. 2010. Taxocenose de anuros (Amphibia: Anura) em uma área de Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil. *Biota Neotrop.* 10: 39–46.
- Arzabe, C. 1998. Anfíbios anuros em fragmentos de Mata Atlântica no Nordeste do Brasil. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Assis, B. 2009. Riqueza, distribuição temporal e utilização de habitats por anfíbios anuros na Serra do Brigadeiro, Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Assmann, B. R., G. Dariva, and J. R. Marinho. 2013. Amphibian anurans of an Araucarian rainforest fragment in Southern Brazil. *Perspectiva*, Erechim 37: 133–140.
- Baldi, L. C., F. B. Santos, K. E. Esteves, F. C. Ferreira, M. T. Rocha, J. M. Santana, P. C. Teixeira, and C. M. Ferreira. 2015. Anuran communities in different riparian habitats: native forest, secondary forest, and sugarcane. *South Am. J. Herpetol.* 10: 195–204.
- Barata, I. M., C. M. Correia, and G. B. Ferreira. 2016. Amphibian species composition and priorities for regional conservation at the Espinhaço Mosaic, Southeastern Brazil. *Herpetol. Conserv. Biol.* 11: 293–303.
- Barbosa, A. R., and I. T. L. S. Alves. 2014. Diversidade e uso de hábitat da anurofauna em um fragmento de um brejo de altitude. *Gaia Scientia* 8: 215–225.
- Barbosa, V. N., E. N. Pereira, and E. S. Maranhão. 2017. Anfíbios da Estação Ecológica de Caetés Paulista, Pernambuco - Atualização da Lista de Espécies. *Revista de Ciências Ambientais* 11: 39–49.
- Bardini Jr., C. 2012. Riqueza e abundância de anuros de serapilheira em florestas em regeneração do estado de São Paulo. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Bastazini, C. V., J. F. V. Munduruca, P. L. Rocha, and M. F. Napoli. 2007. Which environmental variables better explain changes in anuran community composition? A case study in the restinga of Mata de São João, Bahia, Brazil. *Herpetologica* 63: 459–471.
- Bastiani, V. I. M. 2012. Anfíbios anuros (Amphibia, Anura) de um remanescente de Floresta Estacional no sul do Brasil. M.S. thesis, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó.

- Bastos, R. P., J. A. O. Motta, L. P. Lima, and L. D. Guimarães. 2003. Anfíbios da Floresta Nacional de Silvânia, Estado de Goiás. Stylo, Goiânia, Brazil.
- Batista, V. G., and R. P. Bastos. 2014. Anurans from a Cerrado-Atlantic Forest ecotone in Campos Gerais region, southern Brazil. Check List 10: 574–582.
- Becker, C. G. 2007. Desconexão de habitats e o declínio global dos anfíbios. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Becker, C. G., C. R. Fonseca, C. F. B. Haddad, R. F. Batista, and P. I. Prado. 2007. Habitat split and the global decline of amphibians. *Science* 318: 1775–1777.
- Becker, C. G., C. R. Fonseca, C. F. B. Haddad, and P. I. Prado. 2010. Habitat split as a cause of local population declines of amphibians with aquatic larvae. *Conserv. Biol.* 24: 287–294.
- Bellard, C., C. Leclerc, B. Leroy, M. Bakkenes, S. Veloz, W. Thuiller, and F. Courchamp. 2014. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23: 1376–1386.
- Beltramin, A. S. 2010. Efeito da heterogeneidade do ambiente na estruturação de uma comunidade de anuros. B.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Benício, R. A., and F. R. Da Silva. 2017. Amphibians of Vassununga State Park, one of the last remnants of semideciduous Atlantic Forest and Cerrado in northeastern São Paulo state, Brazil. *Biota Neotrop.* 17: e20160197.
- Bernarde, P. S., and M. N. C. Kokubum. 1999. Anurofauna do Município de Guararapes, Estado de São Paulo, Brasil (Amphibia: Anura). *Acta Biológica Leopoldensia* 21: 89–97.
- Bernarde, P. S., and R. A. Machado. 2001. Riqueza de espécies, ambientes de reprodução e temporada de vocalização da anurofauna em Três Barras do Paraná, Brasil (Amphibia: Anura). *Cuad. Herpetol.* 14: 93–104.
- Bertoluci, J., and M. T. Rodrigues. 2002a. A Utilização de habitats reprodutivos e micro-habitats de vocalização em uma taxocenose de anuros (Amphibia) na Mata Atlântica. *Pap. Avulsos Zool.* 42: 287–297.
- Bertoluci, J., and M. T. Rodrigues. 2002b. Seasonal patterns of breeding activity of Atlantic Rainforest anurans at Boracéia, Southeastern Brazil. *Amphib-Reptilia* 23: 161–167.
- Bertoluci, J., R. A. Brassaloti, J. W. Ribeiro-Júnior, V. M. F. N. Vilela, and H. O. Sawakuchi. 2007. Species composition and similarities among anuran assemblages of forest sites in southeastern Brazil. *Scientia Agricola* 64: 364–374.
- Bertoluci, J., M. A. S. Canelas, C. C. Eisemberg, C. F. S. Palmuti, and G. G. Montingelli. 2009. Herpetofauna da Estação Ambiental de Peti, um fragmento de Mata Atlântica do

- estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 147–155.
- Bittencourt-Silva, G. B., and H. R. Silva. 2013. Insular anurans (Amphibia: Anura) of the coast of Rio de Janeiro, Southeast, Brazil. *Check List* 9: 225–234.
- Blaustein, A. R., and J. M. Kiesecker. 2002. Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecol. Lett.* 5: 597–608.
- Blaustein, A. R., and B. A. Bancroft. 2007. Amphibian population declines: evolutionary considerations. *BioScience* 57: 437–444.
- Boquimpani-Freitas, L., R. V. Marra, M. Van Sluys, and C. F. D. Rocha. 2007. Temporal niche of acoustic activity in anurans: interspecific and seasonal variation in a Neotropical assemblage from south-eastern Brazil. *Amphibia-Reptilia* 28: 269–276.
- Borges Jr., V. N. T., and C. F. D. Rocha. 2013. Tropical tadpole assemblages: which factors affect their structure and distribution? *Oecologia Australis* 17: 217–228.
- Borges-Leite, M. J., J. F. M. Rodrigues, and D. M. Borges-Nojosa. 2014. Herpetofauna of a coastal region of northeastern Brazil. *Herpetol. Notes* 7: 405–413.
- Borges-Martins, M., P. Colombo, C. Zank, F. G. Becker, and M. T. Q. Melo. 2007. Anfíbios, pp. 276–291. In F. G. Becker, R. A. Ramos, and L. A. Moura (eds.), *Biodiversidade: regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiaçais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul*. Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília, Brazil.
- Borges-Nojosa, D. M. 2007. Diversidade de anfíbios e répteis da Serra de Baturité, Ceará, pp. 225–247. In T. S. Oliveira, and F. S. Araújo (eds.), *Diversidade e conservação da biota na Serra de Baturité, Ceará*. Edições UFC, Fortaleza, Brazil.
- Both, C., I. L. Kaefer, T. G. Santos, and S. T. Z. Cechin. 2008. An austral anuran assemblage in the Neotropics: seasonal occurrence correlated with photoperiod. *J. Nat. Hist.* 42: 205–222.
- Both, C., M. Solé, T. G. Santos, and S. Z. Cechin. 2009. The role of spatial and temporal descriptors for Neotropical tadpole communities in southern Brazil. *Hydrobiologia* 124: 125–138.
- Both, C., B. Madalozzo, R. Lingnau, and T. Grant. 2014. Amphibian richness patterns in Atlantic Forest areas invaded by American bullfrogs. *Austral Ecol.* 39: 864–874.
- Brasileiro, C. A., R. J. Sawaya, M. C. Kiefer, and M. Martins. 2005. Amphibians of open cerrado fragment in southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 5: 1–17.
- Brassaloti, R. A. 2010. Diversidade e estrutura de taxocenoses de anfíbios anuros em uma paisagem fragmentada no Centro-Oeste paulista. M.S. thesis, Universidade Estadual

- Paulista, São José do Rio Preto.
- Brassaloti, R. A., D. C. Rossa-Feres, and J. Bertoluci. 2010. Anurofauna da Floresta Estacional Semidecidual da Estação Ecológica dos Caetetus, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 10: 275–291.
- Bruscagin, R. T., T. H. Condez, M. Dixo, and J. Bertoluci. 2014. Diversity of leaf-litter anurans in a fragmented landscape of the Atlantic Plateau of São Paulo State, southeastern Brazil. *J. Nat. Hist.* 48: 1–16.
- Brusquetti, F. A., and E. O. Lavilla. 2006. Lista comentada de los anfibios de Paraguay. *Cuad. Herpetol.* 20: 3–79.
- Buarque Jr., D. V., and G. J. B. Moura. 2011. Anurofauna da cidade de Barreiros, remanescentes de Mata Atlântica - Nordeste do Brasil - PE, pp. 149–162. In G. J. B. Moura, E. M. Santos, M. A. B. Oliveira, and M. C. C. Cabral (eds.), *Herpetologia do Estado de Pernambuco*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brazil.
- Bueno, C. M., C. V. Cademartori, E. D. Forneck, and T. C. Cabral. 2013. Anurofauna de uma área do domínio da Mata Atlântica no Sul do Brasil, Morro do Coco, Viamão, RS. *Revista de Ciências Ambientais* 14: 11–20.
- Cacciali, P., F. Bauer, and N. Martínez. 2015. Herpetofauna de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, Paraguay. *Kempffiana* 11: 29–47.
- Camardelli, M., and M. F. Napoli. 2012. Amphibian conservation in the Caatinga Biome and semiarid region of Brazil. *Herpetologica* 68: 31–47.
- Campos, F. S., and R. Lourenço-de-Moraes. 2017. Anurans from the mountain chain Serra do Mar: a critical area for amphibian conservation in the Atlantic Forest, Brazil. *Herpetol. Notes* 10: 547–560.
- Camurugi F., T. M. Lima, E. A. Mercês, and F. A. Juncá. 2010. Anurans of the reserva ecologica da michelin, municipality of igapiuna, state of Bahia, Brazil. *Biota Neotrop.* 10: 305–312.
- Canavero, A., M. Arim, F. Pérez, F. M. Jaksic, and P. A. Marquet. 2017. A metabolic view of amphibian local community structure: the role of activation energy. *Ecography* 40: 1–12.
- Canelas, M. A. S., and J. Bertoluci. 2007. Anuros da Serra do Caraça, sudeste do Brasil: composição de espécies e padrões sazonais de atividade vocal. *Iheringia, Sér. Zool.* 97: 21–26.
- Caram, J., M. R. Gomes, C. Luna-Dias, and S. P. Carvalho-e-Silva. 2016. Updated list of anurans from Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil: changes from 1990 to 2012. *Check List* 12: 1997.

- Cardoso, A. J. 1986. Utilização de recursos para reprodução em comunidade de anuros no Sudeste do Brasil. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Cardoso, M. W. 2006. Uso de ambientes por uma comunidade de anuros de São Luís do Purunã, município de Balsa Nova, estado do Paraná. B.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Carey C., N. Cohen, and L. Rollins-Smith. 1999. Amphibian declines: an immunological perspective. *Dev. Comp. Immunol.* 23: 459–472.
- Carmona, R. U. 2007. Estudo da comunidade de anfíbios e répteis em um fragmento de Mata Atlântica e em áreas perturbadas no Estado de São Paulo: subsídios para conservação e manejo de áreas protegidas. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Carnaval, A. C, E. Waltari, M. T. Rodrigues, D. Rosauer, J. VanDerWal, R. Damasceno, I. Prates, M. Strangas, Z. Spanos, D. Rivera, M. R. Pie, C. R. Firkowski, M. R. Bornschein, L. F. Ribeiro, and C. Moritz. 2014. Prediction of phylogeographic endemism in an environmentally complex biome. *Proc. R. Soc. B* 281: 20141461.
- Carneiro, P. C. F. 2011. Ocorrência e distribuição espacial e temporal das larvas de anuros (Amphibia) em diferentes sistemas aquáticos da Ilha Grande (Rio de Janeiro). M.S. thesis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Carrossini, A. 2013. Resposta da comunidade de anuros de serrapilheira ao gradiente de sucessão ecológica em um fragmento de Floresta Atlântica interior da Região Sudeste do Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Carvalho, C. M., J. C. Vilar, and F. F. Oliveira. 2005. Répteis e anfíbios, pp. 39–61. In C. M. Carvalho, and J. C. Vilar (eds.), Parque Nacional Serra de Itabaiana - levantamento da biota, Ibama. Biologia Geral e Experimental - UFS, Aracaju, Brazil.
- Carvalho, R. M. 2013. Herpetofauna de fragmentos de floresta estacional semidecidual na região de Sorocaba - SP. B.S. thesis, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- Carvalho, T., C. G. Becker, and L. F. Toledo. 2017. Historical amphibian declines and extinctions in Brazil linked to chytridiomycosis. *Proc. R. Soc London B* 284:20162254.
- Carvalho-e-Silva, A. M. T., G. R. Silva, and S. P. Carvalho-e-Silva. 2008. Anuros da Reserva Rio das Pedras, Mangaratiba, RJ, Brasil. *Biota Neotrop.* 8: 199–209.
- Carvalho-e-Silva, S. P., A. M. P. T. Carvalho-e-Silva, and C. Luna-Dias. 2015. Anfíbios (Lissamphibia) da Reserva Biológica de Pedra Talhada, pp. 333–355. In A. Studer, L. Nusbaumer, and R. Spichiger (eds.), Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada (Alagoas, Pernambuco – Brasil). Boissiera, Geneve, Switzerland.

- Castanho, L. 2000. História natural de uma comunidade de anuros da região de Guaraqueçaba, litoral norte do estado do Paraná. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Catenazzi, A. 2015. State of the world's amphibians. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 40: 91–119.
- Cechin, S. Z., and M. Martins. 2000. Eficiência de armadilhas de queda (pitfall traps) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 17: 729–749.
- Cerezoli, J. P. M. 2008. Anurofauna em riachos de fragmentos florestais da Chapada das Perdizes, Serra de Carrancas, Sul de Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Ceron, K., M. O. Olivo, R. A. Mendonça, F. Carvalho, and J. J. Zocche. 2016. Herpetofauna de uma Área de Floresta Atlântica no Sul do Brasil. *Revista Tecnologia e Ambiente* 22.
- Ceron, K., E. M. Lucas, and J. J. Zocche. 2017a. Anurans of Parque Estadual da Serra Furada, Santa Catarina, Southern Brazil. *Herpetol. Notes* 10: 287–296.
- Ceron, K., H. B. Martins, and J. J. Zocche. 2017b. Anurans of a remnant forest in Urussanga, Santa Catarina, southern of Brazil. *Check List* 12: 2014.
- Chagas, D. G. 2017. Estruturação de uma metacomunidade de anfíbios anuros no Sudeste do Brasil: Influências ambientais, fenotípicas e filogenéticas. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Chaves, L. S., V. Silva, G. K. M. Rocha, R. S. Lira, E. G. Santos, M. R. M. Daher, E. M. S. Nogueira, and G. J. B. Moura. 2015. Anfíbios anuros, pp. 15–89. In G. J. B. Moura, E. M. S. Nogueira, E. Medeiros, and C. Neto (eds.), *Os anfíbios e répteis da Reserva Madeiras, Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil*. UEFS Editora, Feira de Santana, Brazil.
- Cicchi, P. J. P., H. Serafim, M. A. Sena, F. C. Centeno, and J. Jim. 2009. Herpetofauna em uma área de Floresta Atlântica na Ilha Anchieta, município de Ubatuba, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 201–212.
- Cicchi, P. J. P. 2011. Herpetofauna do Parque Estadual da Ilha Anchieta, litoral norte de São Paulo, Brasil: relações históricas e impacto dos mamíferos introduzidos. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Coelho, H. E. A., and R. S. Oliveira. 2010. Anurofauna de um fragmento de Mata Atlântica em Lauro de Freitas - Bahia. *Candombá – Revista Virtual* 6: 52–60.
- Collins, J. P., and A. Storfer. 2003. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Divers. Distrib.* 9: 89–98.
- Collins, J. P., M. L. Crump, and T. E. Lovejoy. 2009. Extinction in our times: global

- amphibian declines. Oxford University Press, Oxford, England.
- Colombo, P., A. Kindel, G. Vinciprova, and L. Krause. 2008. Composição e ameaças à conservação dos anfíbios anuros do Parque Estadual de Itapeva, Município de Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotrop.* 8: 229–240.
- Colonetti, S. 2005. Levantamento da anurofauna (Amphibia) na Lagoa do Verdinho, Município de Criciúma/SC. M.S. thesis, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- Condez, T. H., R. J. Sawaya, and M. Dixo. 2009. Herpetofauna dos remanescentes de Mata Atlântica da região de Tapiraí e Piedade, SP, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 157–186.
- Conte, C. E. 2010. Diversidade de anfíbios da floresta com Araucária. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Conte, C. E., and D. C. Rossa-Feres. 2006. Diversidade e ocorrência temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 23: 162–175.
- Conte, C. E., and D. C. Rossa-Feres. 2007. Riqueza e distribuição espaço-temporal de anuros em um remanescente de Floresta de Araucária no sudeste do Paraná. *Rev. Bras. Zool.* 24: 1025–1037.
- Conte, C. E., and R. A. Machado. 2005. Riqueza de espécies e distribuição espacial e temporal em comunidade de anuros (Amphibia, Anura) em uma localidade de Tijucas do Sul, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 22: 940–948.
- Conte, C. E., D. R. Silva, and A. P. Rodrigues. 2013. Anurofauna da bacia do Rio Tijuco, Minas Gerais, Brasil e sua relação com taxocenoses de anfíbios do Cerrado e suas transições. *Iheringia, Sér. Zool.* 103: 280–288.
- Corn, P. S. 1994. Straight-line drift fences and pitfall traps, pp. 109–117. In W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. C. Hayek, and M. S. Foster (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, EUA.
- Corrêa Filho, D. T. 2013. Estruturação de uma metacommunidade de girinos e adultos de anuros no Cerrado: influências ambientais e filogenéticas. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Correia, C. M. 2015. Estrutura de uma comunidade de anfíbios anuros em savana tropical brasileira: uso dos ambientes e sazonalidade. M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

- Costa, C. O. R. 2014. Influência dos efeitos da borda sobre a comunidade de anfíbios anuros de serapilheira da Mata Atlântica da Estação Biológica de Boracéia, SP. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Costa, W. P., S. C. Almeida, and J. Jim. 2013. Anurofauna em uma área na Depressão Periférica, no centro-oeste do estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 13: 163–174.
- Crivellari, L. B., P. T. Leivas, J. C. M. Leite, D. S. Gonçalves, C. M. Mello, D. C. Rossa-Feres, and C. E. Conte. 2014. Amphibians of grasslands in the state of Paraná, southern Brazil (Campos Sulinos). *Herpetol. Notes* 7: 639–654.
- Crump, M. L., and N. J. Scott Jr. 1994. Visual encounter surveys, pp. 84–92. In W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. Mcdiarmid, L. A. C. Hayek, and M. S. Foster (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, EUA.
- Cruz, C. A. G., R. N. Feio, and U. Caramaschi. 2009. *Amphibians of Ibitipoca*. Editora Bicho do Mato, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.
- Cunha, A. K., I. S. Oliveira, and M. T. Hartmannn. 2010. Anurofauna da Colônia Castelhanos, na Área de Proteção Ambiental de Guaratuba, Serra do Mar paranaense, Brasil. *Biotemas* 23: 123–134.
- Cunha, G. G. 2013. A influência da intensificação do ciclo agrícola na diversidade de anuros (Amphibia, Anura) em arrozais no Sul do Brasil. M.S. thesis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.
- Cushman, S. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: a review and prospectus. *Biol. Conserv.* 128: 231–240.
- Da Silva, F. R. 2007. A importância de fragmentos florestais na diversidade de anfíbios anuros em Icém, Região Noroeste do Estado de São Paulo. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Da Silva, F. R., R. S. Santos, M. A. Nunes, and D. C. Rossa-Feres. 2009. Anuran captured in pitfall traps in three agroecosystems in northwestern São Paulo State, Brazil. *Biota Neotrop.* 9: 253–255.
- Da Silva, F. R., J. P. Gibbs, and D. C. Rossa-Feres. 2011. Breeding habitat and landscape correlates of frog diversity and abundance in a tropical agricultural landscape. *Wetlands* 31: 1079–1087.
- Da Silva, F. R., C. P. Candeira, and D. C. Rossa-Feres. 2012. Dependence of anuran diversity on environmental descriptors in farmland ponds. *Biodivers. Conserv.* 21: 1411–1424.

- Da Silva, F. R., M. L. Lyra, C. F. B. Haddad, and D. C. Rossa-Feres. 2017a. Expanding the knowledge about the occurrence of anurans in the highest amphibian diversity area of Atlantic Forest: Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Biota Neotrop.* 17: e20160282.
- Da Silva, F. R., D. B. Provete, L. K. Gerassi, and R. P. Bovo. 2017b. What do data from fieldwork and scientific collections tell us about species richness and composition of amphibians and reptiles? *South Am. J. Herpetol.* 12: 99–106.
- Dal Vechio, F., M. Teixeira Jr., R. S. Recoder, M. T. Rodrigues, and H. Zaher. 2016. The herpetofauna of Parque Nacional da Serra das Confusões, state of Piauí, Brazil, with a regional species list from an ecotonal area of Cerrado and Caatinga. *Biota Neotrop.* 16: e20150105.
- Danielson, J. J., and D. B. Gesch. 2010. Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010). U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 2011. 26 p.
- Dantas, R. B. 2009. Composição e distribuição espacial e sazonal de anfíbios em unidade de conservação da Mata Atlântica, Alfredo Chaves, Espírito Santo. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- D'Anunciação, P. E. R., M. F. V. Silva, L. Ferrante, D. S. Assis, T. Casagrande, A. Z. G. Coelho, B. C. S. Amâncio, T. R. Pereira, and V. X. Silva. 2013. Forest fragments surrounded by sugar cane are more inhospitable to terrestrial amphibian abundance than fragments surrounded by pasture. *International Journal of Ecology* 2013: 1–8.
- D'Anunciação, P. E. R. 2018. Landscape and Climate Changes Influence on Taxonomicand Functional Richness of Amphibians. Ph.D. dissertation, Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Dayrell, J. S. 2009. Estrutura da comunidade de anfíbios em poças temporárias em um fragmento de Mata Atlântica de Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- De Domenico, E. A. 2008. Herpetofauna do Mosaico de Unidades de Conservação do Jacupiranga (SP). M.S. thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- De Lucca, G. S. 2009. Efeito dos resíduos da extração de carvão na diversidade de anfíbios anuros no município de Treviso, Santa Catarina. B.S. thesis, Universidade Comunitária de Criciúma, Criciúma.
- De Lucca, G. S., F. A. P. Barros, J. V. Oliveira, J. Dal Magro, and E. M. Lucas. 2017. The role of environmental factors in the composition of anuran species in several ponds under the influence of coal mining in southern Brazil. *Wetlands Ecology and*

- Management (in press).
- Dean, W. 1996. With broadax and firebrand: The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest. University of California Press, Berkeley, EUA.
- Deiques, C. H., L. F. Stahnke, M. Reinke, and P. Schmitt. 2007. Guia ilustrado dos anfíbios e répteis do Parque Nacional de Aparados da Serra, Rio Grande do Sul, Santa Catarina. USEB, Pelotas, Brazil.
- Dias, F. O. 2006. Riqueza de espécies e ambientes de reprodução de uma comunidade de anuros (Amphibia, Anura) na região do Mono, no Parque Nacional da Serra do Itajaí, sul do Brasil. B.S. thesis, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- Dias, I. R., C. V. Mira-Mendes, and M. Solé. 2014b. Rapid inventory of herpetofauna at the APA (Environmental Protection Area) of the Lagoa Encantada and Rio Almada, Southern Bahia, Brazil. *Herpetol. Notes* 7: 627–637.
- Dias, I. R., T. T. Medeiros, M. F. V. Nova, and M. Solé. 2014a. Amphibians of Serra Bonita, southern Bahia: a new hotpoint within Brazil's Atlantic Forest hotspot. *ZooKeys* 449: 105–130.
- Dias, N. Y. N. 2008. Estrutura de taxocenose de girinos de Mata Atlântica. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Dixo, M., and J. P. Metzger. 2010. The matrix-tolerance hypothesis: an empirical test with frogs in the Atlantic Forest. *Biodivers. Conserv.* 19: 3059–3071.
- Dixo, M., and V. K. Verdade. 2006. Herpetofauna de serrapilheira da Reserva Florestal de Morro Grande, Cotia (SP). *Biota Neotrop.* 6: 1–20.
- Dowle, M., and A. Srinivasan. 2017. *data.table*: Extension of ‘*data.frame*’. R package version 1.10.4. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>.
- Dorigo, T. A. 2012. A comunidade de anuros em uma área de Floresta Ombrófila Densa Montana do Parque Estadual dos Três Picos, sudeste do Brasil. M.S. thesis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Drummond, L. O. 2009. Efeito do fogo na composição, distribuição e dieta de uma taxocenose de anfíbios anuros de campos rupestres em Ouro Preto, MG. M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Duarte, K. S. 2015. Efeitos da desconexão de habitat na diversidade funcional de anfíbios anuros (Amphibia: Anura) na Mata Atlântica. B.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Duellman, W. E., and L. Trueb. 1994. *Biology of amphibians*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA.

- Duellman, W. E. 1999. Patterns of distribution of amphibians: A Global Perspective. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, EUA.
- Entiauspe-Neto, O. M., T. D. Perleberg, and M. A. Freitas. 2016. Herpetofauna from an urban Pampa fragment in Southern Brazil: composition, structure and conservation. Check List 12: 1964.
- Esteves, M. C. S. 2012. Ecologia de uma comunidade de anuros em Botucatu, SP. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Eterovick, P. 1998. Estrutura espacial e temporal de uma comunidade de anuros (Amphibia) na Serra do Cipó, Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Eterovick, P. 2003. Distribution of anuran species among montane streams in south-eastern Brazil. *J. Trop. Ecol.* 19: 219–228.
- Eterovick, P. C., A. C. O. Q. Carnaval, D. M. Borges-Nojosa, D. L. Silvano, M. V. Segalla, and I. Sazima, I. 2005. Amphibian declines in Brazil: an overview. *Biotropica* 37: 166–179.
- Eterovick, P. C., and I. Sazima. 2004. Anfíbios da Serra do Cipó, Minas Gerais - Brasil. PUC Minas, Belo Horizonte, Brazil.
- Faria, D., M. L. B. Pacienza, M. Dixo, R. R. Laps, and J. Baumgarten. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodivers. Conserv.* 16: 2335–2357.
- Farias, D. L. 2014. Colonização de poças artificiais por anfíbios anuros na Mata Atlântica, Sul do Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Fatorelli, P., and C. F. D. Rocha. 2008. O que molda a distribuição das guildas de girinos tropicais? Quarenta anos de busca por padrões. *Oecol. Bras.* 12: 733–742.
- Feio, R. N., and P. L. Ferreira. 2005. Anfíbios de dois fragmentos de Mata Atlântica no município de Rio Novo, Minas Gerais. *Rev. Bras. Zoocienc.* 7: 111–128.
- Feio, R. N., L. B. Nascimento, C. A. G. Cruz, P. L. Ferrerira, and D. L. Pantoja. 2006. Anfíbios das áreas prioritárias dos rios Jequitinhonha e Mucuri, pp. 94–119. In L. P. S. Pinto, and L. C. Bede (eds.), *Biodiversidade e conservação nos vales dos rios Jequitinhonha e Mucuri*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brazil.
- Feio, R. N., U. M. L. Braga, H. Wiederhecker, and P. S. Santos. 1998. Anfíbios do Parque Estadual do Rio Doce (Minas Gerais). Universidade Federal de Viçosa e Instituto Estadual de Florestas, Viçosa, Brazil.
- Ferrante, L. 2017. A síndrome das florestas vazias e a importância dos pequenos fragmentos

- para a conservação dos anfíbios. M.S. thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.
- Ferreira, R. B., and S. L. Mendes. 2010. Herpetofauna no Campus da Universidade Federal do Espírito Santo, área urbana de Vitória, Brasil. *Sitientibus ser. Ci. Biol.* 10: 279–285.
- Ferreira, R. B., K. H. Beard, and M. L. Crump. 2016. Breeding guild determines frog distributions in response to edge effects and habitat conversion in the Brazil's Atlantic Forest. *PLoS ONE* 11: e0156781.
- Ferreira, R. B., R. B. Dantas, and J. F. R. Tonini. 2012. Distribuição espacial e sazonal de anfíbios em quatro poças na região serrana do Espírito Santo, sudeste do Brasil: influência de corredores florestais. *Iheringia, Sér. Zool.* 102: 163–169.
- Ferreira, R. B., T. Silva-Soares, and D. Röder. 2010. Amphibians of Vitória, an urban area in south-eastern Brazil: first approximation. *Salamandra (Frankf.)* 46: 187–196.
- Figueiredo-de-Andrade, C. A., D. Goes, J. Kirchmeyer, and S. P. Carvalho-e-Silva. 2011. Anfíbios e répteis na Reserva Biológica União, pp. 42–45. In Contando os segredos científicos da Reserva Biológica União. ICMBIO, Rio de Janeiro, Brazil.
- Fick, S. E., and R. J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 37: 4302–4315.
- Foerster, N. E. 2014. Partilha acústica, uso do sítio de vocalização e influência da heterogeneidade ambiental em uma taxocenose de anuros em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Folly, M., A. M. Bezerra, J. Ruggeri, F. Hepp, A. M. P. T. Carvalho-e-Silva, M. R. Gomes, and S. P. Carvalho-e-Silva. 2016. Anuran fauna of the high-elevation areas of the Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), Southeastern Brazil. *Oecologia Australis* 20: 109–120.
- Folly, M., J. Kirchmeyer, M. R. Gomes, F. Hepp, J. Ruggeri, C. LunaDias, A. M. Bezerra, L. C. Amaral, and S. P. Carvalho-e-Silva. 2014. Amphibians from the Centro Marista São José das Paineiras, in Mendes, and surrounding municipalities, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Herpetol. Notes* 7: 489–499.
- Fonte, L. F. M., L. A. Fusinatto, G. Volkmer, M. D. Freire, C. Zank, and P. Colombo. 2013. Anfíbios, pp. 93–144. In P. B. R. Witt. (eds.), Fauna e flora da Reserva Biológica Lami José Lutzenberger. Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), Porto Alegre, Brazil.
- Forlani, M. C., P. H. Bernardo, C. F. B. Haddad, and H. Zaher. 2010. Herpetofauna of the Carlos Botelho State Park, São Paulo State, Brazil. *Biota Neotrop.* 10: 265–309.

- Forti, L. R. 2009. Temporada reprodutiva, micro-habitat e turno de vocalização de anfíbios anuros em lagoa de Floresta Atlântica, no sudeste do Brasil. *Zoociências* 11: 89–98.
- Forti, L. R. 2013. Organização acústica e microespacial de agregações reprodutivas de anfíbios anuros da Mata Atlântica: competição ou confusão? Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Freitas, M. 2005. A fauna e a flora da ChesaF em Salvador: um guia para o visitante. CHESF, Salvador, Brazil.
- Frost, D. R. 2017. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.0 (01/12/2017). Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA.
- Fusinatto, L. A. 2008. Padrão de distribuição espacial e temporal da herpetofauna de serapilheira em um fragmento de Mata Atlântica na Reserva Biología União, Rio de Janeiro. M.S. thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gangenova, E. 2017. Efectos de la degradación del hábitat sobre la composición del ensamble de anuros del Bosque Atlántico en Misiones (Argentina). Ph.D. dissertation, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Garcia, P. C. A., B. M. Berneck, N. Y. N. Dias, C. O. R. Costa, L. F. Silveira, and M. Yamamoto. 2012. Anfíbios anuros da Serra do Itapeti, pp. 259–271. In M. S. C. Morini, and V. F. O. Miranda (eds.), *Livro Serra do Itapeti, aspectos históricos, sociais e naturalísticos*. Canal 6, Bauru, Brazil.
- Garcia, P. C. A., E. Lavilla, J. A. Langone, and M. V. Segalla. 2007. Anfíbios da região subtropical da América do Sul: padrões de distribuição. *Ciência e Ambiente* 35: 65–100.
- Garey, M. V., and D. B. Provete. 2016. Species composition, conservation status, and sources of threat of anurans in mosaics of highland grasslands of southern and southeastern Brazil. *Oecologia Australis* 20: 94–108.
- Garey, M. V., and M. T. Hartmann. 2012. Anuros da Reserva Natural Salto Morato, Guaraqueçaba, Paraná, Brasil. *Biota Neotrop.* 12: 137–145.
- Garey, M. V., and V. X. Da Silva. 2010. Spatial and temporal distribution of anurans in an agricultural landscape in the Atlantic Semi-Deciduous Forest of Southeastern Brazil. *South Am. J. Herpetol.* 5: 64–72.
- Garey, M. V., M. J. Sturaro, V. X. Silva, and M. Sacramento. 2014a. A comunidade de anfíbios e répteis, pp. 112–138. In R. S. Laurindo, R. L. M. Novaes, and M. C. W. Vieira

- (eds.), RPPN Fazenda Lagoa: educação, pesquisa e conservação da natureza, Minas Gerais. ISMECN, Belo Horizonte, Brazil.
- Garey, M. V., D. B. Provete, I. A. Martins, C. F. B. Haddad, and D. C. Rossa-Feres. 2014b. Anurans from the Serra da Bocaina National Park and surrounding buffer area, southeastern Brazil. *Check List* 10: 308–316.
- Gayer, S. M. P., I. Krause, and N. Gomes. 1988. Lista preliminar dos anfíbios da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 5: 419–425.
- Giaretta, A. A. 1999. Diversidade e densidade de anuros de serapilheira num gradiente altitudinal na Mata Atlântica costeira. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Giaretta, A. A., K. G. Facure, R. J. Sawaya, J. H Meyer, and N. Chemin. 1999. Diversity and abundance of litter frogs in a montane forest of Southeastern Brazil: seasonal and altitudinal changes. *Biotropica* 31: 669–674.
- Giaretta, A. A., R. J. Sawaya, G. Machado, M. S. Araújo, K. G. Facure, H. F. Medeiros, and R. Nunes. 1997. Diversity and abundance of litter frogs at altitudinal sites at Serra do Japi, southeastern Brazil. *Rev. Bras. Zool.* 14: 341–346.
- Giasson, L. O. M. 2008. Atividade sazonal e uso do ambiente por anfíbios da Mata Atlântica no alto da Serra do Mar. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Gomes, F. B. R. 2009. Uso de habitats e ecomorfologia de girinos na Serra da Mantiqueira, SP. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Gomides, S. C., and B. M. Souza. 2012. Levantamento preliminar da herpetofauna da Serra do Relógio, Minas Gerais, sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Zoocienc.* 14: 45–56.
- Gondim-Silva, F. A. T., A. R. S. Andrade, R. O. Abreu, J. S. Nascimento, G. P. Corrêa, L. Menezes, C. C. Trevisan, S. S. Camargo, and M. F. Napoli. 2016. Composition and diversity of anurans in the Restinga of the Conde municipality, northern coast of the state of Bahia, northeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 16: e20160157.
- Goyannes-Araújo, P., C. C. Siqueira, R. C. Laia, M. Almeida-Santos, D. M. Guedes, and C. F. D. Rocha. 2015. Anuran species distribution along an elevational gradient and seasonal comparisons of leaf litter frogs in an Atlantic Rainforest area of southeastern Brazil. *Herpetol. J.* 25: 75–81.
- Graipel, M. J., J. J. Cherem, D. A. Machado, P. C. Garcia, M. E. Menezes, and M. Soldateli. 1997. Vertebrados da Ilha de Ratones Grande, Santa Catarina, Brasil. *Biotemas* 10: 105–122.
- Grandinetti, L., and C. M. Jacobi. 2005. Distribuição estacional e espacial de uma taxocenose

- de anuros (Amphibia) em uma área antropizada em Rio Acima - MG. *Lundiana* 6: 21–28.
- Guerra-Fuentes, R. A., K. Kato, J. M. B. Ghellere, and M. Dixo. 2017. Numa selva de pedra uma Ilha de Mata Atlântica: a herpetofauna da Reserva Biológica Tamboré, Santana de Parnaíba, SP. *Oecologia Australis* 21: 292–301.
- Guimarães, L. D. 2006. Ecologia e conservação de anfíbios anuros do Estado de Goiás. M.S. thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Guix, J. C., G. Llorente, A. Montori, M. A. Carretero, and X. Santos. 2000. Una nueva area de elevada riqueza de anuros en el Bosque Lluvioso Atlántico de Brasil. *Bol. Esp. Herpetol. Esp.* 11: 100–105.
- Guix, J. C., V. S. Nunes, and J. R. Miranda. 1994. Autochthonous and colonizing species of frogs in Carlos Botelho State Reserve, southeastern Brazil. *Bol. Esp. Herpetol. Esp.* 5: 8–13.
- Haddad, C. F. B. 1998. Biodiversidade dos anfíbios do Estado de São Paulo, pp. 17–26. In R. M. C. Castro (eds.). *Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX*. Editora Fapesp, São Paulo, Brazil.
- Haddad, C. F. B., and I. Sazima. 1992. Anfíbios anuros da Serra do Japi, pp. 188–211. In L. P. C. Morellato (eds.), *História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil*. Editora Unicamp e Fapesp, Campinas, Brazil.
- Haddad, C. F. B., and C. P. A. Prado. 2005. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55: 207–217.
- Haddad, C. B. F., L. F. Toledo, C. P. A. Prado, D. Loebmann, J. L. Gasparini, and I. Sazima. 2013. *Guide to the amphibians of the Atlantic Forest: diversity and biology*. Anolis Books, São Paulo, Brazil.
- Hartmann, M. T., P. A. Hartmann, and C. F. B Haddad. 2010. Reproductive modes and fecundity of an assemblage of anuran amphibians in the Atlantic rainforest, Brazil. *Iheringia, Sér. Zool.* 100: 207–215.
- Hartmann, M. T., P. C. A. Garcia, L. O. M. Giasson, and P. A. Hartmann. 2008. Anfíbios, pp. 89–110. In J. J. Cherem, and M. Kammers (eds.), *A fauna das áreas de influência da Usina Hidrelétrica Quebra Queixo*. Habilis Editora, Erechim, Brazil.
- Herrera, J. B. 2011. Efeitos da heterogeneidade e área sobre a comunidade de anfíbios em uma paisagem fragmentada na Floresta Atlântica. M.S. thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Heyer, W. R., A. S. Rand, C. A. G. Cruz, O. L. Peixoto, and C. E. Nelson. 1990. Frogs of

- Boracéia. Arq. Zool. 31: 231–410.
- Hiert, C. 2014. Mecanismos de estruturação de uma comunidade de anuros em área de ecótono na Floresta Atlântica. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Hiert, C., and M. O. Moura. 2007. Anfíbios do Parque Municipal das Araucárias, Guarapuava - Paraná. Editora Unicentro, Guarapuava, Brazil.
- Hijmans, R. J. 2017. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.6-7. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hof, C., M. B. Araújo, W. Jetz, and C. Rahbek. 2011. Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature* 480: 516–519.
- Ibarra-Espinosa, S. 2018. cptcity: incorporating the cpt-city archive into R. R package version 1.0.0. <https://CRAN.R-project.org/package=cptcity>.
- (IBGE) Brazilian Institute of Geography and Statistics. 2013. Atlas do censo demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro, Brazil.
- (IBGE) Brazilian Institute of Geography and Statistics. 2017a. Download de dados geográficos (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). IBGE, Rio de Janeiro, Brazil.
- (IBGE) Brazilian Institute of Geography and Statistics. 2017b. Download de dados geográficos (<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica/mapa-da-area-de-aplicacao>). IBGE, Rio de Janeiro, Brazil.
- Iop, S., V. M. Caldart, T. G. Santos, and S. Z. Cechin. 2011. Anurans of Turvo State Park: testing the validity of Seasonal Forest as a new Biome in Brazil. *J. Nat. Hist.* 45: 2443–2461.
- (IUCN) International Union for Conservation of Nature. 2017. The IUCN Red List of threatened species (<http://www.iucnredlist.org>). Version 2017–2.
- Izecksohn, E., and S. P. Carvalho-e-Silva. 2001. Anfíbios da Floresta Nacional Mário Xavier, município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, Brasil (Amphibia: Anura). Contrib. Avulsas sobre Hist. Nat. Brasil 39: 1–3.
- Izecksohn, E., and S. P. Carvalho-e-Silva. 2010. Anfíbios do Município do Rio de Janeiro, 2nd ed. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil.
- Jaeger, R. G., and R. F. Inger. 1994. Quadrat sampling, pp. 97–102. In W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. C. Hayek, and M. S. Foster (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, EUA.

- Joly, C. A., C. F. B. Haddad, L. M. Verdade, M. C. Oliveira, V. S. Bolzani, and R. G. S. Berlinck. 2011. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. *Rev. USP* 89: 114–133.
- Joly, C. A., J. P. Metzger, and M. Tabarelli. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytol.* 204: 459–473.
- Jordani, M. X., L. S. O. Melo, C. S. Queiroz, D. C. Rossa-Feres, and M. V. Garey. 2017. Tadpole community structure in lentic and lotic habitats: richness and diversity in the Atlantic Rainforest lowland. *Herpetol. J.* 27: 299–306.
- Juares, A. M., 2011. Diversidade de anfíbios anuros na Serra da Mantiqueira, na região do Pico dos Marins. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Juncá, F. A. 2006. Diversidade e uso de hábitat por anfíbios anuros em duas localidades de Mata Atlântica, no norte do estado da Bahia. *Biota Neotrop.* 6: 1–17.
- Kopp, K., and P. C. Eterovick. 2006. Factors influencing spatial and temporal structure of frog assemblages at ponds in southeastern Brazil. *J. Nat. Hist.* 40: 1813–1830.
- Kwet, A., R. Lingnau, and M. Di-Bernardo. 2010. Pró-Mata: anfíbios da Serra Gaúcha, sul do Brasil - Amphibien der Serra Gaúcha, Südbrasiliens - Amphibians of the Serra Gaúcha, South of Brazil. 2nd ed. Brasilien-Zentrum, University of Tübingen, Germany.
- Leite, F. S. F., and M. B. F. Guilherme. 2008. Anfíbios e répteis / herpetofauna, pp. 165–186. In *Biodiversidade da Mata Samuel de Paula*, AngloGold Ashanti, Belo Horizonte, Brazil.
- Leite-Filho, E., F. A. Oliveira, F. J. Eloi, C. N. Liberal, A. O. Lopes, and Daniel O. 2017. Evolutionary and ecological factors influencing an anuran community structure in an Atlantic Rainforest urban fragment. *Copeia* 105: 64–74.
- Leivas, P. T. 2014. Estrutura de comunidades de anuros em Ilhas: padrões locais e regionais. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Leivas, P. T., A. S. Beltramin, R. A. Machado, and M. O. Moura. 2015. Anuran richness (Amphibia: Anura) in remnant forest fragments of Araucaria Forest and Atlantic Rainforest in Paraná, Brazil. *Herpetol. Notes* 8: 661–667.
- Leivas, P. T., and C. Hiert. 2016. Anuran richness in remnants of Araucaria Forest, Paraná, Brazil. *Herpetol. Notes* 9: 15–21.
- Leonel, E. 1992. Distribuição espacial e temporal de anfíbios em poça temporária na região de Corumbataí (Amphibia, Anura). M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Lescano, J. N., M. F. Bonino, and M. S. Akmentins. 2013. Composición y riqueza de anfibios y sus relaciones con las características de los sitios de reproducción en un sector de la Selva Atlántica de Misiones, Argentina. *Cuad. Herpetol.* 27: 35–46.

- Lima, M. S. C. S., J. Pederassi, and C. A. S. Souza. 2014. Anurans of Serra D'Água, northwest of Cunhambebe State Park, Rio de Janeiro, Brazil. *Herpetol. Notes* 7: 231–233.
- Lima, M. Z. 2012. Comparação da anurofauna em remanescentes florestais e em reflorestamentos no Reservatório Capivara, Rio Paranapanema, Paraná, Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Londrina, Londrina.
- Lima, R. O., R. Fonseca Neto, J. D. Cavalcante, E. V. E. Andrade, G. J. B. Moura, and M. C. Guarnieri. 2011. Abundância, riqueza e especificidade microambiental da anurofauna em açude permanente (antropizado), Nazaré da Mata - PE, pp. 163–175. In G. J. B. Moura, E. M. Santos, M. A. B. Oliveira, and M. C. C. Cabral. (eds.), *Herpetologia do Estado de Pernambuco*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brazil.
- Linares, A. M., and P. C. Eterovick. 2013. Herpetofaunal surveys support successful reconciliation ecology in secondary and human-modified habitats at the Inhotim Institute, Southeastern Brazil. *Herpetologica* 69: 237–256.
- Lingnau, R. 2009. Distribuição temporal, atividade reprodutiva e vocalizações em uma assembleia de anfíbios anuros de uma Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina, Sul do Brasil. Ph.D. dissertation, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lion, M. B., A. A. Garda, and C. R. Fonseca. 2014. Split distance: a key landscape metric shaping amphibian populations and communities in forest fragments. *Diversity Distrib.* 20: 1245–1257.
- Lipinski, V. M., and T. G. Santos. 2014. Estrutura e organização espacial de duas comunidades de anuros do Bioma Pampa. *Iheringia, Sér. Zool.* 104: 462–469.
- Loebmann, D. 2010. Herpetofauna do Planalto da Ibiapaba, Ceará: composição, aspectos reprodutivos, distribuição espaço-temporal e conservação. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Loebmann, D., and M. R. C. Figueiredo. 2004. Lista dos anuros da área costeira do município de Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Comun. Mus. Cienc. Tecnol. PUCRS, Ser. Zool.* 17: 91–96.
- Loebmann, D., and P. Vieira. 2005. Relação dos anfíbios do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 22: 339–341.
- Lopes, P. C. 2010. Distribuição e abundância de anfíbios e répteis neotropicais em paisagem silvicultural em São Paulo, Brasil. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

- López, A., and W. Prado. 2012. Anfibios y reptiles de Misiones: guia de campo. María Luisa Petraglia de Bolzón Editora, Buenos Aires, Argentina.
- López, C. A., and E. Kubisch. 2008. Relevamiento in situ de la herpetofauna del Refugio Silvestre Yacutinga, Provincia de Misiones (Argentina). APRONA Bol. Cient. 40: 1–12.
- López, C. A., and S. J. E. Nazer. 2009. Anfibios y reptiles de la Reserva Privada Yaguaroundí (Misiones, Argentina). Bol. Soc. Zool. Uruguay 18: 13–34.
- Lucas, E. M., and J. C. Marocco. 2011. Anurofauna (Amphibia, Anura) em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Estado de Santa Catarina, Sul do Brasil. Biota Neotrop. 11: 377–384.
- Lucas, E. M., and V. B. Fortes. 2008. Diversidade de anuros na Floresta Nacional de Chapecó, Floresta Atlântica do sul do Brasil. Biota Neotrop. 8: 51–61.
- Luiz, A. M., T. A. Leão-Pires, and R. J. Sawaya. 2016. Geomorphology drives amphibian beta diversity in Atlantic Forest lowlands of Southeastern Brazil. PLoS ONE 11: e0153977.
- Macedo, N. A. 2011. Levantamento da anurofauna da Escola do Meio Ambiente, Botucatu - SP. B.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Machado, I. F. 2006. Diversidade de larvas de anuros (Amphibia, Anura) em áreas úmidas do Rio Grande do Sul. M.S. thesis, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.
- Machado, I. F. 2011. Diversidade e conservação de anuros em áreas úmidas costeiras no Sul do Brasil. Ph.D. dissertation, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.
- Machado, I. F., and L. Maltchik. 2010. Can management practices in rice fields contribute to amphibian conservation in southern Brazilian wetlands? Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 20: 39–46.
- Machado, I. F., L. F. B. Moreira, and L. Maltchik. 2012. Effects of pine invasion on anurans assemblage in southern Brazil coastal ponds. Amphib-reptil. 33: 227–237.
- Machado, R. A. 2004. Ecologia de assembleias de anfíbios anuros no município de Telêmaco Borba, Paraná, Sul do Brasil. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Machado, R. A., and P. S. Bernarde. 2003. Anurofauna da Bacia do Rio Tibagi, pp. 297–306. In M. E. Medri, E. Bianchini, O. A. Shibatta, and J. A. Pimenta (eds.), A Bacia do Rio Tibagi. MC-Grafica, Londrina, Brazil.
- Machado, R. S., P. S. Bernarde, S. A. A. Morato, and L. Anjos. 1999. Análise comparada da riqueza de anuros entre duas áreas com diferentes estados de conservação no município de Londrina, Paraná, Brasil (Amphibia, Anura). Rev. Bras. Zool. 16: 997–1004.

- Madalozzo, B., T. G. Santos, M. B. Santos, C. Both, and S. Cechin. 2017. Biodiversity assessment: selecting sampling techniques to access anuran diversity in grassland ecosystems. *Wildl. Res.* 44: 78–91.
- Maffei, F. 2014. Relações entre variáveis ambientais e anfíbios anuros em áreas de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Maffei, F., and F. K. Ubaid. 2014. Amphibians of Rio Claro farm, Lençóis Paulista, São Paulo, Brazil. Editora Canal 6, Bauru, Brazil.
- Maffei, F., B. T. M. Nascimento, G. M. Moya, and R. J. Donatelli. 2015. Anurans of the Agudos and Jaú municipalities, state of São Paulo, Southeastern Brazil. Check List 11: 1645.
- Maffei, F., F. K. Ubaid, and J. Jim. 2011. Anurans in an open cerrado area in the municipality of Borebi, São Paulo state, Southeastern Brazil: habitat use, abundance and seasonal variation. *Biota Neotrop.* 11: 201–213.
- Magalhães, A. C. F. 2015. Composição, distribuição espacial e sazonal da anurofauna de córrego e lagoa em uma região montana no sudeste do Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Magalhães, A. P. 2012. Composição e diversidade da anurofauna de serrapilheira da Serra do Ouro Branco, Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Magalhães, F. M., D. O. Laranjeiras, T. B. Costa, F. A. Juncá, D. O. Mesquita, D. L. Röhr, W. P. Silva, G. H. C. Vieira, and A. A. Garda. 2015. Herpetofauna of protected areas in the Caatinga IV: Chapada Diamantina National Park, Bahia, Brazil. *Herpetol. Notes* 8: 243–261.
- Malagoli, L. R. 2013. Diversidade e distribuição dos anfíbios anuros do Núcleo Curucutu, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Maltchik, L., C. D. Peixoto, C. Stenert, L. F. B. Moreira, and I. F. Machado. 2008. Dynamics of the terrestrial amphibian assemblage in a flooded riparian forest fragment in a Neotropical region in the south of Brazil. *Braz. J. Biol.* 68: 763–769.
- Mariotto, L. R. 2014. Anfíbios de um gradiente altitudinal em Mata Atlântica. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Martínez, N., F. Bauer, and M. Motte. 2016. Herpetofauna del Parque Nacional Cerro Corá, Amambay, Paraguay. *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag.* 20: 83–92.
- Martins, A. R., S. F. Bruno, and A. Q. Navegantes. 2012a. Herpetofauna of Núcleo

- Experimental de Iguaba Grande, Rio de Janeiro state, Brazil. *Braz. J. Biol.* 72: 553–562.
- Martins, R., M. R. F. Borges, R. Iartelli, and G. Puerto. 2012b. Fauna da Reserva Legal da Pedreira Itapeti, pp 231–258. In M. S. C. Morini, and V. F. O. Miranda (eds.), *Livro Serra do Itapeti, aspectos históricos, sociais e naturalísticos*. Canal 6, Bauru, Brazil.
- Martins, A., R. Pontes, C. Mattedi, J. Fratani, R. A. Murta-Fonseca, L. Ramos, and A. L. R. Brandão. 2014. Anuran community of a coastal Atlantic Forest fragment in the state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Salamandra (Frankf.)* 50: 27–39.
- Martins, J. P. V. 2014. Caracterização ecológica dos anfíbios Anuros de áreas reflorestadas do entorno da represa de Volta Grande, no Rio Grande, MG/SP. M.S. thesis, Universidade Federal de Rio Presto, Rio Preto.
- Mascarenhas, L., C. Tisoa, A. M. Linaresa, C. F. O. Mouraa, T. L. Pezzutib, F. S. F. Leite, and P. C. Eterovick. 2015. Improved local inventory and regional contextualization for anuran diversity assessment at an endangered habitat in southeastern Brazil. *J. Nat. Hist.* 50: 1–17.
- Matos, M. A. 2012. Efeito da redução da cobertura florestal sobre anuros e lagartos de serapilheira em paisagens da Mata Atlântica da Bahia, Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Melchior, L. G., D. C. Rossa-Feres, and F. R. Da Silva. 2017. Evaluating multiple spatial scales to understand the distribution of anuran beta diversity in the Brazilian Atlantic Forest. *Ecol. Evol.* 7: 2403–2413.
- Melo, G. V., D. C. Rossa-Feres, and J. Jim. 2007. Variação temporal no sítio de vocalização em uma comunidade de anuros de Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 7: 93–102.
- Mendes, C. V. M., P. T. M. Camargo, H. Z. Fischer, E. O. Serapicos, F. A. S. Tonolli, L. M. Castanho, L. A. C. Cintra, and R. C. Gonzalez. 2013. Herpetofauna do Parque Municipal Governador Mário Covas no Município de Sorocaba, São Paulo, Sudeste do Brasil. *Rev. Inst. Flor.* 25: 91–105.
- Mendonça, R. A. 2008. Taxocenose de anfíbios anuros do entorno da barragem do rio São Bento (BRSB), Siderópolis, SC. M.S. thesis, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- Mittermeier, R. A., W. R. Turner, F. W. Larsen, T. M. Brooks, and C. Gascon. 2011. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots, pp. 2–22. In F. E. Zachos, and J. C. Habel (eds.), *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas*. Springer-Verla, Heidelberg, Germany.

- Mohneke, M., and M. Rödel. 2009. Declining amphibian populations and possible ecological consequences – a review. *Salamandra* 45: 203–210.
- Mônico, A. T., R. B. G. Clemente-Carvalho, S. R. Lopes, and P. L. V. Peloso. 2017. Anfíbios anuros de brejos e lagodas de São Roque do Canaã, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. *Pap. Avulsos Zool.* 57: 197–206.
- Monteiro-Leonel, A. C. 2004. Herpetofauna do planalto de Poços de Caldas, sul de Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Montesinos, R., P. L. V. Peloso, D. A. Koski, A. P. Valadares, and J. L. Gasparini. 2012. Frogs and toads of the Pedra Azul–Forno Grande biodiversity corridor, southeastern Brazil. *Check List* 8: 102–111.
- Moraes, R. A., R. J. Sawaya, and W. Barrella. 2007. Composição e diversidade de anfíbios anuros em dois ambientes de Mata Atlântica no Parque Estadual Carlos Botelho, São Paulo, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 7: 27–36.
- Morais, A. R., L. Signorelli, P. G. Gambale, K. Kopp, F. Nomura, L. D. Guimarães, W. Vaz-Silva, J. Ramos, and R. P. Bastos. 2011. Anuran amphibians associated to water bodies in Southwest of Goiás State (Brazil). *Biota Neotrop.* 11: 1–9.
- Morato, S. A. A., A. M. X. Lima, D. C. P. Staut, R. G. Faria, J. P. Souza-Alves, S. F. Gouveia, M. R. C. Scupino, R. Gomes, and M. J. Silva. 2011. Amphibians and reptiles of the Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, municipality of Capela, state of Sergipe, northeastern Brazil. *Check List* 7: 756–762.
- Moreira, L. B. F., I. F. Machado, A. R. G. M. Lace, and L. Maltchik. 2008. Anuran amphibians dynamics in an intermittent pond in southern Brazil. *Acta Limnol. Bras.* 20: 205–212.
- Moreira, L. F. M., and L. Maltchik. 2012. Assessing patterns of nestedness and co-occurrence in coastal pond anuran assemblages. *Amphib-reptil.* 33: 261–271.
- Moreira, L. F. M., and L. Maltchik. 2014. Does organic agriculture benefit anuran diversity in rice fields? *Wetlands* 34: 725–733.
- Morellato, L. P. C., and C. F. B. Haddad. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786–792.
- Motte, M., K. Núñez, P. Cacciali, F. Brusquetti, N. Scott, and A. L. Aquino. 2009. Categorización del estado de conservación de los anfibios y reptiles de Paraguay. *Cuad. herpetol.* 23: 5–18.
- Moura, M. R., A. P. Motta, V. D. Fernandes, and R. N. Feio. 2012. Herpetofauna da Serra do Brigadeiro, um remanescente de Mata Atlântica em Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

- Biota Neotrop. 12: 1–27.
- Muylaert, R. L., M. H. Vancine, R. Bernardo, J. E. F. Oshima, T. Sobral-Souza, V. R. Tonett, B. B. S. Niebuhr, and M. C. Ribeiro. Limites territoriais inclusivos para estudos ecológicos e biogeográficos na Mata Atlântica. *Oecologia Australis* (in review).
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Narvaes, P., J. Bertoluci, and M. T. Rodrigues. 2009. Composição, uso de hábitat e estações reprodutivas das espécies de anuros da floresta de restinga da Estação Ecológica Juréia-Itatins, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 117–123.
- Nascimento, L. B., A. C. Miranda, and A. M. Balstaedt. 1994. Distribuição estacional e ocupação ambiental dos anfíbios anuros da Área de Proteção da Captação da Mutuca (Nova Lima, MG). *Bios* 2: 5–12.
- Nazaretti, E. M. 2016. Diversidade, distribuição espaço-temporal e caracterização de anuros do Parque Nacional do Iguaçu. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Nazaretti, E. M., and C. E. Conte 2015. Anurofauna de um remanescente alterado de floresta estacional semidecidual as margens do Rio Paranapanema. *Iheringia, Sér. Zool.* 105: 420–429.
- Nery, T. C. 2014. Diversidade de anfíbios anuros em áreas antropizadas em Vitória da Conquista - BA. M.S. thesis, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.
- Neteler, M., M. H. Bowm, M. Landac, and M. Metz. 2012. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environ. Model. Softw.* 31: 124–130.
- Neves, M. O. N., E. A. Pereira, L. M. C. Lima, H. Folly, E. F. Oliveira, D. J. Santana, and R. N. Feio. 2017. Anurans of Serra Negra da Mantiqueira, Zona da Mata of Minas Gerais, Brazil: a priority area for biodiversity conservation. *Herpetol. Notes* 10: 297–311.
- Nomura, F. 2008. Padrões de diversidade e estrutura de taxocenoses de anfíbios anuros: análise em multi escala espacial. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Nowakowski, A. J., M. E. Thompson, M. A. Donnelly, and B. D. Todd. 2017. Amphibian sensitivity to habitat modification is associated with population trends and species traits. *Global Ecol. Biogeogr.* 26: 700–712.
- Núñez, K. 2012. La herpetofauna de un fragmento de Bosque Atlántico en el Departamento de Itapúa, Paraguay. *Bol. Esp. Herpetol. Esp.* 23: 47–52.
- Oda, F. H., S. Gonçalves, T. M. Oda, L. C. R. Tschope, A. L. F. Briso, M. R. F. Oliveira, R. M. Takemoto, and T. S. Vasconcelos. 2017. Influence of vegetation heterogeneity and

- landscape characteristics on anuran species composition in aquatic habitats along an urban-rural gradient in southeastern Brazil. Zool. Ecol. 27: 235–244.
- Oda, F. H., V. G. Batista, P. G. Gambale, F. T. Mise, F. Souza, S. Bellay, J. C. G. Ortega, and R. M. Takemoto. 2016. Anuran species richness, composition, and breeding habitat preferences: a comparison between forest remnants and agricultural landscapes in Southern Brazil. Zool. Stud. 55: 34.
- Okabe, A., T. Satoh, and K. Sugihara. 2009. A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool. Int. J. Geogr. Inf. Sci. 23: 7–32.
- Oliveira, A. K. C. 2011. Estudo de comunidade de anuros e citogenética do gênero *Scinax* em área de ecotone no Paraná. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Oliveira, A. K. C. 2015. Estruturação de assembleias de girinos sujeitas ao hidroperíodo: uma abordagem em diferentes escalas. Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Paraná, Curitiba
- Oliveira, F. F., and G. P. L. Lírio Jr. 2000. Anfíbios anuros do Campus da Universidade Federal de Sergipe. Biol. Geral Exp. 1: 42–74.
- Oliveira, J. C. F., E. Pralon, L. Coco, R. V. Pagotto, and C. F. D. Rocha. 2013a. Environmental humidity and leaf-litter depth affecting ecological parameters of a leaf-litter frog community in an Atlantic Rainforest area. J. Nat. Hist. 47: 2115–2124.
- Oliveira, J. C. F., and C. F. D. Rocha. 2015. Journal of coastal conservation: a review on the anurofauna of Brazil's sandy coastal plains. How much do we know about it? J. Coast. Conserv. 19: 35–49.
- Oliveira, M. C. L. M., M. B. Santos, D. Loebmann, A. Hartman, and A. M. Tozetti. 2013b. Diversity and associations between coastal habitats and anurans in southernmost Brazil. An. Acad. Bras. Ciênc. 85: 575–583.
- Oliveira, M. M. 2013. Diversidade de anuros no Parque Municipal da Matinha, em Itapetinga, Bahia. M.S. thesis, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.
- Oliveira, S. H. 2004. Diversidade de anuros de serapilheira em fragmentos de Floresta Atlântica e plantios de *Eucalyptus saligna* no Município de Pilar do Sul, SP. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Oliveira, T. A. L. 2012. Anurofauna em uma área de ecótono entre Cerrado e Floresta Estacional: diversidade, distribuição e a influência de características ambientais. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Oliveira, T. M. 2008. Uso de hábitat, micro-hábitat e coexistência com predadores em

- taxocenoses de girinos de anuros no noroeste paulista. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Oliveira, J. C. F., G. R. Winck, J. Pereira-Ribeiro, and C. F. D. Rocha. 2017. Local environmental factors influence the structure of frog communities on the sandy coastal plains of Southeastern Brazil. *Herpetologica* 73: 307–312.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, E. D. Wikramanayake, N. D. Burgess, G. V. N. Powell, E. C. Underwood, J. A. D'amico, I. Itoua, H. E. Strand, J. C. Morrison, C. J. Loucks, T. F. Allnutt, T. H. Ricketts, Y. Kura, J. F. Lamoreux, W. W. Wettenge, P. Hedao, and K. R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *BioScience* 51: 933–938.
- Ouvernay, D., L. M. S. C. Fiúza, T. R. Barbosa, I. G. L. C. Albuquerque, and A. F. B. Araujo. 2012. Amphibia, Anura, Parque Estadual do Cunhambebe Itaguaí municipality, Rio de Janeiro state. Check List 8: 1047–1051.
- Palmeira, C. N. S., and U. Gonçalves. 2015. Anurofauna de uma localidade na Mata Atlântica setentrional, alagoas, Brasil. *Bol. Mus. Biol. Mello Leitão (N. Sér.)* 37: 141–163.
- Palmeirim, A. F., M. V. Vieira, and C. A. Peres. 2017. Herpetofaunal responses to anthropogenic forest habitat modification across the neotropics: insights from partitioning  $\beta$ -diversity. *Biodivers. Conserv.* 26: 2877–2891.
- Papp, M. G. 1997. Reprodução de anuros (Amphibia) em duas lagoas de altitude na Serra da Mantiqueira. M.S. thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Paré, J. A. 2003. Fungal diseases of amphibians: an overview. *Vet. Clin. North. Am. Exot. Anim. Pract.* 6: 315–326.
- Paula, C. D. 2011. Patologia comparada de infecções selecionadas de anfíbios anuros de vida livre do Bioma da Mata Atlântica: estudo prospectivo. Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pereira, E. A., M. O. Neves, P. S. Hote, D. J. Santana, and R. N. Feio. 2016b. Anurans of the municipality of Barão de Monte Alto, State of Minas Gerais, southeastern Brazil. Check List 12: 1977.
- Pereira, E. N., E. M. Santos, and M. F. Rodrigues. 2016a. Guia dos anfíbios do Parque Estadual de Dois Irmãos. EDUFRPE, Recife, Brazil.
- Pereira-Ribeiro, J., A. C. Ferreguetti, H. G. Bergallo, and C. F. D. Rocha. 2017. Use of polyvinyl chloride pipes (PVC) as potential artificial shelters for amphibians in a coastal plain forest of southeastern Brazil. *J. Coast. Conserv.* 21: 327–331.
- Peres, P. B. 2010. Taxocenose de anfíbios anuros do parque ecoturístico e ecológico de

- Pedras Grandes, Sul de Santa Catarina, Brasil. B.S. thesis, Universidade Comunitária de Criciúma, Criciúma.
- Pertel, W., R. L. Teixeira, and D. Rödder. 2006. Anurans inhabiting soil bromeliads in Santa Teresa, southeastern Brazil. *Amphibia* 5: 16–19.
- Pertel, W., R. L. Teixeira, and R. B. Ferreira. 2010. Comparison of diet and use of bromeliads between a bromelicolous and a bromeligenous anuran at an inselberg in the Southeastern of Brazil. *Caldasia* 32: 149–159.
- Pinheiro, S. C. P. 2009. Anurofauna de serapilheira de diferentes formações vegetais ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Estadual da Ilha do Cardoso, município de Cananéia, SP. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Pinto, J. S. 2015. Diversidade e distribuição espaço-temporal de anuros ocorrentes em Floresta Ombrófila Mista. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Pirani, R. M., L. B. Nascimento, and R. N. Feio. 2013. Anurans in a forest remnant in the transition zone between cerrado and Atlantic rain forest domains in southeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 85: 1093–1104.
- Pombal Jr., J. P., and C. F. B. Haddad. 2005. Estratégias e modos reprodutivos de anuros (Amphibia) em uma poça permanente da Serra de Paranapiacaba, Sudeste do Brasil. *Pap. Avulsos Zool.* 45: 215–229.
- Pombal Jr., J. P., and M. Gordo. 2004. Anfíbios anuros da Juréia, pp. 243–256. In O. V. Maques, and D. Wânia (eds.), Estação Ecológica Juréia-Itatins: ambiente físico, flora e fauna. Holos, Ribeirão Preto, Brazil.
- Pontes, J. A. L. 2010. A riqueza e diversidade de anfíbios anuros da Serra do Mendanha, Estado do Rio de Janeiro: grau de conservação da floresta, variação altitudinal e uso de recursos hídricos. Ph.D. dissertation, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pontes, J. A. L., and C. F. D. Rocha. 2011. Os anfíbios da serrapilheira da Mata Atlântica Brasileira: estado atual do conhecimento. *Oecologia Australis* 15: 750–761.
- Pontes, J. A. L., R. C. Pontes, R. F. Rocha, P. M. Lindenberg, K. P. Silva, W. A. Santos, N. A. Lemos, P. G. A. Hassan, A. O. Alves, L. F. B. A. Lopes, L. C. T. Perro, A. P. Boldrini, E. C. F. Nunes, L. F. Costa, R. W. Kisling, and C. F. D. Rocha. 2015. Unidades de conservação da cidade do Rio de Janeiro: hotspots da herpetofauna carioca, pp. 176–194. In J. A. L. Pontes (eds.), Biodiversidade Carioca: segredos revelados. Technical Books, Rio de Janeiro, Brazil.

- Pontes, R. C., and J. A. L. Pontes. 2016. Anfíbios da Serra da Tiririca: diversidade e conservação, pp. 19–68. In M. G. Santos (eds.), Biodiversidade e sociedade no leste metropolitano do Rio de Janeiro. EdEUFERJ, Rio de Janeiro, Brazil.
- Pontes, R. C., R. C. Pontesa, R. T. Santori, F. C. Gonçalves e Cunha, and J. A. L. Pontes. 2013. Habitat selection by anurofauna community at rocky seashore in coastal Atlantic Forest, Southeastern Brazil. *Braz. J. Biol.* 73: 533–542.
- Prado, G. M., and J. P. Pombal Jr. 2005. Distribuição espacial e temporal dos anuros em um brejo da reserva biológica de duas bocas, sudeste do Brasil. *Arq. Mus. Nac.* 63: 685–705.
- Prado, V. H. M., F. R. Da Silva, N. Y. N. Dias, J. S. R. Pires, and D. C. Rossa-Feres. 2009a. Anura, Estação Ecológica de Jataí, São Paul state, southeastern Brazil. CheckList 5: 495–502.
- Prado, V. H. M., M. G. Fonseca, F. V. R. Almeida, O. Necchi Jr., and D. C. Rossa-Feres. 2009b. Niche occupancy and the relative role of micro-habitat and diet in resource partitioning among pond dwelling tadpoles. *South Am. J. Herpetol.* 4: 275–285.
- Preuss, J. F., C. Lambertini, D. S. Leite, L. F. Toledo, and E. M. Lucas. 2016. Crossing the threshold: an amphibian assemblage highly infected with *Batrachochytrium dendrobatidis* in the southern Brazilian Atlantic forest. *Stud. Neotrop. Fauna E.* 51: 68–77.
- Provete, D. B., M. V. Garey, F. R. Da Silva, and D. C. Rossa-Feres. 2011. Anuranfauna from northwestern region of the State of São Paulo: species list and taxonomic key for adults. *Biota Neotrop.* 11: 377–391.
- Queissada, I. C. S. T. 2009. Diversidade da herpetofauna de uma área de Mata Atlântica do Estado de Alagoas: a reserva particular da Usina Porto Rico, Campo Alegre. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo.
- Quintela, F. M., L. F. M. Neves, I. G. Medvedovisky, M. B. Santos, M. C. L. M. Oliveira, and M. R. C. Figueiredo. 2009. Relação dos anfíbios da Ilha dos Marinheiros, estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Rev. Bras. Biocienc.* 7: 231–233.
- Quintela, F. M., R. M. Pinheiro, and D. Loebmann. 2011. Composição e uso do habitat pela herpetofauna em uma área de mata paludosa da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, extremo sul do Brasil. *Rev. Bras. Biocienc.* 9: 6–11.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramos, A. D., and J. L. Gaspaini. 2004. Anfíbios do Goiapaba-Açu, Fundão, Estado do Espírito Santo. Vitória: Gráfica Santo Antônio, Vitória, Brazil.

- Ribeiro, J., G. R. Colli, and A. M. V. M. Soares. 2017. The anurofauna of a vanishing savanna: the case of the Brazilian Cerrado. *Biodivers. Conserv.* (in press).
- Ribeiro, M. C., A. C. Martensen, J. P. Metzger, M. Tabarelli, F. Scarano, and M. Fortin. 2011. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot, pp. 405–434. In F. E. Zachos, and J. C. Habe (eds.), *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Ribeiro, M. C., J. P. Metzger, A. C. Martensen, F. J. Ponzoni, and M. M. Hirota. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol. Conserv.* 142: 1141–1153.
- Ribeiro, R. S., G. T. B. T. Egito, and C. F. B. Haddad. 2005. Chave de Identificação: anfíbios anuros da vertente de Jundiaí da Serra do Japi, Estado de São Paulo. *Biota Neotrop.* 5: 1–15.
- Ribeiro-Júnior, M. A., R. V. Rossi, C. L. Miranda, and T. C. S. Ávila-Pires. 2011. Influence of pitfall trap size and design on herpetofauna and small mammal studies in a Neotropical forest. *Zoologia* 28: 80–91.
- Ribeiro-Júnior, J. W., and J. Bertoluci. 2009. Anuros do cerrado da Estação Ecológica e da Floresta Estadual de Assis, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 9: 207–216.
- Rievers, C. R. 2010. Anfíbios anuros de serrapilheira do Parque Estadual do Rio Doce: resposta à disponibilidade de recursos e aos fatores climáticos. M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Roberto, I. J., and D. Loebmann. 2016. Composition, distribution patterns, and conservation priority areas for the herpetofauna of the state of Ceará, northeastern Brazil. *Salamandra*, 52: 134–152.
- Roberto, I. J., C. R. Oliveira, J. A. A. Filho, H. F. Oliveira, and R. W. Ávila. 2017. The herpetofauna of the Serra do Urubu mountain range: a key biodiversity area for conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Pap. Avulsos Zool.* 57: 347–373.
- Roberto, I. J., S. C. Ribeiro, and D. Loebmann. 2013. Amphibians of the state of Piauí, Northeastern Brazil: a preliminary assessment. *Biota Neotrop.* 13: 322–330.
- Rocha, C. F. D., D. Vrcibradic, M. C. Kiefer, C. C. Siqueira, M. Almeida-Gomes, V. N. T. Borges-Júnior, F. H. Hatano, A. F. Fontes, J. A. L. Pontes, T. Klaion, L. O. Gil, and M. Van Sluys. 2011. Parameters from the community of leaf-litter frogs from Estação Ecológica Estadual Paraíso, Guapimirim, Rio de Janeiro State, southeastern Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 83: 1259–1267.
- Rocha, C. F. D., D. Vrcibradic, M. C. Kiefer, M. Almeida-Gomes, V. N. T. Borges-Júnior, P.

- C. F. Carneiro, R. V. Marra, P. Almeida-Santos, C. C. Siqueira, P. Goyannes-Araújo, C. G. A. Fernandes, E. C. N. Rubião, and M. Van Sluys. 2007. A survey of the leaf-litter frog assembly from an Atlantic forest area (Reserva Ecológica de Guapiaçu) in Rio de Janeiro state, Brazil, with an estimate of frog densities. *Tropical Zoology* 20: 99–108.
- Rocha, C. F. D., D. Vrcibradic, M. C. Kiefer, M. Almeida-Gomes, V. N. T. Borges-Junior, V. A. Menezes, C. V. Ariani, J. A. L. Pontes, P. Goyannes-Araújo, R. V. Marra, D. M. Guedes, C. C. Siqueira, and M. Van Sluys. 2013. The leaf-litter frog community from Reserva Rio das Pedras, Mangaratiba, Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil: species richness, composition and densities. *North-West J. Zool.* 9: 151–156.
- Rocha, C. F. D., F. H. Hatano, D. Vrcibradic, and M. Van Sluys. 2008. Frog species richness, composition and  $\beta$ -diversity in coastal Brazilian restinga habitats. *Braz. J. Biol.* 68: 109–115.
- Rocha, C. F. D., H. G. Bergallo, M. A. S. Alves, M. Van Sluys, R. Mazzoni, and S. B. Santos. 2009. Fauna de ambientes de interiores, pp. 163–245. In M. Bastos, and C. H. Callado (eds.), *O Ambiente da Ilha Grande*. EURJ/CEADS, Rio de Janeiro, Brazil.
- Rocha, C. F. D., M. Van Sluys, M. A. S. Alves, H. G. Bergallo, and D. Vrcibradic. 2001. Estimates of forest floor litter frog communities: a comparison of two methods. *Austral Ecol.* 26: 14–21.
- Rocha, C. F. R., H. G. Bergallo, J. P. Pombal Jr., L. Geise, M. Van Sluys, R. Fernandes, and U. Caramaschi. 2004. Fauna de anfíbios, répteis e mamíferos do Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. *Publ. Avul. Mus. Nac.* 104: 3–23.
- Rocha, V. C. 2013. Variação espacial e temporal da comunidade de anfíbios anuros em remanescentes de Floresta Ombrófila Densa da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis – SC. B.S. thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Rödder, D., R. B. Narcizo, R. L. Teixeira, and W. Pertel. 2006. Bemerkungen zur Anurendiversität und -ökologie in einem Reservat im Atlantischen Regenwald in Südost Brasilien. *Sauria*, 28: 27–38
- Röder, D., R. L. Teixeira, R. B. Ferreira, R. B. Dantas, W. Pertel, and G. J. Guarneire. 2007. Anuran hotspots: the municipality of Santa Teresa, Espírito Santo, Southeastern Brazil. *Salamandra* (Frankf.) 43: 91–110.
- Rodrigues, R. G., I. F. Machado, and A. U. Christoff. 2008. Anurofauna em área antropizada no Campus Ulbra, Canoas, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biodivers. Pampeana* 6: 39–43.
- Rolim, 2009. Bioecologia de *Odontophrynus moratoi* (Amphibia, Anura, Cycloramphidae). M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

- Rolim, 2013. Estrutura da comunidade de anfíbios da região de Bauru, SP. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Rosa, A. 2017. Levantamento preliminar da herpetofauna do Parque Nacional de São Joaquim, Santa Catarina, Brasil. B.S. thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Rossa-Feres, D. C., and J. Jim. 1996. Distribuição espacial em comunidades de girinos na região de Botucatu, São Paulo (Amphibia, Anura). *Rev. Bras. Biol.*, 56: 309–316.
- Rossa-Feres, D. C., and J. Jim. 2001. Similaridade do sítio de vocalização em uma comunidade de anfíbios anuros na região noroeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Zool.* 18: 439–454.
- Rossa-Feres, D. C., and F. Nomura. 2006. Caracterização e chave taxonômica para girinos (Amphibia: Anura) da região noroeste do estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 6: 1–26.
- Rossa-Feres, D. C., R. J. Sawaya, J. Faivovich, J. G. R. Giovanelli, C. A. Brasileiro, L. Schiesari, J. Alexandrino, and C. F. B. Haddad. 2011. Amphibians of São Paulo State, Brazil: state-of-art and perspectives. *Biota Neotrop.* 11: 1–19.
- Rossa-Feres, D. C., V. H. M., Prado, F. R. Da Silva, and H. J. Almeida. 2012. Diversidade de anuros em fragmentos florestais remanescentes na região noroeste do estado de São Paulo, pp. 207–222. In O. Necchi Jr. (eds.), *Fauna e Flora de Fragmentos florestais remanescentes da região noroeste do Estado de São Paulo*. Fapesp, São José do Rio Preto, Brazil.
- Rossa-Feres, D. C., M. V. Garey, U. Caramaschi, M. F. Napoli, F. Nomura, A. A. Bispo, C. A. Brasileiro, M. T. C. Thomé, R. J. Sawaya, C. E. Conte, C. A. G. Cruz, L. B. Nascimento, J. L. Gasparini, A. P. Almeida, and C. F. B. Haddad. 2017. Anfíbios da Mata Atlântica: lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação, pp. 237-314. In E. L. A. Monteiro-Filho and C. E. Conte (eds.), *Revisões em zoologia: Mata Atlântica*. Ed. UFPR, Curitiba, Brazil.
- Sabbag, A. F., and J. Zina. 2011. Anurofauna de uma mata ciliar no município de São Carlos, estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 11: 179–188.
- Sabagh, L. T., R. B. Ferreira, and C. F. D. Rocha. 2017. Host bromeliads and their associated frog species: further considerations on the importance of species interactions for conservation. *Symbiosis* 73: 201–211.
- Salles, R. O. L., L. N. Weber, and T. Silva-Soares. 2009. Amphibia, Anura, Parque Natural Municipal da Taquara, municipality of Duque de Caxias, state of Rio de Janeiro,

- southeastern Brazil. Check List 5: 840–854.
- Santana, D. J., V. A. São Pedro, P. S. Hote, H. M. Roberti, A. C. Sant'Anna, C. A. Figueiredo-de-Andrade, and R. N. Feio. 2010. Anurans in the region of the high Muriaé river, state of Minas Gerais, Brazil. *Herpetol. Notes* 3: 1–10.
- Santana, G. G., W. L. S. Vieira, G. A. Pereira-Filho, F. R. Delfim, Y. C. C. Lima, and K. S. Vieira. 2008. Herpetofauna em um fragmento de Floresta Atlântica no Estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil. *Biotemas* 21: 75–84.
- Santos, E. J. 2013b. Diversidade de anfíbios anuros em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual. M.S. thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Santos, E. M. 2011. Anfíbios anuros do Refúgio Ecológico Charles Darwin, Igarassu, Pernambuco, Brasil, pp. 125–134. In G. J. B. Moura, E. M. Santos, M. A. B. Oliveira, and M. C. C. Cabral (eds.), *Herpetologia do Estado de Pernambuco*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brazil.
- Santos, E. M., and G. J. B. Moura. 2012. Os anfíbios da Estação Ecológica do Tapacurá, p. 235–268. In G. J. B. Moura, S. M. A. Júnior, and A. C. A. El-Deir (eds.), *A biodiversidade da Estação Ecológica do Tapacurá: uma proposta de manejo e conservação*. UFRPE, Recife, Brazil.
- Santos, P. S. 2003. Utilização de habitats, padrões de atividade reprodutiva e fenologia larval de uma taxocenose de anuros da Mata Atlântica do sudeste do Brasil. Ph.D. dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Santos, P. S. 2013a. Herpetofauna do corredor Sossego-Caratinga, Mata Atlântica no Sudeste do Brasil: estruturas das comunidades e influência da paisagem. Ph.D. dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Santos, S. P. L. 2009. Diversidade e distribuição temporal de anfíbios anuros na RPPN Frei Caneca, Jaqueira, Pernambuco. B.S. thesis, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Santos, T. G. S., K. Kopp, M. R. Spies, R. Trevisan, and S. Z. Cechin. 2008. Distribuição temporal e espacial de anuros em área de Pampa, Santa Maria, RS. *Iheringia, Sér. Zool.* 98: 244–253.
- Santos, T. G., D. C. Rossa-Feres, and L. Casatti. 2007. Diversidade e distribuição espaço-temporal de anuros em região com pronunciada estação seca no sudeste do Brasil. *Iheringia, Sér. Zool.* 97: 37–49.
- Santos, T. G., S. Iop, and S. S. Alves. 2014. Anfíbios dos Campos Sulinos: diversidade, lacunas de conhecimento, desafios para conservação e perspectivas. *Herpetologia*

- Brasileira 3: 51–59.
- Santos, T. G., T. S. Vasconcelos, D. C. Rossa-Feres, and C. F. B. Haddad. 2009. Anurans of a seasonally dry tropical forest: Morro do Diabo. *J. Nat. Hist.* 43: 973–993.
- Santos-Pereira, M., A. Candaten, D. Milani, F. B. Oliveira, J. Gardelin, and C. F. D. Rocha. 2011. Seasonal variation in the leaf-litter frog community (Amphibia: Anura) from an Atlantic Forest area in the Salto Morato Natural Reserve, southern Brazil. *Zoologia* 28: 755–761.
- Santos-Pereira, M., D. Milani, L. F. Barata-Bittencourt, T. M. Iapp, and C. F. D. Rocha. 2016. Anuran species of the Salto Morato Nature Reserve in Paraná, southern Brazil: review of the species list. *Check List* 12: 1907.
- São-Pedro, V. A., and R. N. Feio. 2011. Anuran species composition from Serra do Ouro Branco, southernmost Espinhaço Mountain Range, state of Minas Gerais, Brazil. *CheckList* 7: 671–680.
- Sasso, T., C. M. Lopes, A. Valentini, T. Dejean, K. R. Zamudio, C. F. B. Haddad, and M. Martins. 2017. Environmental DNA characterization of amphibian communities in the Brazilian Atlantic forest: potential application for conservation of a rich and threatened fauna. *Biol. Conserv.* 215: 225–232.
- Sawaya, R. J. 1999. Diversidade, densidade e distribuição altitudinal da anurofauna de serapilheira da Ilha de São Sebastião, SP. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sawaya, R. J., O. A. V. Marques, and M. Martins. 2008. Composição e história natural das serpentes de Cerrado de Itirapina, São Paulo, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 8: 127–149.
- Scarpellini Jr., D. G. 2007. Anfíbios anuros de remanescentes de mata e entorno na região de Botucatu, SP (Amphibia, Anura). M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Schiesari, L., and D. T. Corrêa. 2016. Consequences of agroindustrial sugarcane production to freshwater biodiversity. *GCB Bioenergy* 8: 644–657.
- Schineider, J. A. P., and R. L. Teixeira. 2001. Relationship between anuran amphibians and bromeliads of the sandy coastal plain of Regência, Linhares, Espírito Santo, Brazil. *Iheringia, S. Zool.* 91: 41–48.
- Scott Jr., N. J., and B. D. Woodward. 1994. Standard techniques for inventory and monitoring: surveys at breeding sites, pp. 118–125. In W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. C. Hayek, and M. S. Foster (eds.), *Measuring and monitoring*

- biological diversity: standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington DC, EUA.
- Segalla, M. V., U. Caramaschi, C. A. G. Cruz, T. Grant, C. F. B. Haddad, P. C. A. Garcia, B. V. M. Berneck, and J. Langone. 2016. Brazilian amphibians: list of species. *Herpetologia Brasileira* 5: 34–46.
- Serafim, H., S. Ienne, P. J. P. Cicchi, and J. Jim. 2008. Anurofauna de remanescentes de floresta Atlântica do município de São José do Barreiro, Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* 8: 69–78.
- Shibatta, O. A., W. Galves, W. P. D. Carmo, I. P. Lima, E. V. Lopes, and R. A. Machado. 2009. A fauna de vertebrados do campus da Universidade Estadual de Londrina, região norte do estado do Paraná, Brasil. *Semina: Ciênc. Biol. Saúde* 30: 3–26.
- Sierra-Ramírez, N. M. 1998. Análise comparativa entre comunidades de anfíbios anuros do Sudeste Brasileiro e uma região dos Andes Baixos da Venezuela. Ph.D. dissertation, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Silva, A. O. 2014. Análise comparativa dos nichos espacial e alimentar de anuros em áreas de Caatinga e Mata Atlântica de Sergipe, Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.
- Silva, A. S. F. L., S. Siqueira Jr., and J. Zina. 2013. Checklist of amphibians in a transitional area between the Caatinga and the Atlantic Forest, central-southern Bahia, Brazil. *Check List* 9: 725–732.
- Silva, D. O. F. 2011. Estrutura de comunidades de anfíbios e lagartos da Baía de Sepetiba e do Parque Estadual do Cunhambebe (RJ). M.S. thesis, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Silva, H. R., A. L. G. Carvalho, and G. B. Bittencourt-Silva. 2008. Frogs of Marambaia: a naturally isolated Restinga and Atlantic Forest remnant of southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 8: 167–174.
- Silva, H. R., A. L. G. Carvalho, and G. B. Bittencourt-Silva. 2011. Selecting a hiding place: anuran diversity and the use of bromeliads in a threatened coastal sand dune habitat in Brazil. *Biotropica* 43: 218–227.
- Silva, J. S. B. 2007b. A influência do habitat em comunidades de anuros em uma área no limite sul de distribuição da Mata Atlântica: implicações no manejo e conservação. M.S. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Silva, R. A. 2007a. Influência da heterogeneidade ambiental na diversidade, uso de hábitat e bioacústica de anuros de área aberta no noroeste paulista. M.S. thesis, Universidade

- Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Silva, R. G., and G. J. B. Moura. 2011. Abundância, riqueza e especificidade microambiental da anurofauna no complexo da Mata Atlântica de Aldeia - PE, pp. 135–148. In G. J. B. Moura, E. M. Santos, M. A. B. Oliveira, and M. C. C. Cabral (eds.), Herpetologia do Estado de Pernambuco, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brazil.
- Silvano, D. L. 1999. Padrões de distribuição espacial e temporal e potencial indicador de qualidade ambiental dos anuros (Amphibia) na região da APA São José e entorno, MG, Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Silvano, D. L., and B. V. S. Pimenta. 2003. Diversidade e distribuição de anfíbios na Mata Atlântica do sul da Bahia. In P. I. Prado, E. C. Landau, R. T. Moura, L. P. S. Pinto, G. A. B. Fonseca, and K. Alger K. (eds.), Corredor de biodiversidade na Mata Atlântica do sul da Bahia. CD-ROM,IESB/CI/CABS/UFMG/UNICAMP, Ilhéus, Brazil.
- Silvano, D. L., and M. V. Segalla. 2005. Conservação de anfíbios no Brasil. Megadiversidade 1: 79–86.
- Silvano, D. L., and M. V. Segalla. 2005. Conservation of Brazilian amphibians. Conserv. Biol. 19: 653–658.
- Silva-Soares, T., and P. V. Scherrer. 2013. Amphibians of Parque Estadual do Forno Grande, State of Espírito Santo, Southeastern Brazil: species composition and conservation. North-West J. Zool. 9: 113–120.
- Silva-Soares, T., F. Hepp, P. N. Costa, C. Luna-Dias, M. R. Gomes, A. M. P. T. Carvalho e Silva, and S. P. Carvalho e Silva. 2010. Anfibios anuros da RPPN Campo Escoteiro Geraldo Hugo Nunes, Município de Guapimirim, Rio de Janeiro, sudeste do Brasil. Biota Neotrop. 10: 225–233.
- Siqueira, C. C., D. Vrcibradic, M. Almeida-Gomes, V. A. Menezes, V. N. T. Borges-Junior, F. H. Hatano, J. A. L. Pontes, P. Goyannes-Araújo, D. M. Guedes, M. Van Sluys, and C. F. D. Rocha. 2011a. Species composition and density estimates of the anurofauna of a site within the northernmost large Atlantic Forest remnant (Parque Estadual do Desengano) in the state of Rio de Janeiro, Brazil. Biota Neotrop. 11: 131–137.
- Siqueira, C. C., D. Vrcibradic, M. Almeida-Gomes, V. N. T. Borges-Junior, P. Almeida-Santos, M. Almeida-Santos, C. V. Ariani, D. M. Guedes, P. Goyannes-Araújo, T. A. Dorigo, M. Van Sluys, and C. F. D. Rocha. 2009. Density and richness of leaf litter frogs (Amphibia: Anura) of an Atlantic Rainforest area in the Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro State, Brazil. Rev. Bras. Zool. 26: 97–102.
- Siqueira, C. C., D. Vrcibradic, T. A. Dorigo, and C. F. D. Rocha. 2011b. Anurans from two

- high-elevation areas of Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia* 29: 457–464.
- Smith, P., K. Atkinson, J. Brouard, and H. Pheasey. 2016. Reserva Natural Laguna Blanca, Departamento San Pedro: Paraguay's first important area for the conservation of amphibians and reptiles? *Russ. J. Herpetol.* 23: 25–34.
- Soares, T. S. 2010. Análise histológica do tegumento de anfíbios anuros da Serra dos Órgãos, Município de Teresópolis, Estado do Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil. M.S. thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Stuart, S. N., J. S. Chanson, N. A. Cox, B. E. Young, A. S. L. Rodrigues, D. L. Fischman, and R. W. Waller. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306: 1783–1786.
- Sullivan, B. K. 2012. Road riding, pp. 215–218. In R. W. McDiarmid, M. S. Foster, C. Guyer, J. W. Gibbons, and N. Chernoff (eds.), *Reptile biodiversity: standard methods for inventory and monitoring*. University of California Press, Berkeley, EUA.
- Tabarelli, M., L. P. Pinto, J. M. C. Silva, M. M. Hirota, and L. C. Bedê. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megabiodiversidade* 1: 132–138.
- Tabarelli, M., A. V. Aguiar, M. C. Ribeiro, J. P. Metzger, and C. A. Peres. 2010. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation* 143: 2328–2340.
- Tacioli, A. 2012. Padrão temporal de atividade de vocalização da anurofauna de dois ambientes aquáticos em uma área de compensação ambiental, Serra de Paranapiacaba, SP. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Teixeira, M. G. 2009. Distribuição espacial e temporal de comunidade de anfíbios anuros de remanescente de mata na região de Botucatu, SP. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Teixeira, R. L., D. Rödder, G. I. Almeida, A. P. Schineider, G. Zeidan, and S. Lopes. 2007b. Artzusammensetzung und jahreszeitliche Abundanzmuster in drei Anurengesellschaften an der Küste Südost-Brasiliens. *Sauria* 29: 33–45.
- Teixeira, R. L., P. S. M. Mili, and D. Rödder. 2006. Ecology of anurans inhabiting bromeliads in a saxicolous habitat of southeastern Brazil. *Salamandra (Frankf.)* 42: 155–163.
- Teixeira, R. L., R. B. Ferreira, and D. Rödder. 2008. Diversity and abundance variations of anurans at a permanent pond in Suruaca's Valley, Linhares, Espírito Santo, southeastern Brazil. *Amphibia* 7: 20–25.

- Teixeira, R. L., R. B. Ferreira, R. B. Dantas, and W. Pertel. 2007a. Diversidade anfíbios anuros no entorno da Reserva Biológica Augusto Ruschi, Sudeste do Brasil, pp. 95–100. In L. A. Vieira, and A. M. Assis (eds.), *Planejando paisagens sustentáveis no corredor central da Mata Atlântica uma experiência na Região Centro-Serrana do Espírito Santo*. Associação de Produtores e Moradores da Área de Influência da Reserva Biológica Augusto Ruschi, Santa Teresa, Brazil.
- Teixeira, R. L., R. B. Ferreira, T. Silva-Soares, M. M. Mageski, W. Pertel, D. Rödder, E. H. Barros, and J. O. Engler. 2015. Anuran community of a cocoa agroecosystem in southeastern Brazil. *Salamandra (Frankf.)* 51: 1–4.
- Telles, F. B. S., V. A. Menezes, T. Maia-Carneiro, T. Arnt Dorigo, G. R. Winck, and C. F. D. Rocha. 2012. Anurans from the “Restinga” of Parque Natural Municipal de Grumari, state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Check List* 8: 1267–1273.
- Thompson, M. E., Nowakowski, A. J., and Donnelly, M. A. 2016. The importance of defining focal assemblages when evaluating amphibian and reptile responses to land use. *Conserv. Biol.* 30: 249–258.
- Toledo, G. M. 2013. Supracomunidade de helmintos associados a anfíbios: uso do habitat, modo reprodutivo dos hospedeiros e distribuição espacial dos parasitas. M.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Toledo, L. F., J. Zina, and C. F. B. Haddad. 2003. Distribuição espacial e temporal de uma comunidade de anfíbios anuros do município de Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Holos Environment* 3: 136–149.
- Tonetto, M. 2008. Avaliação do efeito da toxicidade das águas superficiais de rizicultura sobre a diversidade de anfíbios, Turvo (SC). M.S. thesis, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- Tonini, J. F. R., I. S. Mendonça, A. B. Coutinho, and J. L. Gasparini. 2011. Anurans from Costa Bela, state of Espírito Santo, southeastern Brazil: inventory at an urban area and the re-discovery of *Allobates* in the state. *Herpetol. Notes* 4: 435–444.
- Tonini, J. F. R., L. M. Carão, I. S. Pinto, J. L. Gasparini, Y. L. R. Leite, and L. P. Costa. 2010. Non-volant tetrapods from Reserva Biológica de Duas Bocas, State of Espírito Santo, Southeastern Brazil. *Biota Neotrop.* 10: 339–351.
- Torres, P. F. 2012. Uso de ambientes por anfíbios anuros em seis parques urbanos de Belo Horizonte, Minas Gerais. M.S. thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Trevine, V., M. C. Forlani, C. F. B. Haddad, and H. Zaher. 2014. Herpetofauna of

- Paranapiacaba: expanding our knowledge on a historical region in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *Zoologia* 31: 126–146.
- Uetanabaro, M., F. L. Souza, P. L. Filho, A. F. Beda, and R. A. Brandão. 2007. Anfíbios e répteis do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Biota Neotrop.* 7: 279–289.
- Vaira, M., M. Akmentins, M. Attademo, D. Baldo, D. Barrasso, S. Barrionuevo, N. Basso, B. Blotto, S. Cairo, R. Cajade, J. Céspedes, V. Corbalán, P. Chilote, M. Duré, C. Falcione, D. Ferraro, F. R. Gutierrez, M. R. Ingaramo, C. Junges, R. Lajmanovich, J. N. Lescano, F. Marangoni, L. Martinazzo, R. Martí, L. Moreno, G. S. Natale, J. M. P. Iglesias, P. Peltzer, L. Quiroga, S. Rosset, E. Sanabria, L. Sanchez, E. Schaefer, C. Úbeda, and V. Zaracho. 2012. Categorización del estado de conservación de los anfibios de la República Argentina. *Cuad. herpetol.* 26: 131–159.
- Valdujo, P. H. 2011. Diversidade e distribuição de anfíbios no Cerrado: o papel dos fatores históricos e dos gradientes ambientais. Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Valdujo, P. H., R. S. Recoder, M. M. Vasconcellos, and A. S. Portella. 2009. Amphibia, Anura, São Desidério, western Bahia uplands, northeastern Brazil. Check List 5: 903–911.
- Valencia-Aguilar, A., L. F. Toledo, M. V. C. Vital, and T. Mott. 2016. Seasonality, environmental factors, and host behavior linked to disease risk in stream-dwelling tadpoles. *Herpetologica* 72: 98–106.
- Van Sluys, M., C. D. F. Rocha, F. H. Hatano, L. Boquimpani-Freitas, and R. V. Marra. 2004. Anfíbios da restinga de Jurubatiba: composição e história natural, pp. 165–178. In C. F. D. Rocha, F. R. Scarano, and F. A. Esteves (eds.), *Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba: ecologia, história natural e conservação*. RiMa, São Carlos, Brazil.
- Van Sluys, M., D. Vrcibradic, M. A. S. Alves, H. G. Bergallo, and C. F. D. Rocha. 2007. Ecological parameters of the leaf-litter frog community of an Atlantic Rainforest area at Ilha Grande, Rio de Janeiro State, Brazil. *Austral Ecol.* 32: 254–260.
- Vancine, M. H. 2015. Efeito da fragmentação sobre a persistência de anfíbios anuros (Amphibia: Anura) na Mata Atlântica. B.S. thesis, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Vasconcelos, T. S., and D. C. Rossa-Feres. 2005. Diversidade, distribuição espacial e temporal de anfíbios anuros (Amphibia, Anura) na região noroeste do estado de São

- Paulo, Brasil. Biota Neotrop. 5: 1–14.
- Vasconcelos, T. S., T. G. Santos, C. F. B. Haddad, and D. C. Rossa-Feres. 2010. Climatic variables and altitude as predictors of anuran species richness and number of reproductive modes in Brazil. *J. Trop. Ecol.* 26: 423–432.
- Verdade, V. K., M. T. Rodrigues, and D. Pavan. 2009. Anfíbios anuros da região da Estação Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, pp. 579–604. In M. I. M. S. Lopes, M. Kirizawa, and M. M. R. F. Melo (eds.), Patrimônio da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba: a antiga estação biológica do Alto da Serra. Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Vilela, V. M. F. N. 2012. Anfíbios anuros em áreas em processo de restauração florestal após mineração de bauxita, Poços de Caldas-MG. M.S. thesis, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Vilela, V. M. F. N., R. A. Brassaloti, and J. Bertoluci. 2011. Anurofauna da floresta de restinga do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, Sudeste do Brasil: composição de espécies e uso de sítios reprodutivos. *Biota Neotrop.* 11: 83–93.
- Vrcibradic, D., C. F. D. Rocha, M. C. Kiefer, F. H. Hatano, A. F. Fontes, M. Almeida-Gomes, C. C. Siqueira, J. A. L. Pontes, V. N. T. Borges-Junior, L. O. Gil, T. Klaion, E. C. N. Rubião, and M. Van Sluys. 2011. Herpetofauna, Estação Ecológica Estadual do Paraíso, state of Rio de Janeiro, southeastern Brazil. *Check List* 7: 245–249.
- Wachlevski, M., and C. F. D. Rocha. 2010. Amphibia, Anura, restinga of Baixada do Maciambu, municipality of Palhoça, state of Santa Catarina, southern Brazil. *Check List* 6: 602–604.
- Wachlevski, M., L. K. Erdtmann, and P. C. A. Garcia. 2014. Anfíbios anuros em uma área de Mata Atlântica da Serra do Tabuleiro, Santa Catarina. *Biotemas*, 27: 97–107.
- Wake, D. B., and V. T. Vredenburg. 2008. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *PNAS* 105: 11466–11473.
- Weiler, A., K. Nuñez, K. Airaldi, E. Lavilla, S. Peris, and D. Baldo. 2013. Anfibios del Paraguay. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. Universidad de Salamanca, San Lorenzo, Paraguay.
- Wells, K. D. 2007. The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago Press, Chicago, EUA.
- Whiles, M. R., K. R. Lips, C. M. Pringle, S. S. Kilham, R. J. Bixby, R. Brenes, S. Connelly, J. C. Colon-Gaud, M. Hunte-Brown, A. D. Huryn, C. Montgomery, and S. Peterson. 2006. The effects of amphibian population declines on the structure and function of

- Neotropical stream ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 27–34.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*, 2nd ed. Springer-Verlag New York, 2009.
- Wood, K. A., E. O. Lavilla, and B. R. Garcete-Barrett. 2013. Anuros de la Reserva de Recursos Manejados Ybyturuzú. Un enfoque sobre su estado de conservación. *Rep. cient. FACEN* 4: 21–33.
- Xavier, A. L., and M. F. Napoli. 2011. Contribution of environmental variables to anuran community structure in the Caatinga Domain of Brazil. *Phyllomedusa* 10: 45–64.
- Xavier, A. L., T. B. Guedes, and M. F. Napoli. 2015. Biogeography of anurans from the poorly known and threatened coastal sandplains of eastern Brazil. *PLoS ONE* 10: e0128268.
- Yamamoto, M., and J. Bertoluci. 2013. Anfíbios e anuros em áreas de floresta plantada no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo: uma contribuição para a conservação da Biodiversidade. 3i Editora, Belo Horizonte, Brazil.
- Yanzen, R., and T. R. N. Costa. 2014. Anurofauna, pp. 236–244. In A. M. Gealh, and M. S. Melo (eds.), Rio São João, Carambeí-PR: fonte de vida, cuidados devidos. Editora UEPG, Ponta Grossa, Brazil.
- Young, B. E., K. R. Lips, J. K. Reaser, R. Ibáñez, A. W. Salas, J. R. Cedeño, L. A. Coloma, S. Ron, E. La Marca, J. R. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chaves, and D. Romo. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conserv. Biol.* 15: 1213–1223.
- Zaher, H., E. Aguiar, and J. P. Pombal Júnior. 2005. *Paratelmatobius gaigeae* (Cochran 1938) re-discovered (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). *Arq. Mus. Nac.* 63: 321–328.
- Zamudio, K. R., R. C. Bell, R. C. Nali, C. F. B. Haddad, and C. P. A. Prado. 2016. Polyandry, predation, and the evolution of frog reproductive modes. *Am. Nat.* 188: 41–61.
- Zanella, N., A. Paula, S. A. Guaragni, and L. S. Machado. 2013. Herpetofauna do Parque Natural Municipal de Sertão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biota Neotrop.* 13: 290–298.
- Zank, C., M. D. Freire, and P. Colombo. 2013. Anfíbios, 134–137. In D. Castro. (eds.), *Atlas ambiental da bacia hidrográfica do rio Tramandaí*. Via Sapiens, Porto Alegre, Brazil.
- Zina, J., C. P. A. Prado, C. A. Brasileiro, and C. F. B. Haddad. 2012. Anurans of the sandy coastal plains of the Lagamar Paulista, state of São Paulo, Brazil. *Biota Neotrop.* 12: 251–260.
- Zina, J., J. Ennser, S. C. P. Pinheiro, C. F. B. Haddad, and L. F. Toledo. 2007. Taxocenose de anuros de uma mata semidecídua do interior do Estado de São Paulo e comparações com

- outras taxocenoses do Estado, sudeste do Brasil. *Biota Neotrop.* 7: 49–58.
- Zocca, C., J. F. R. Tonini, and R. B. Ferreira. 2014. Uso do espaço por anuros em ambiente urbano de Santa Teresa, Espírito Santo. *Bol. Mus. Biol. Mello Leitão (N. Sér.)* 35: 105–117.

## CAPÍTULO II

### **CORRAM PARA AS COLINAS! EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE SAPOS MINIATURIZADOS DA MATA ATLÂNTICA**

Maurício Humberto Vancine, Juliane Petry de Carli Monteiro, João Paulo de Cortes, João Gabriel Ribeiro Giovanelli, João Alexandrino, Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro, Thiago Sanna Freire Silva, Milton Cezar Ribeiro, Thadeu Sobral-Souza, Thais Helena Condez<sup>1</sup>, Célio Fernando Baptista Haddad

Tipo de manuscrito: artigo, seguindo as normas da revista “Diversity and Distributions”

## CORRAM PARA AS COLINAS! EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE SAPOS MINIATURIZADOS DA MATA ATLÂNTICA

Maurício Humberto Vancine<sup>1,\*</sup>, Juliane Petry de Carli Monteiro<sup>1</sup>, João Paulo de Cortes<sup>1</sup>, João Gabriel Ribeiro Giovanelli<sup>1</sup>, João Alexandrino<sup>3</sup>, Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro<sup>4</sup>, Thiago Sanna Freire Silva<sup>4</sup>, Milton Cezar Ribeiro<sup>2</sup>, Thadeu Sobral-Souza<sup>2,5</sup>, Thais Helena Condez<sup>1</sup>, Célio Fernando Baptista Haddad<sup>1</sup>

\* Correspondências e pedido de material devem ser endereçadas a Maurício Humberto Vancine (email: [mauricio.vancine@gmail.com](mailto:mauricio.vancine@gmail.com)).

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Zoologia e Centro de Aquicultura (CAUNESP), Rio Claro, SP, 13506-900, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação, Rio Claro, SP, 13506-900, Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, São Paulo, Brasil

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Ecosystem Dynamics Observatory, Rio Claro, SP, 13506-900, Brasil

<sup>5</sup> Curso de Ciências Biológicas, Universidade Metropolitana de Santos, Unimes, Santos, SP, Brasil.

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do gênero *Brachycephalus*, endêmico de regiões montanhosas da Mata Atlântica.

**Localização:** Hotspot de Biodiversidade da Mata Atlântica, Brasil.

**Métodos:** Utilizamos modelos de nicho ecológico para estimar a distribuição geográfica do gênero *Brachycephalus* para o presente e para diversos cenários climáticos futuros, utilizando 199 pontos de ocorrências de 35 espécies. Devido à grande dependência desse gênero às condições proporcionadas pelas florestas nebulares, utilizamos uma variável de cobertura média anula de nuvens em nossos modelos. Os valores de adequabilidade do presente e do futuro foram relacionados com a altitude, para testar a hipótese de que áreas adequadas ao gênero no presente se localizarão em locais mais elevados no futuro. Além disso, mapeamos regiões geográficas onde poderá haver perda e/ou ganho potencial de adequabilidade, associando esses valores com a presença de fragmentos florestais, para verificar a segunda hipótese de que as áreas mais adequadas no futuro não estarão inseridas em florestas. Por fim, avaliamos a persistência das espécies através dos valores de adequabilidade para as ocorrência das espécies separadamente.

**Resultados:** Nossos resultados indicaram áreas adequadas à ocorrência do gênero ao longo do leste da Mata Atlântica, principalmente em regiões montanhosas da região da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira. Nossos modelos previram perdas significativas de adequabilidade nos cenários futuros analisados, principalmente em áreas da região sul da distribuição geográfica do gênero e ao longo das áreas montanhosas do leste dos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Os resultados ainda indicaram aumento da adequabilidade no futuro, geralmente em regiões acima de 1000 m de altitude. Esses aumentos de adequabilidade em altitudes acima de 1500 m ocorrem em áreas não florestais. Quando analisamos a adequabilidade para as ocorrência das espécies, notamos um padrão de perda de adequabilidade, principalmente para espécies que ocupam regiões abaixo de 1500 m e que dez espécies com distribuição restritas serão mais afetadas pelas mudanças climáticas.

**Principais conclusões:** No futuro, as áreas adequadas ao gênero *Brachycephalus* provavelmente estarão em ambientes mais elevados; contudo, é muito provável que essas novas áreas não possuam remanescentes florestais. Dessa forma, as espécies desse gênero correm alto risco de redução populacional e potenciais extinções em nível populacional e específico, principalmente tratando-se de espécies com distribuição restrita.

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, espécies de montanha, mudanças na distribuição, florestas nebulares, modelos de nicho ecológico, *Brachycephalus*.

## ABSTRACT

**Aim:** To evaluate the effects of climate change on the geographic distribution of the genus *Brachycephalus*, endemic to mountainous regions of the Atlantic Forest.

**Local:** The Atlantic Forest Biodiversity Hotspot, Brazil.

**Methods:** We used ecological niche models to estimate the geographic distribution of the genus *Brachycephalus* for the present and for several future climatic scenarios, using 199 occurrence points of 35 species. Due to the great dependence of this genus on the conditions provided by the nebular forests, we used a variable cloud cover average in our models. The suitability values of the present and the future were related to altitude, to test the hypothesis that areas suitable for the present genus will be located in higher places in the future. In addition, we map geographic regions where there may be loss and/or potential gain of adequacy, associating these values with the presence of forest fragments, to verify the second hypothesis that the most suitable areas in the future will not be inserted in forests. Finally, we evaluated the persistence of the species through the values of suitability for the occurrence of the species separately.

**Results:** Our results indicated suitable areas for the occurrence of the genus along the eastern Atlantic Forest, mainly in the mountainous regions of Serra do Mar and Serra da Mantiqueira. Our models predicted significant losses of suitability in the future scenarios analyzed, mainly in areas of the southern region of the geographic distribution of the genus and along the mountainous areas of the eastern states of Santa Catarina, Paraná and São Paulo. The results also indicated an increase in suitability in the future, generally in regions above 1000 m altitude. These increases in suitability at altitudes above 1500 m occur in non-forest areas. When we analyzed the suitability for species occurrence, we noticed a pattern of loss of suitability, especially for species that occupy regions below 1500 m and that ten species with restricted distribution will be more affected by climate changes.

**Main conclusions:** In future, areas suitable for the genus *Brachycephalus* are likely to be in higher environments; however, these new areas are unlikely to have forest remnants. Thus, species of this genus are at high risk of population reduction and potential extinctions at the population and specific levels, especially when dealing with species with restricted distribution.

**Keywords:** climate change, mountain species, range shifts, cloud forests, ecological niche modeling , *Brachycephalus*.

## 1 INTRODUÇÃO

As modificações da paisagem, juntamente com as mudanças climáticas, invasões biológicas e poluição são apontadas como as principais causas da perda de biodiversidade mundial (Bellard, Bertelsmeier, Leadley, Thuiller, & Courchamp, 2012; Faurby & Araújo, 2018; Hof, Araújo, Jetz, & Rahbek, 2011; Mantyka-Pringle et al., 2015; Pereira et al., 2010; Scheffers et al., 2016). Frente à essas ameaças, torna-se fundamental entender como as espécies serão capazes de responder e sobreviver à imposição dessas novas condições ambientais, sobretudo pelas mudanças climáticas, na mesma velocidade em que essas mudanças têm ocorrido (Corlett & Westcott, 2013; Salamin, Wüest, Lavergne, Thuiller, & Pearman, 2010; Walther et al., 2002). Segundo Bellard et al. (2012), essas respostas irão depender de mecanismos de plasticidade fenotípica e respostas microevolutivas das espécies e ocorrerão através de adaptações espaciais (migração e/ou dispersão), temporais (fenologia) e específicas de cada grupo taxonômico (comportamentais e/ou fisiológicas). Os grupos de espécies mais ameaçadas são aqueles que possuem distribuição restrita, principalmente espécies polares e de topo de montanha (Parmesan, 2006). Dentre os grupos taxonômicos de animais, recifes de corais e anfíbios são listados como os que poderão sofrer maiores reduções populacionais, diminuições da distribuição geográfica e maiores taxas de extinções em resposta às mudanças climáticas (Blaustein et al., 2010; Li, Cohen, & Rohr, 2013).

A alta vulnerabilidade dos anfíbios frente às mudanças climáticas deve-se às suas características morfológicas, fisiológicas e ecológicas particulares, como a alta permeabilidade da pele, baixa capacidade de regulação térmica e complexo ciclo de vida (Becker, Fonseca, Haddad, Batista, & Prado, 2007; Blaustein et al., 2010; Duellman & Trueb, 1994; Li et al. 2013; Wells, 2007). Além disso, os anfíbios, em sua grande maioria, possuem tamanho corporal reduzido e baixa capacidade de locomoção e dispersão em relação a grandes distâncias (Duellman & Trueb, 1994; Wells, 2007). Dessa forma, as respostas perante às mudanças climáticas tendem a ser limitadas, como migrações a curtas distâncias, especialmente para porções mais elevadas de montanhas próximas às suas áreas de ocorrência, ou para regiões onde o uso e cobertura da terra permitem sua movimentação (Araújo, Thuiller, & Pearson, 2006; Bustamante, Ron, & Coloma, 2005; Forero-Medina, Joppa, & Pimm, 2011; Pounds, Fogden, & Campbell, 1999; Pounds, Fogden, & Masters, 2005; Raxworthy et al., 2008). Além da dispersão, os anfíbios podem ainda apresentar respostas comportamentais, como mudança do horário de maior atividade, alteração na fenologia reprodutiva (Catenazzi, 2015; Li et al., 2013; Todd, Scott, Pechmann, & Gibbons, 2011), e tendência na redução do

tamanho corporal através de processo de seleção natural (Reading, 2007). Por fim, a quitridiomicose, causada pelo fungo *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) tem infectado as espécies que têm migrado para regiões mais altas nas montanhas e diminuído drasticamente suas populações (Catenazzi, Lehr, & Vredenburg, 2014; Carnaval, Toledo, Haddad, & Britto, 2005).

Dentre os hotspots mundiais de conservação, a Mata Atlântica é listada como uma das três regiões mais vulneráveis em relação às mudanças climáticas, mudanças no uso e cobertura da terra e aos efeitos negativos de espécies invasoras (Bellard et al., 2014; Colombo & Joly, 2010; Mittermeier, Turner, Larsen, Brooks, & Gascon, 2011). Essa alta vulnerabilidade tem agravado o cenário de conservação dos anfíbios da Mata Atlântica, uma vez que esse bioma é altamente diverso em relação a esse grupo, comportando 625 espécies conhecidas, das quais 485 (~77%) são endêmicas (Rossa-Feres et al., 2017). Em relação às mudanças climáticas, os resultados têm mostrado perda de espécies de anuros de forma geral, mas também dentro das áreas protegidas desse bioma (Lemes, Melo, & Loyola, 2014). Além da perda de espécies, as mudanças do clima poderão causar ainda diminuição da diversidade filogenética para alguns grupos de espécies de anfíbios, fato que ressalta o efeito das mudanças sobre fatores evolutivos desse grupo em áreas protegidas (Loyola, Lemes, Brum, Provete, & Duarte, 2014).

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, Caramaschi, Cruz, & Dias, 2011; Pie et al., 2013; Ribeiro et al., 2015), habitando principalmente a serrapilheira das florestas nebulares, também conhecidas como *Tropical Montane Cloud Forests* (Brujinzeel; Scatena & Hamilton, 2010; Brujinzeel, 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 (Haddad et al., 2008). 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; Mulligan, 2010; Nadkarni & Solano, 2002). Essa mudança pode ameaçar as populações de *Brachycephalus* nesses ambientes, que dificilmente irão acompanhar o banco de nuvens para regiões mais elevadas (Haddad et al., 2008).

Nosso objetivo foi inferir como as mudanças climáticas poderão afetar a distribuição futura de anuros do gênero *Brachycephalus* no Bioma da Mata Atlântica. Utilizamos Modelos de Nicho Ecológico (*Ecological Niche Modeling*) para estimar a distribuição atual e futura desse gênero frente aos cenários de mudanças climáticas, pois esses modelos têm sido amplamente utilizados para tal avaliação, principalmente em relação às mudanças climáticas (Araújo & Peterson, 2012; Hijmans & Graham, 2006; Pearson & Dawson, 2003). Hipotetizamos que no futuro a adequabilidade das áreas de ocorrência atuais das espécies de *Brachycephalus* irá diminuir. Além disso, grande parte dessas novas áreas adequadas irá se localizar em porções mais elevadas do Bioma da Mata Atlântica, onde provavelmente haverá poucos ambientes florestais, comprometendo assim a persistência das populações de *Brachycephalus*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A Mata Atlântica cobria originalmente cerca de 1,5 milhões de km<sup>2</sup>, entre as latitudes 3° S a 30° S e longitudes 35° W a 60° W (Morellato & Haddad, 2000). Sua distribuição era localizada majoritariamente ao longo da costa brasileira, com complexos limites com outros biomas como Pampa, Cerrado e Caatinga (Ribeiro, Metzger, Martensen, Ponzoni, & Hirota, 2009; Ribeiro et al., 2011). Esse bioma detém cerca de 8% do número total de espécies conhecidas no mundo e apresenta um alto índice de endemismos (Joly, Metzger, & Tabarelli, 2014), que pode ser explicado por suas complexas fronteiras de tipos vegetacionais com outros biomas, grande variabilidade altitudinal e efeitos de climas passados que criaram refúgios úmidos (e.g., Morellato & Haddad, 2000; Ribeiro et al., 2009; Carnaval et al., 2014). Porém, a Mata Atlântica vem sofrendo intenso impacto antrópico e atualmente possui entre 11,4% e 16,0% de cobertura florestal original, com 80% de fragmentos menores que 50 hectares, isolados e com baixo índice de conectividade (Ribeiro et al., 2009). A alta taxa de endemismo, somada à enorme biodiversidade e o intenso impacto antrópico, fez com que a Mata Atlântica fosse listada como um dos 35 hotspots para a conservação mundial da biodiversidade (Mittermeier, Turner, Larsen, Brooks, & Gascon, 2011). Em nossas análises, adotamos o limite geográfico do bioma *Atlantic Forests* e *Atlantic dry Forests* de ecossistemas terrestres (*Terrestrial Ecoregions of the World*, Olson et al., 2001). Escolhemos esse limite pelo fato do mesmo ter sido definido em relação a todos os outros biomas do

planeta (*sensu* Olson et al., 2001) e também pelo fato do gênero *Brachycephalus* possuir distribuição endêmica ao Bioma da Mata Atlântica (Barve et al., 2011).

## 2.2 O gênero *Brachycephalus*

O gênero *Brachycephalus* Fitzinger, 1826 é endêmico da Mata Atlântica, sendo composto atualmente por 35 espécies (Frost, 2018), distribuindo-se desde o estado da Bahia até Santa Catarina (Napoli, Caramaschi, Cruz, & Dias, 2011; Pie et al., 2013; Ribeiro et al., 2015). As espécies desse táxon figuram entre os menores vertebrados terrestres, com comprimento rostro-cloacal geralmente inferior a 2,0 cm, além de diversas características selecionadas no processo evolutivo de miniaturização (Clemente-Carvalho et al., 2009). As características morfológicas (tamanho corporal e membros locomotores diminutos) fazem com que esse gênero possua baixa vagilidade e dispersão restrita. Somado a isso, as espécies habitam as encostas das montanhas da Mata Atlântica, em altitudes que variam desde o nível do mar até 1800 m e com elevada declividade, que tendem a isolar ainda mais suas populações (Pombal Jr. et al., 1998; Condez, Clemente-Carvalho, Haddad, & Reis, 2014).

A maior parte das espécies desse táxon possui alta dependência da umidade relativa do ar e habita principalmente a serrapilheira das florestas nebulares (Floresta Ombrófila Densa Alto Montana), que se mantém úmidas graças ao constante choque do banco de nuvens (Bruijnzeel et al., 2010; Bruijnzeel et al., 2011; Falkenberg & Voltolini, 1994; Pompeu et al., 2018). O modo de reprodução do gênero ocorre através de desenvolvimento direto, onde poucos ovos são colocados diretamente sobre a serrapilheira, de onde eclodem juvenis semelhantes aos adultos (Haddad & Prado, 2005). A alta dependência da umidade constante trazida pela névoa das altas altitudes, faz com que as espécies desse gênero sejam altamente dependentes das características do micro-habitat onde habitam. Contudo, previsões das mudanças climáticas indicam que ocorrerá elevação altitudinal dos bancos de nuvens, alterando as condições microclimáticas atuais desses habitats (Foster, 2001; Mulligan, 2010; Nadkarni & Solano, 2002). Dessa forma, as populações das espécies desse gênero serão forçadas a acompanhar o deslocamento das nuvens para manterem as condições microclimáticas ótimas à sua biologia (Haddad et al., 2008). No entanto, devido à sua baixa capacidade de movimentação, essa migração pode não ocorrer ou mesmo ser ineficiente, ameaçando assim a persistência dessas espécies frente às mudanças climáticas globais (Haddad et al., 2008). Somado a isso, para elevadas altitudes, geralmente acima de 2000 m, começa a ocorrer diminuição da floresta em favor de campos de altitude ou rochas expostas,

onde provavelmente as florestas não conseguirão se estabelecer, indisponibilizando essas prováveis novas áreas ao estabelecimento das populações dos *Brachycephalus* (Rehm & Feeley, 2015; Veloso, Rangel Filho, & Lima, 2001).

As ocorrências das espécies desse gênero foram buscadas na literatura (e.g. Vancine et al. in press) e na base on-line do speciesLink (<http://splink.cria.org.br>), além de dados de campo ainda não publicados. Em seguida, todos os registros foram checados e corrigidos espacial e taxonomicamente. No total, foram utilizadas 199 ocorrências de 35 espécies para a construção dos modelos. Optamos por modelar o gênero como uma unidade taxonômica única, uma vez que 15 espécies são conhecidas apenas para sua localidade-tipo, possuindo apenas um registro, e 16 delas possuem menos de 10 ocorrências, inviabilizando a criação de modelos de nicho separados para cada uma dessas 31 espécies com poucos pontos de ocorrência. O número de ocorrências por espécie é descrito na Tabela S1, assim como os pontos de ocorrência podem ser visualizados na Figura S1 no Material Suplementar.

### **2.3 Variáveis ambientais**

As variáveis climáticas utilizadas para a construção dos modelos foram obtidas do banco de dados do WorldClim, versão 1.4 (<http://worldclim.org/version1>; Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvi, 2005). Utilizamos apenas variáveis bioclimáticas, para o período de 1960-1990. As variáveis de projeção climáticas para o futuro foram baseadas no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (CMIP5 - <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip5>) de onde selecionamos apenas dados do CGM ACCESS1-0 por dois motivos, primeiramente proque ele está disponível no WorldClim para a resolução espacial, cenários de emissão de CO<sub>2</sub> e períodos temporais que estudamos; e segundo, o ACCESS1-0 é o único GCM gerado para o hemisfério sul, possuindo assim menores incertezas quanto aos valores de precipitação (Varela, Lima-Ribeiro, & Terribile, 2015). Utilizamos os dados climáticos do futuro para dois cenários de emissão de gases do efeito estufa: RCP 4.5 (otimista), em que as emissões terão um pico em 2040 e depois declinarão, e RCP 8.5 (pessimista), em que as emissões continuam a aumentar ao longo do século XXI (Representative Concentration Pathways – RCP; Meinshausen et al., 2011), para os anos de 2050 (média para 2041-2060) e 2070 (média 2061-2080). Além das variáveis de clima, utilizamos também uma variável de cobertura média anual de nuvens (porcentagem de dias com nuvem multiplicada por 100; Wilson & Jetz, 2016), advinda da base do EarthEnv (<http://www.earthenv.org/cloud>) para construção dos modelos. Para testar nossas hipóteses, utilizamos a relação dos valores de adequabilidade

oriundas dos ENMs: altitude (metros em relação ao nível do mar; Amatulli et al., 2018), que também foi obtida da base do EarthEnv (<http://www.earthenv.org/topography>); e cobertura vegetal (binário – 0: não floresta, 1: floresta), obtida do processamento do uso e cobertura da terra da Mata Atlântica (Ribeiro et al., com. pess.).

Todas as variáveis espaciais utilizadas foram adequadas à extensão do Bioma da Mata Atlântica pelo limite geográfico descrito na seção acima, ajustadas à resolução espacial de 0,0083° (~900 m), utilizando sistema de coordenadas geográficas e Datum WGS 84, no formato *raster* GeoTiff. Para reduzir a dimensionalidade e colinearidade das 19 variáveis bioclimáticas e a porcentagem de nuvens, construímos uma Análise de Componentes Principais (PCA) com valores padronizados, e para os eixos com autovalor acima de um (quatro primeiros eixos com explicação de 90% da variação), selecionamos as variáveis com maior contribuição através dos valores de carga, disponíveis na Tabela S2 no Material Suplementar. Em seguida, dessas variáveis com alta contribuição, selecionamos apenas aquelas com índice de correlação de Spearman menor que  $\rho < 0,6$  e que possuíam valores de Fator de Inflação da Variância (*Variance Inflation Factor - VIF*) próximos a 2, disponíveis na Tabela S3 em Material Suplementar. A correlação das variáveis selecionadas está descrita na Figura S2, em Material Suplementar. A PCA foi feita através da função “*prcomp*” do pacote *vegan* e a correlação calculada através da função “*vifcor*” do pacote *usdm* no software R v. 3.4.0 (Guisan, Thuiller, & Zimmermann, 2017; R Development Core Team, 2018). As variáveis selecionadas para a construção dos ENMs foram: BIO02 (variação diurna média de temperatura (média mensal - Tmax-Tmin)), BIO08 (temperatura média do trimestre mais úmido), BIO13 (precipitação do mês mais chuvoso), BIO19 (precipitação do trimestre mais frio) e nuvens (porcentagem de dias com nuvem multiplicada por 100); as variáveis utilizadas para testar as hipóteses foram: altitude (metros em relação ao nível do mar) e cobertura vegetal (binário – 0: não floresta, 1: floresta). Os mapas dessas variáveis podem ser vistos na Figura S3 em Material Suplementar.

## 2.4 Modelos Nicho Ecológico

Utilizamos Modelos de Nicho Ecológico (*Ecological Niche Modeling - ENM*) para encontrar áreas ambientalmente adequadas à ocorrência das espécies, tanto no presente, quanto no futuro. Fizemos uso de quatro algoritmos, incluindo dois de apenas presença: (1) Bioclim (Nix, 1986) e (2) Domain – Gower Distance (Carpenter, Gillison, & Winter, 1993); e dois de presença e pseudoausência: (3) Maximum Entropy – MaxEnt v. 3.4.1 (Phillips, Anderson,

Dudík, Schapire & Blair, 2017) e (4) Support Vector Machine – SVM (Tax & Duin, 2004; Drake, Randin, & Guisan, 2006). Esses algoritmos inferem o nicho das espécies de diferentes formas, resultando em diferentes distribuições geográficas. Dessa forma, o uso combinado (consenso - *ensemble*) desses algoritmos tende a aumentar a acurácia dos resultados das predições, por considerarem diferentes tolerâncias na distribuição potencial das espécies (Araújo & New, 2007; Diniz-Filho et al., 2009; Guisan et al., 2017; Qiao, Soberón, & Peterson, 2015).

Construímos os modelos particionando os dados de ocorrência em 70% para treino e 30% para teste. Essa partição foi realizada 10 vezes de modo aleatório para cada algoritmo, para o presente e também para os dois períodos no futuro (2050 e 2070) e cenários de emissões (RCP 4.5 e RCP 8.5). Assim, obtivemos um total de 200 mapas (4 algoritmos × 10 réplicas x 5 períodos e projeções). Utilizamos o limite de corte “Maximização da soma da sensibilidade-especificidade” (*Sensitivity-specificity sum maximization*; Liu, Newell, & White, 2016) para transformar os mapas contínuos em mapas binários e para calcular os valores de avaliação (*True Skill Statistics* – TSS; Allouche, Tsoar, & Kadmon, 2006). O valor de limite de corte foi calculado para os modelos do presente e utilizado para os modelos do futuro. Adotamos esse limiar porque o mesmo minimiza os erros de omissão e comissão, gerando modelos mais conservadores (restritivos) para cada algoritmo (Liu et al., 2016). A partir dos mapas binários (presença e ausência), utilizaremos o método de *ensemble* por frequência (Araújo & New, 2007; Diniz-Filho et al., 2009; Qiao et al., 2015) para somar os mapas, primeiramente dos mesmos algoritmos e em seguida entre algoritmos, para gerar os mapas finais de distribuição das espécies, tanto para o presente, quanto para os cenários e períodos do futuro. Assim, os valores das células dos mapas finais variaram de 0 a 40. Esse valores foram então divididos por 40, para resultar em mapas com valores entre 0 e 1, representando a frequência em que cada célula foi predita como adequada (Sobral-Souza, Lima-Ribeiro, & Solferini, 2015). Todos os modelos foram gerados no software R (R Development Core Team, 2018), através das funções “bioclim”, “gower” e “maxent” do pacote *dismo* (Hijmans et al., 2017) e “ksvm” do pacote *kernlab* (Karatzoglou, Smola, Hornik, & Zeileis, 2004), além da utilização dos pacotes *raster* (Hijmans, 2017) e *rgdal* (Bivand, Keitt, & Rowlingson, 2017) para realizar os *ensembles*.

## **2.5 Mudanças na distribuição e persistência das espécies de *Brachycephalus* frente às mudanças climáticas**

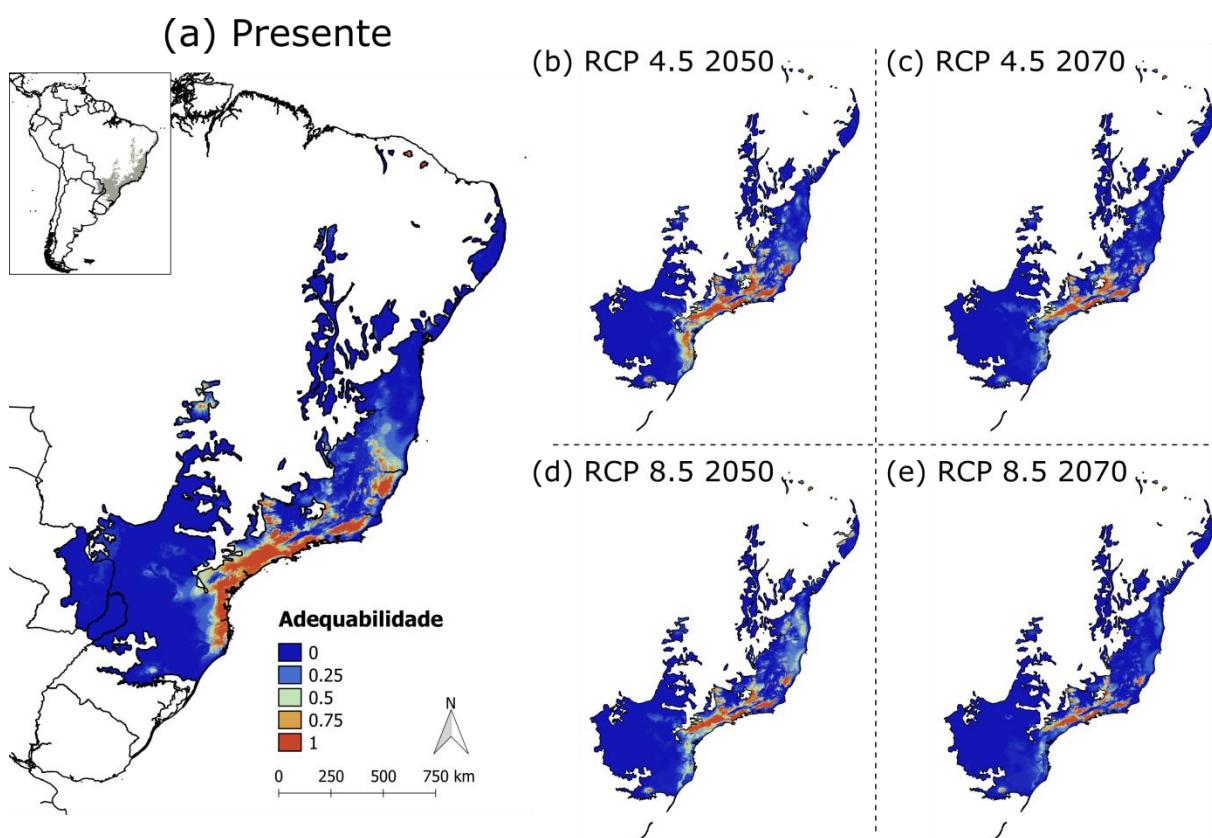
Para avaliar as possíveis mudanças na distribuição do gênero *Brachycephalus* frente às mudanças climáticas e testar nossas hipóteses, construímos GLMs (*Generalized Linear Models*), com distribuição de resíduos considerada como binomial (Zuur et al., 2009), para todos os valores dos pixels de adequabilidade dos respectivos modelos (presente, RCP 4.5 2050 , RCP 4.5 2070, RCP 8.5 2050 e RCP 8.5 2070) em relação aos valores da variável de altitude. Também avaliamos as mudanças dos valores de adequabilidade subtraindo os modelos do futuro em relação ao modelo do presente. Em seguida, relacionamos o resultado da subtração dos modelos de adequabilidade dentro e fora dos remanescentes florestais, utilizando a variável de cobertura vegetal, para cinco classes de altitudes (0-500 m, 500-1000 m, 1000-1500 m, 1500-2000 m e > 2000 m), utilizando um teste de Wilcoxon.

Por fim, para avaliar a persistência das espécies, construímos novamente GLMs, também com distribuição de resíduos considerada como binomial (Zuur et al., 2009), relacionando os valores da adequabilidade dos 199 pontos de ocorrência das 35 espécies para o presente e para os cenários do futuro com a altitude (metros em relação ao nível do mar; *raster* com resolução 0,00083° (~90 m); Robinson, Regetz, & Guralnick, 2014), da base do EarthEnv (<http://www.earthenv.org/DEM>), e com os valores de latitude e com ambos (altitude e latitude). Em seguida, construímos um modelo nulo (ausência de efeito) e selecionamos dentre esses quatro (altitude, latitude, altitude e latitude, e nulo), os modelos mais plausíveis usando o peso do Critério de Informação de Akaike (wAICc) e o ΔAICc, corrigido para amostras pequenas. Consideramos que os modelos com  $\Delta\text{AICc} < 2,0$  e  $w\text{AICc} > 0,1$ , foram igualmente plausíveis para explicar os padrões observados (Burnham & Anderson, 2002). Também calculamos o pseudo- $R^2$  de McFadden para todos os modelos ajustados (Zeileis, Kleiber, & Jackman, 2008). Analisamos também as espécies separadamente para inferir sobre suas persistências nos diferentes cenários analisados. Todas as análises foram realizadas no R (R Development Core Team, 2018), através dos pacotes *raster* (Hijmans, 2017), *rgdal* (Bivand et al., 2017) e *data.table* (Dowle & Srinivasan, 2017), para realizar o manejo dos *rasters*. Utilizamos a função “glm” para ajustar os modelos, a função “ICtab” do pacote *bbmle* (Bolker & R Core Team, 2017) para a seleção dos modelos, e a função “pR2” do pacote *pscl* (Zeileis, Kleiber, & Jackman, 2008) para o cálculo do pseudo- $R^2$  de McFadden. Os gráficos foram gerados através da função “ggplot” do pacote *ggplot2* (Wickham, 2016).

### 3 RESULTADOS

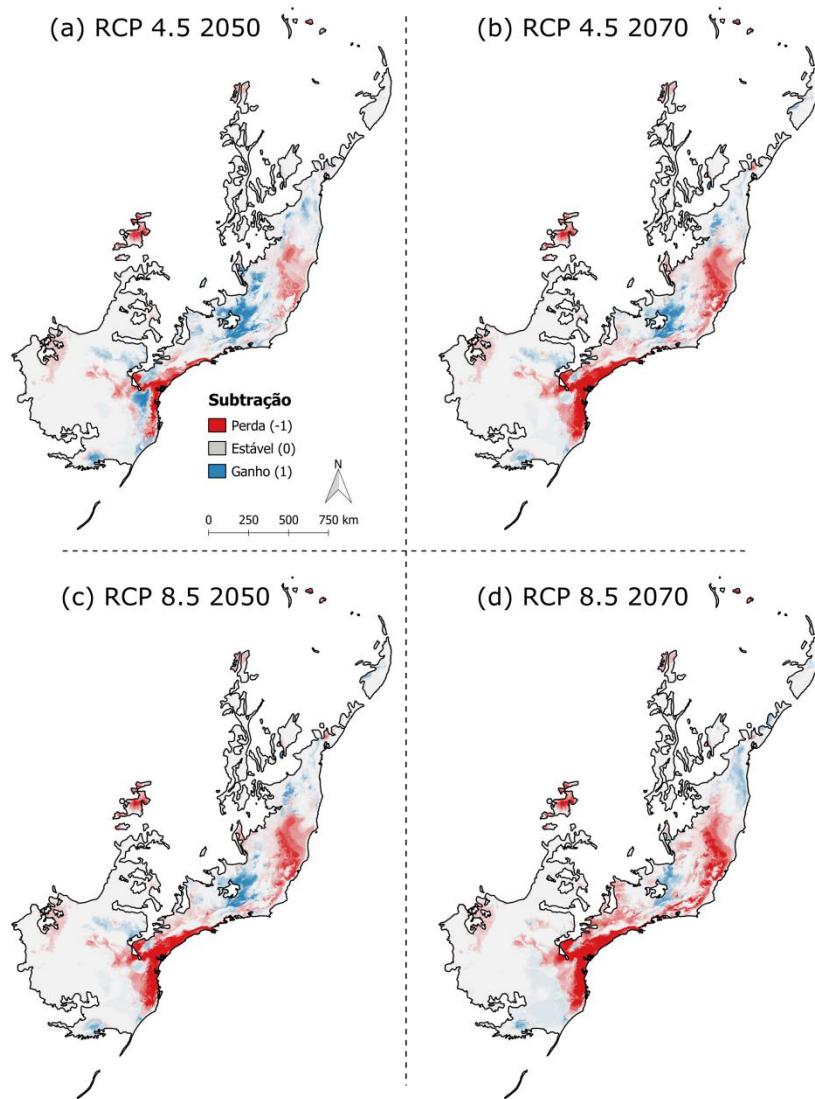
#### 3.1 Modelos de Nicho Ecológico

Os modelos de todos os algoritmos tiveram valores de TSS acima do valor considerado aceitável ( $TSS > 0,5$ ; Figura S4 em Material Suplementar; Allouche et al., 2006). Os modelos previram uma área de distribuição condizente com a área conhecida para o gênero (Figura 1, a). Apesar do resultado favorável quanto à distribuição atual do gênero, o modelo indicou duas áreas altamente adequadas, que provavelmente são efeito da utilização de um limite amplo para a construção dos modelos: 1) região central do Estado de Goiás e 2) região centro-norte do Estado do Ceará, dentro das áreas de Brejos Nordestinos.



**Figura 1** – Distribuição potencial do gênero *Brachycephalus* para o presente (a). Distribuição potencial para o futuro, para os cenários otimistas de RCP 4.5 2050 (b) e de RCP 4.5 2070 (c), e para os cenários pessimistas de RCP 8.5 2050 (d) e de RCP 8.5 2070 (e).

Para as previsões futuras, tanto para o cenário RCP 4.5 (otimista; Figura 1, b-c), como para o cenário RCP 8.5 (pessimista; Figura 1, d-e), indicam diminuição das áreas adequadas ao gênero em relação ao modelo do presente, sendo que a perda no cenário RCP 8.5 foi maior que no cenário RCP 4.5.



**Figura 2** – Subtração entre cada modelo de previsão futura (Figura 1, *b-e*) em relação ao modelo do presente (Figura 1, *a*). Valores positivos (1: azul) representam áreas com ganho de adequabilidade, valor zero (0: cinza) mostra áreas com estabilidade de adequabilidade e valores negativos (-1: vermelho) mostram áreas com perda de adequabilidade.

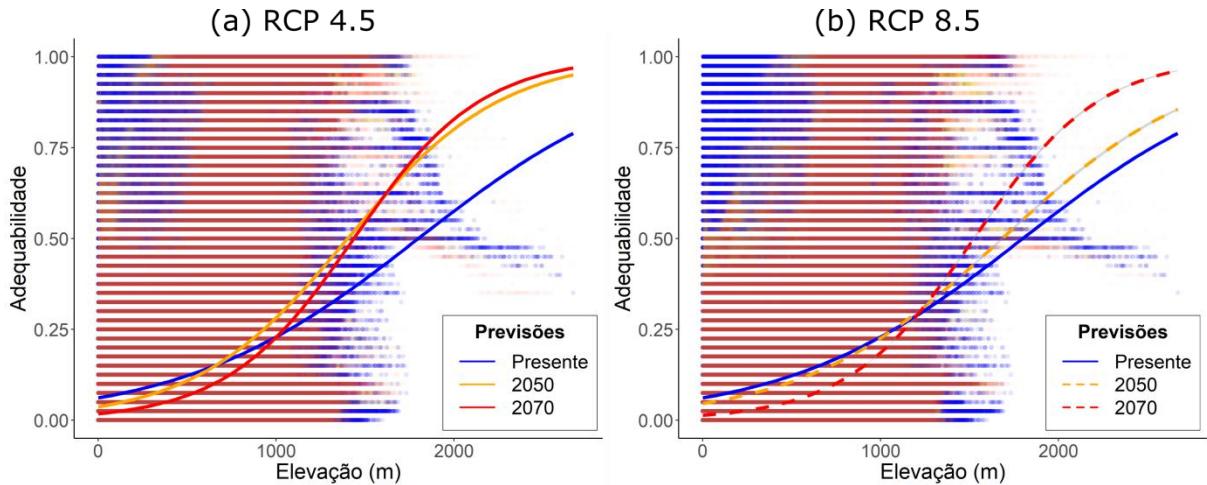
As principais perdas de adequabilidade foram na porção sul da distribuição potencial do gênero, no litoral dos estados de Santa Catarina e Paraná; porção central da distribuição, principalmente no litoral de São Paulo; e na porção norte da distribuição no Espírito Santo, Rio de Janeiro, sul da Bahia e nordeste de Minas Gerais (Figura 2, *b-e*). Por outro lado, houve aumento das áreas adequadas no estado de Minas Gerais, principalmente na região sudeste do estado, que faz divisa com o estado do Rio de Janeiro, próximo à região de Juiz de Fora e do Parque Estadual da Serra do Papagaio (Figura 2, *b-e*). Nota-se também que a área prevista em Goiás tende a perder adequabilidade e as áreas dos Brejos Nordestinos tendem a mantê-la,

apesar de sabermos que essas áreas não pertencem à distribuição real do gênero (Napoli, Caramaschi, Cruz, & Dias, 2011; Pie et al., 2013; Ribeiro et al., 2015).

### **3.2 Mudanças da distribuição do gênero *Brachycephalus* frente às mudanças climáticas**

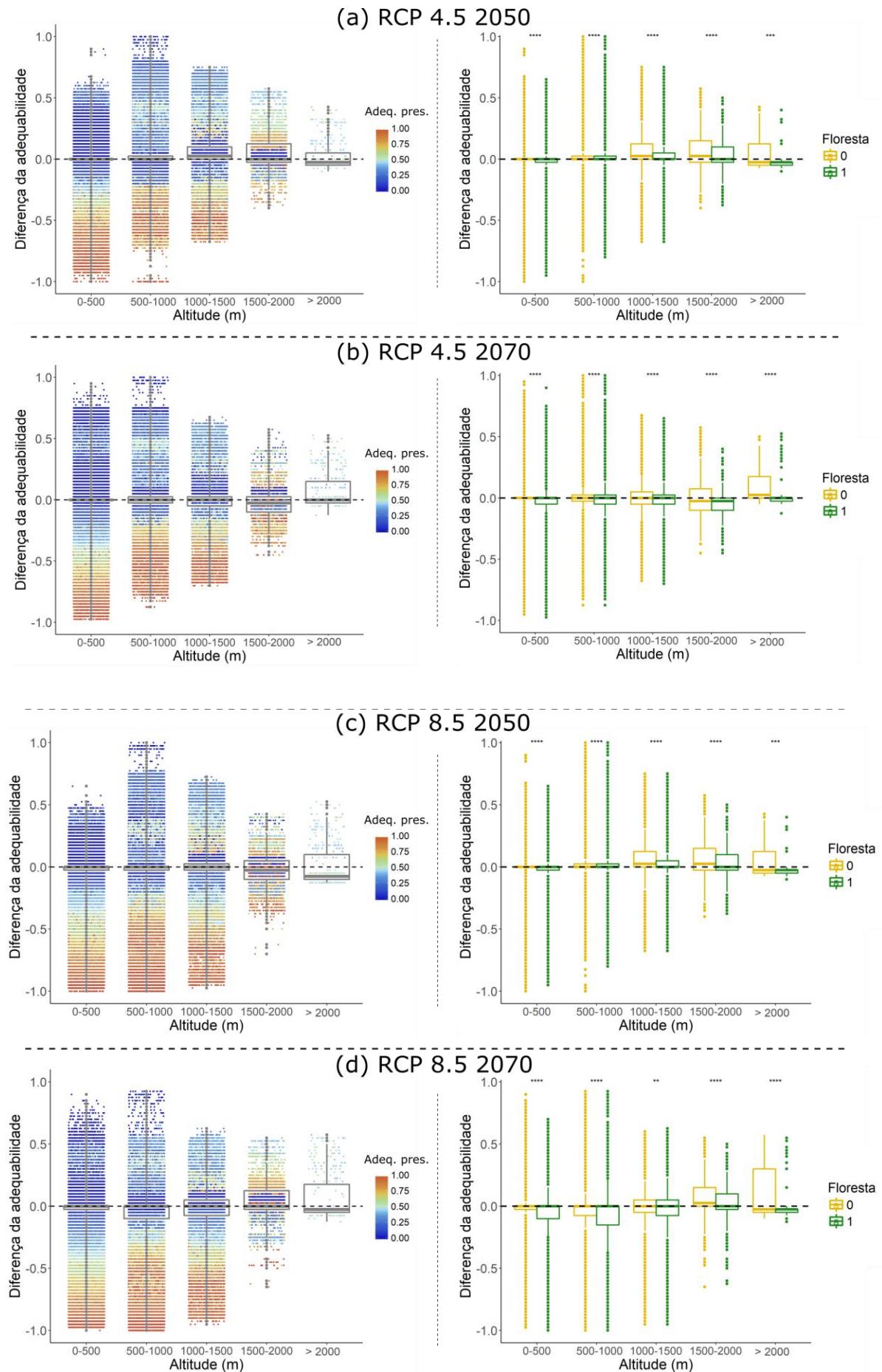
O resultado da relação entre os valores de adequabilidade dos modelos gerados e os valores de altitude evidenciou um aumento da adequabilidade futura em porções mais elevadas da Mata Atlântica, geralmente acima de 1000 m (Figura 3, *a-b*), indicando que no futuro os ambientes mais elevados serão mais adequados ao gênero. Os resultados indicaram também que os valores de adequabilidade futura serão menores no cenário pessimista (RCP 8.5; Figura 3, *b*) do que no otimista (RCP 4.5; Figura 3, *a*), mostrando um efeito claro de que a atual emissão de CO<sub>2</sub> (que hoje supera o cenário pessimista) pode causar a extinção das populações desse gênero em porções menos elevadas. Apesar de todas as relações entre os valores de adequabilidade do presente e as preditas para o futuro e a altitude terem tido baixo ajuste, nossa intenção foi mostrar as linhas de tendência (detalhes dos modelos na Tabela S4, em Material Suplementar).

Por fim, os resultados da relação entre a diferença de adequabilidade dos modelos futuros e do modelo do presente com a altitude indicam mudanças dos valores de adequabilidade em todos os cenários projetados. O padrão geral mostrou perdas acentuadas (acima de 0,5) de adequabilidade nas áreas entre 0 a 1500 m de altitude, onde atualmente há valores altos de adequabilidade para a ocorrência das espécies do gênero (Figura 4, *a-d*, esquerda). Nessa mesma região altitudinal, ocorrerá um ganho expressivo de adequabilidade em locais onde hoje não há ocorrência do gênero (Figura 4, *a-d*, esquerda). Os resultados indicam também que grande parte das perdas ocorrerá em locais florestais, principalmente para o ano de 2070, em ambos os cenários (Figura 4, *a-d*, direita).



**Figura 3** – Relação da adequabilidade e altitude das distribuições potenciais do gênero *Brachycephalus* para os cenários de emissões de CO<sub>2</sub> otimista RCP 4.5 (a) e pessimista RCP 8.5 (b), para o presente, 2050 e 2070.

Em áreas acima de 1500 m as perdas de adequabilidade foram menores (< 0,5), porém essa perda ocorreu em áreas com altos valores de adequabilidade no presente. Além disso, os resultados indicaram que poderá haver um aumento da adequabilidade em locais onde hoje já são adequados à ocorrência do gênero, principalmente na faixa de 1500 a 2000 m de altitude (Figura 4, a-d, esquerda). Acima de 2000 m, apesar de existirem poucos locais, os modelos indicaram um aumento de adequabilidade em regiões que hoje não são adequadas à ocorrência do gênero. Diferentemente da faixa abaixo de 1500 m, os ganhos de adequabilidade acima de 1500 m ocorrerão em regiões não florestais (Figura 4, a-d, direita), em todos os cenários avaliados. Esse fato indica que apesar desses locais mais elevados se tornarem, do ponto de vista de fatores abióticos, adequados ao gênero, a maior parte deles não possuirá habitat florestal. Todos os testes que parearam os valores da diferença de adequabilidade nos pixels com floresta (1) e sem floresta (0) foram significativos.



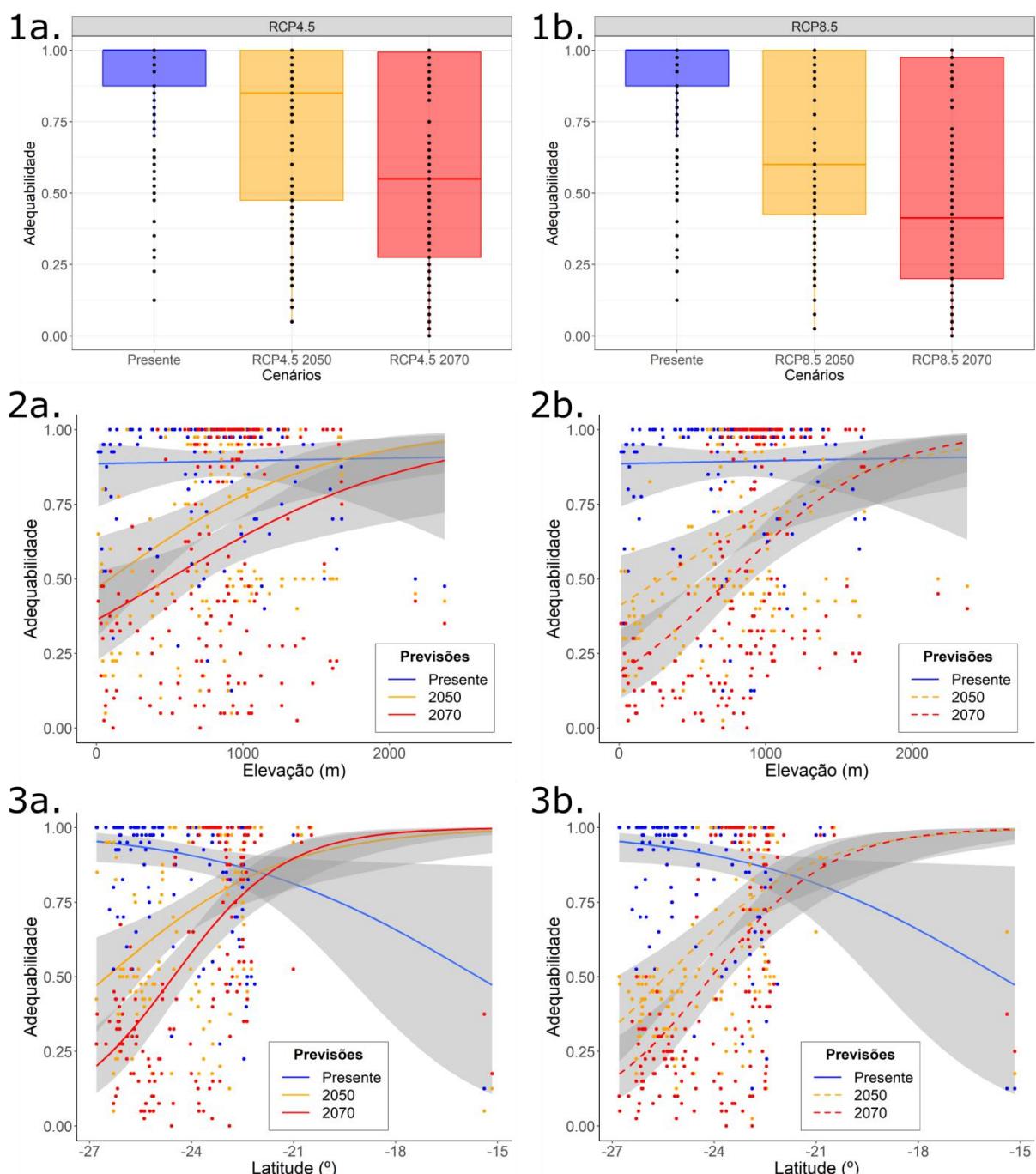
**Figura 4** – Relação entre a diferença dos valores de adequabilidade do futuro em relação ao presente, para diferentes faixas altitudinais e para os diferentes cenários de emissões de CO<sub>2</sub>: otimistas – RCP 4.5 2050 (*a*) e RCP 4.5 2070 (*b*) – e pessimistas – RCP 8.5 2050 (*c*) e RCP 8.5 2070 (*d*). As cores dos gráficos da esquerda representam a adequabilidade atual e as cores nos gráficos à direita representam pixels com floresta (1, verde) e sem floresta (0, amarelo) e os asteriscos indicam significância dos testes de Wilcoxon.

### 3.3 Persistência das espécies

Os valores de adequabilidade dos pontos de ocorrência das espécies tendem a diminuir para todos os cenários futuros analisados (Figura 5, *1a-1b*), com maior perda para o ano de 2070, nos dois cenários de emissões de CO<sub>2</sub> (RCP 4.5 e RCP 8.5). No entanto, nota-se que poucos pontos podem atingir valores inferiores a 0,25 de adequabilidade, mostrando talvez que seja possível que as espécies persistam nos locais conhecidos de sua ocorrência. Quando relacionamos os valores de adequabilidade com os valores de altitude, notamos um padrão um pouco diferente do encontrado para a distribuição potencial do gênero todo, observado na Figura 3. Esse padrão mostrou perda mais acentuada da adequabilidade no futuro em uma faixa altitudinal maior (0 a ~1800 m) da Mata Atlântica e ganhos pouco expressivos acima de 2000 m (Figura 5, *2a-2b*). Esse padrão mostra que possivelmente todas as espécies sofrerão impactos negativos das mudanças climáticas e não apenas aquelas com distribuição inferior a 1000 m. Ao relacionar os valores de adequabilidade com os valores de latitude das ocorrências, observamos um padrão oposto ao que geralmente se espera dos efeitos das mudanças climáticas (Figura 5, *3a-3b*; Walther et al., 2002): os valores de adequabilidade para o futuro serão menores em latitudes maiores, mostrando que as maiores perdas de adequabilidade ocorrerão na porção sul da distribuição, como já foi mostrado para todo o gênero na Figura 2.

Por fim, os resultados da seleção de modelos mostrou diferentes resultados para os diferentes cenários analisados. No presente e para o cenário RCP 4.5 2050, os modelos que relacionaram a adequabilidade desses cenários com a latitude foram mais plausíveis (presente –  $\Delta\text{AICc} = 0$ , wAICc = 0.81; e RCP 4.5 2050 –  $\Delta\text{AICc} = 0$ , wAICc = 0.93). Para o cenário RCP 4.5 2070 e RCP 8.5 2050, dois modelos foram plausíveis, sendo os que relacionaram a adequabilidade apenas com a latitude (RCP 4.5 2070 –  $\Delta\text{AICc} = 1.3$ , wAICc = 0.34; e RCP 8.5 2050 –  $\Delta\text{AICc} = 0$ , wAICc = 0.69), mas também os modelos que a relacionaram com a latitude e a altitude (RCP 4.5 2070 –  $\Delta\text{AICc} = 0$ , wAICc = 0.66; e RCP

$8.5\ 2050 - \Delta AICc = 1.6$ ,  $wAICc = 0.31$ ), mostrando que à medida que os cenários de mudanças climáticas se tornam mais intensos, a tendência dos valores de adequabilidade é se localizar em porções mais elevadas, uma vez que o modelo que contém a altitude se torna plausível. Finalmente, para o cenário RCP 8.5 2070, apenas o modelo que relacionou a adequabilidade com os valores de latitude e a altitude foi plausível, confirmado o efeito conjunto da mudanças latitudinal e altitudinal (RCP 8.5 2070 –  $\Delta AICc = 0$ ,  $wAICc = 0.9945$ ). Todas as estatísticas dos modelos ajustados são apresentadas na Tabela S5 em Material Suplementar.



**Figura 5** – Valores de adequabilidade das 199 ocorrências das 35 espécies do gênero *Brachycephalus* para os cenários de emissões de CO<sub>2</sub> otimista RCP 4.5 e pessimista RCP 8.5, para o presente, 2050 e 2070 (1a e 1b), em relação à altitude (2a e 2b) e em relação à latitude (3a e 3b). A área sombreada representa intervalos de confiança de 95% para valores previstos.

Quando plotamos os valores de adequabilidade das ocorrência de cada espécie (ver Tabela S1 em Material Suplementar para o número total de ocorrências de cada espécie), notamos que nenhuma espécie terá todos os valores de adequabilidade das suas ocorrências reduzida a zero nos cenários futuros, indicando que, possivelmente, nenhuma espécie será extinta para as localidades conhecidas atualmente (Figura S5, Material Suplementar). Entretanto, houve 41 ocorrências de 13 espécies em que a adequabilidade dos pontos foi menor ou igual a 0,25 para o ano de 2070, em pelo menos um dos dois cenários de emissões analisados (RCP 4.5 ou RCP 8.5; Tabela S6). Dentre essas espécies, as que são altamente restritas encontram-se mais ameaçadas, com todas ou a maior parte das suas ocorrências com baixa adequabilidade (Tabela S6, Material Suplementar): *B. coloratus*, *B. ferruginus*, *B. pernix*, *B. leopardus*, *B. pulex*, *B. pitanga*, *B. tridactylus*, *B. brunneus*, *B. nodoterga* e *B. sp.* As outras espécies (*B. hermogenesi*, *B. sulfuratus* e *B. ephippium*), possuem um número relativamente maior de ocorrências (16-48, Tabela S1, Material Suplementar) e distribuição mais ampla, e apesar de haver reduções de adequabilidade para as suas ocorrências, a ampla distribuição dessas espécies pode garantir a persistência das populações regionalmente. Entretanto, dentre essas três espécies com ampla distribuição, *B. sulfuratus* teve grande redução da adequabilidade para 13 das 35 ocorrências, justamente para as ocorrências localizadas mais ao sul da distribuição do gênero.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Efeito das mudanças climáticas e persistência das espécies

As mudanças climáticas poderão impactar negativamente a distribuição do gênero *Brachycephalus* no Bioma da Mata Atlântica, independente do cenário de mudança climática estudado. Nossos resultados corroboram nossa hipótese inicial sobre as mudanças de adequabilidade em relação à altitude, indicando que as áreas atuais de ocorrência do gênero *Brachycephalus* irão sofrer perda de adequabilidade. No futuro, grande parte das áreas

atualmente adequadas desaparecerão e novas áreas adequadas deverão localizar-se em regiões mais elevadas do bioma. No entanto, uma parcela significativa dessas novas áreas adequadas não possuirá floresta. Esses resultados ressaltam o efeito das mudanças climáticas sobre o gênero *Brachycephalus* e indicam o comprometimento da persistência das populações locais, que poderá causar drásticas reduções populacionais e provável extinções de populações e espécies, principalmente aquelas com distribuição restrita.

Apesar desses resultados negativos frente às mudanças climáticas já terem sido verificados por Haddad et al. (2008), demonstrando perdas e estabilidade de áreas similares às áreas encontradas nesse estudo, comprovamos que as mudanças climáticas farão com que as áreas adequadas ao gênero *Brachycephalus* se localizem em porções mais elevadas do bioma, onde provavelmente haverá pouco ambiente florestal disponível, corroborando a hipótese apresentada em Haddad et al. (2008). Além desse estudo, diversos outros estudos têm feito previsões dos efeitos negativos das mudanças climáticas sobre táxons específicos de altitude, como pequenos mamíferos (Rowe et al., 2014), aves (Freeman & Freeman, 2014), árvores (Corlett & Westcott, 2013; Feeley et al., 2011), anfíbios (Bustamante et al. 2005; Campos-Cerqueira & Aide, 2017; Raxworthy et al. 2008) e mariposas (Chen et al., 2009), cuja resposta em geral foi a dispersão para altitudes maiores. Além desses trabalhos, outros estudos têm mostrado que a dispersão para áreas mais altas poderão ocorrer de forma mais rápida em animais ectotérmicos tropicais (Gibson-Reinemer, Sheldon, & Rahel, 2015), ocorrendo de diversas formas em relação ao gradiente altitudinal, em diferentes partes do mundo (Elsen & Tingley, 2015), e que a dispersão é diretamente dependente das mudanças do uso e cobertura da terra (Forero-Medina, Joppa, & Pimm 2011; Guo, Lenoir, & Bonebrake, 2018).

Nesse sentido, Forero-Medina, Joppa, & Pimm (2011) ao considerarem também o uso e cobertura da terra na dispersão de espécies de anfíbios em resposta às mudanças climáticas, sugerem que as populações de espécies que possivelmente conseguirem atingir habitats mais elevados no futuro, provavelmente ficarão isoladas, com perda de fluxo de indivíduos, além do fato de que muitas espécies poderiam ser direcionadas para habitats futuramente não adequados. Dessa forma, mesmo que os indivíduos das espécies do gênero *Brachycephalus* dispersem para as regiões adequadas no futuro, a perda de fluxo de indivíduos entre populações pode acarretar extinções por perda de variabilidade genética (Li et al., 2013). Além disso, em recente trabalho sobre o efeito das mudanças climáticas sobre comunidades de árvores na Mata Atlântica, Zwiener et al. (2017) preveem homogeneização de espécies, com perda de diversidade e tendência de expansão de espécies generalistas. Esse fato pode ser preocupante, dado que as espécies que habitam porções mais elevadas tendem a ser

especialistas, dependentes da umidade trazida pelo banco de nuvens (Bertoncello, Yamamoto, Meireles, & Shepherd, 2011; Soboleski et al., 2017). Portanto, mesmo que as espécies animais dependentes dessa umidade migrem montanha acima, pode ser que novas florestas nebulares não consigam se estabelecer ou mesmo não se estabeleçam a tempo de formar o habitat adequado às espécies do gênero *Brachycephalus*, uma vez que muitas espécies não conseguem romper a barreira dos campos de altitude ou ambientes rochosos dos topes de morro (Rehm & Feeley, 2015).

Além da possível migração das espécies, Haddad et al. (2008) chamam a atenção para os efeitos da mudança altitudinal do banco de nuvens para porções mais elevadas e perda da umidade das florestas nebulares nas faixas altitudinais atuais devido às mudanças climáticas. As mudanças da faixa de ocorrência das nuvens, gerarão principalmente alterações no regime hidrológico do solo e compactação do mesmo, perda da umidade e ciclagem da serrapilheira, e mudanças na composição da comunidade de invertebrados, com impactos negativos diretos na fisiologia e ecologia dos *Brachycephalus* (Foster, 2001; Gotsch, Asbjornsen, & Goldsmith, 2016; Hu & Riveros-Iregui, 2016; Ramírez, Teuling, Ganzeveld, Hegger, & Leemans, 2017).

Outro fator que pode impactar negativamente as populações de *Brachycephalus* é a possibilidade de aumento da abundância e diversidade de fungos em condições mais quentes e secas da serrapilheira. Loobya & Treseder (2018) demonstraram que com as mudanças climáticas e a elevação das camadas de nuvens, animais e plantas em florestas tropicais de nuvens podem ser expostos a maior riqueza de fungos patógenos. Esse fato pode ser catastrófico para as populações do gênero *Brachycephalus*, uma vez que Mesquita et al. (2017) verificaram que a carga de infecção do fungo patogênico para anfíbios, *Batrachochytrium dendrobatidis*, em *Brachycephalus pitanga* foi altíssima e a mortalidade foi total em indivíduos experimentalmente infectados, quando comparados com indivíduos não infectados em laboratório.

Por fim, quando consideramos os valores de adequabilidade das ocorrências das espécies, notamos alguns padrões, como a diminuição em altitude menores e para latitudes maiores. Como havíamos mencionado anteriormente, esse padrão de perda de adequabilidade em relação a latitudes maiores é justamente o oposto do que geralmente se espera para as espécies (Walther et al., 2002). No entanto, esse padrão também foi encontrado por Lemes et al. (2014) e Loyola et al. (2014), que encontraram perdas de adequabilidade para diversas espécies, e por Haddad et al. (2008), justamente para quatro espécies do gênero *Brachycephalus*. Além disso, algumas espécies com distribuições restritas, além do *B. sulfuratus* com distribuição ampla, mostraram-se mais sensíveis à diminuição dos valores de

adequabilidade em relação ao valor do presente, sendo assim, talvez essas espécies necessitem de maior atenção nas medidas de conservação, principalmente em relação ao monitoramento *in situ* do tamanho de suas populações.

#### **4.2 Pressupostos dos modelos**

É necessário frisar que não fizemos estimativas de mudanças na frequência anual de nuvens, dado a grande dificuldade em prever as mudanças das mesmas. Apesar dessa complexidade, Pepin et al. (2015) analisaram os efeitos do “aquecimento dependente da elevação”, prevendo um novo ponto de condensação das nuvens e novos valores de pressão de vapor para elevações maiores. Diversos modelos têm sido propostos para estimar as florestas nebulares, com variáveis complexas de balanço hídrico, dentre outras (Mulligan & Burke, 2005; Mulligan, 2010). Apesar desses dados existirem para o presente e para projeções futuras, Pompeu et al. (2018) apontam para algumas falhas nos mesmos e vêm desenvolvendo novas projeções para as florestas nebulares na América do Sul (Patrícia Pompeu com. pess.). Sendo assim, mesmo para o cenário mais pessimista, é importante ressaltar que os resultados podem ainda ser piores, dado que mantivemos a porcentagem de frequência de nuvens sem o efeito das mudanças climáticas.

Além disso, diferentemente de Pie et al. (2013) que dividiram o gênero *Brachycephalus* em três grandes grupos, com base nas repostas ambientais para criar os ENMs, assumimos uma única unidade taxonômica para o gênero *Brachycephalus*, fato que pode ser contestado dado a grande diversidade de espécies pertencentes ao gênero (Frost, 2018). Entretanto, a taxonomia desse gênero é complexa e cheia de incertezas quanto à identificação ou mesmo quanto à proposição de novas espécies (Clemente-Carvalho et al., 2011; Condez, Monteiro, & Haddad, 2017). Dessa forma, consideramos o nosso procedimento como mais parcimonioso quanto às incertezas relacionadas à taxonomia.

#### **4.3 Considerações finais**

Por fim, nossos resultados nos levam a crer que grande parte das espécies do gênero *Brachycephalus* podem estar à mercê dos efeitos negativos das mudanças climáticas. Assim como Haddad et al. (2008) demonstraram há quase uma década, nesse estudo notamos uma grande restrição de habitats adequados ao gênero. Além disso, comprovamos que as áreas adequadas estarão localizadas em porções mais elevadas do bioma com grandes perdas de

adequabilidade em todos os cenários analisados. Corroboramos ainda que essas novas áreas adequadas, em sua maior parte não possuirão habitat florestal para manter as populações desses anuros 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, algumas espécies do gênero *Brachycephalus* podem correr sério risco de drástica redução do tamanho populacional e/ou extinções locais, principalmente aquelas com distribuições restritas, sendo necessário o monitoramento do tamanho de suas populações uma das principais medidas de conservação.

## REFERÊNCIAS

- Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43, 1223–1232.
- Amatulli, G., Domisch, S., Tuanmu, M. N., Parmentier, B., Ranipeta, A., Malczyk, J., & Jetz, W. (2018). A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. *Scientific Data*, 5, 180040.
- Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33, 1712–1728.
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 42–47.
- Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology*, 93, 1527–1539.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., ... Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222, 1810–1819.
- Becker, C. G., Fonseca, C. R., Haddad, C. F., Batista, R. F., & Prado, P. I. (2007). Habitat split and the global decline of amphibians. *Science*, 318, 1775–1777.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Effects of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365–377.
- Bellard, C., Leclerc, C., Leroy, B., Bakkenes, M., Veloz, S., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2014). Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 1376–1386.

- Bertoncello, R., Yamamoto, K., Meireles, L. D., & Shepherd, G. J. (2011). A phytogeographic analysis of cloud forests and other forest subtypes amidst the Atlantic forests in south and southeast Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 20, 3413–3433.
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., & Gervasi, S. S. (2010). Direct and Indirect Effects of Climate Change on Amphibian Populations. *Diversity*, 2, 281–313.
- Bolker, B. & R Core Team. (2017). *bbmle: Tools for General Maximum Likelihood Estimation*. R package version 1.0.20. <https://CRAN.R-project.org/package=bbmle>.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: a practical information-theoretical approach*. 2 ed. New York: Springer-Verlag.
- Bustamante, M. R., Ron, S. R., & Coloma, L. A. (2005). Cambios en la diversidad en siete comunidades de anuros en los Andes de Ecuador. *Biotropica*, 37, 180–189.
- Bruijnzeel, L. A., Scatena, F., & Hamilton, L. (2010). *Tropical montane cloud forests: science for conservation and management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M., & Scatena, F. N. (2011). Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25, 465–498.
- Campos-Cerqueira, M., & Aide, M. T. (2017). Lowland extirpation of anuran populations on a tropical mountain. *PeerJ*, 5, e4059.
- Carnaval, A. C. O. Q., Toledo, L. F., Haddad, C. F. B., & Britto, F. B. (2005). Chytrid fungus infects high-altitude stream-dwelling *Hylodes magalhaesi* (Leptodactylidae) in the Brazilian Atlantic rainforest. *Froglog*, 70, 3–4.
- Carnaval, A. C., Waltari, E., Rodrigues, M. T., Rosauer, D., VanDerWal, J., ... & Moritz, C. (2014). Prediction of phylogeographic endemism in an environmentally complex biome. *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 20141461.
- Carpenter, G., Gillison, N. A., & Winter, J. (1993). DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of animals and plants. *Biodiversity and Conservation*, 2, 667–680.
- Catenazzi, A. (2015). State of the world's amphibians. *Annual Review of Environmental and Resources*, 40, 91–119.
- Catenazzi, A., Lehr, E., & Vredenburg, V. T. (2014). Thermal physiology, disease, and amphibian declines on the eastern slopes of the Andes. *Conservation Biology*, 28, 509–517.

- Chen, C., Shiu, H., Benedick, S., Holloway, J. D., Chey, V. K., ... Thomas, C. D. (2009). Elevation increases in moth assemblages over 42 years on a tropical mountain. *PNAS*, 106, 1479–1483.
- Clemente-Carvalho, R. B. G., Klaczko, J., Perez, S. I., Alves, A. C. R., Haddad, C. F. B., & Reis, S. F. (2011). Molecular phylogenetic relationships and phenotypic diversity in miniaturized toadlets, genus *Brachycephalus* (Amphibia: Anura: Brachycephalidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 61, 79–89.
- Colombo, A. F., & Joly, C. A. (2010). Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, 70, 697–708.
- Condez, T. H., Clemente-Carvalho, R. B. G., Haddad, C. F. B., & Reis, S. F. (2014). A new species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from the highlands of the Atlantic Forest, Southeastern Brazil. *Herpetologica*, 70, 89–99.
- Condez, T. H., Monteiro, J. P. C., & Haddad, C. F. B. (2017). Comments on the current taxonomy of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae). *Zootaxa*, 4290, 395–400.
- Corlett, R. T., & Westcott, D. A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 482–488.
- Diniz-Filho, J. A. F., Bini, L. M., Rangel, T. F. L. B., Loyola, R. D., Hof, C., Nogués-Bravo, D., & Araújo, M. B. (2009). Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate changes. *Ecography*, 32, 897–906.
- Dowle, M., & Srinivasan, A. (2017). *data.table: Extension of data.frame*. R package version 1.10.4. CRAN.R-project.org/package=data.table.
- Drake, J. M., Randin, C., & Guisan, A. (2006). Modelling ecological niches with support vector machines. *Journal of Applied Ecology*, 43, 424–432.
- Duellman, W. E., & Trueb, L. (1994). *Biology of amphibians*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Elsen, P. R., & Tingley, M. W. (2015). Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. *Nature Climate Change*, 5, 772–776.
- Falkenberg, D. B., & Voltolini, J. C. (1995). The Montane Cloud Forest in Southern Brazil. In Lawrence S. Hamilton, L. A., Juvik, J. O., & Scatena, F. N. (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests*, (pp. 138–149). New York: Springer-Verlag New York, Inc.
- Faurby, S., & Araújo, M. B. (2018). Anthropogenic range contractions bias species climate change forecasts. *Nature Climate Change*, 8, 252–256.

- Feeley, K. J., Silman, M. R., Bush, M. B., Farfan, W., Cabrera, K. G., ... Saatchi, S. (2011). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*, 38, 783–791.
- Freeman, B. G., & Freeman, A. M. C. (2014). Rapid upslope shifts in New Guinean birds illustrate strong distributional responses of tropical montane species to global warming. *PNAS*, 111, 4490–4494.
- Forero-Medina, G., Joppa, L., & Pimm, S. L. (2010). Constraints to species' elevational range shifts as climate changes. *Conservation Biology*, 25, 163–171.
- Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55, 73–106.
- Frost, D. R. (2018). Amphibian species of the World: an online reference, version 6.0. – American Museum of Natural History, New York.
- Gibson-Reinemer, D. K. Sheldon, K. S., & Rahel, F. J. (2015). Climate change creates rapid species turnover in montane communities. *Ecology and Evolution*, 5, 2340–2347.
- Gotsch, S. G., Asbjornsen, H., & Goldsmith, G. R. (2016). Plant carbon and water fluxes in tropical montane cloud forests. *Journal of Tropical Ecology*, 32, 404–420.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: with applications in R*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Guo, F., Lenoir, J., & Bonebrake, T. C. (2018). Land-use change interacts with climate to determine elevational species redistribution. *Nature Communications*, 1315, 1–7.
- Haddad, C. F. B., Giovanelli, J. G. R., & Alexandrino, J. M. B. (2008). O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. In Buckeridge, M. (Eds.), *A biologia e as mudanças climáticas no Brasil* (pp. 195-206). São Carlos: RIMA.
- Haddad, C. F. B., & Prado, C. P. A. (2005). Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience*, 55, 207–217.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12, 2272–2281.
- Hijmans, R. J. (2016). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. 2016b. R package version 2.5-8. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. (2017). *Package 'dismo'*. *Species distribution modeling*. R package version 1.1-4. CRAN.Rproject.org/package=dismo.

- Hof, C., Araújo, M. B., Jetz, W., & Rahbek, C. (2011). Additive threats from pathogens, climate and land-use change for global amphibian diversity. *Nature*, 480, 516–519.
- Hu, J., &, Riveros-Iregui, D. A. (2016). Life in the clouds: are tropical montane cloud forests responding to changes in climate? *Oecologia*, 180, 1061–1073.
- Joly, C. A., Metzger, P. J. & Tabarelli, M. (2014). Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, 204, 459–473.
- Karatzoglou, A., Smola, A., Hornik, K., & Zeileis, A. (2004). kernlab - an S4 package for kernel methods in R. *Journal of Statistical Software*, 11, 1–20.
- Lemes, P., Melo, A. S., & Loyola, R. D. (2014). Climate change threatens protected areas of the Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 23, 357–368.
- Li, Y., Cohen, J. M., & Rohr, J. R. (2013). Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology*, 8, 145–161.
- Loobya, C. I., & Treseder, K. K. (2018). Shifts in soil fungi and extracellular enzyme activity with simulated climate change in a tropical montane cloud forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 117, 87–96.
- Loyola, R. D., Lemes, P., Brum, F. T., Provete, D. B., & Duarte, L. D. S. (2014). Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. *Ecography*, 37, 65–72.
- Liu, C., Newell, G., & White, M. (2016). On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. *Ecology and Evolution*, 6, 337–348.
- Mantyka-Pringle, C. S., Visconti, P., Di Marco, M., Martin, T. G., Rondinini, C., Rhodes, J. R. (2015). Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. *Biological Conservation*, 187, 103–111.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., ... Nakicenovic, N. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 213–241.
- Mesquita, A. F. C., Lambertini, C., Lyra, M., Malagoli, L. R., James, T. Y., ... Becker, C. G. (2017). Low resistance to chytridiomycosis in direct-developing amphibians. *Scientific Reports*, 7, 16605.
- Mittermeier, R. A., Turner, W. R., Larsen, F. W., Brooks, T. M., & Gascon, C. (2011). Global biodiversity conservation: The critical role of hotspots. In F. E. Zachos, & J. C. Habel (Eds.), *Biodiversity hotspots: Distribution and protection of conservation priority areas* (pp. 3–22). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

- Morellato, L. P. C., & Haddad, C. F. B. (2000). Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, 32, 786–792.
- Mulligan, M., & Burke, S. M. (2005). Global cloud forests and environmental change in a hydrological context. <http://www.ambiotek.com/index.html>
- Mulligan, M. (2010). Modelling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. In L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena & L. S. Hamilton (Eds.), *Tropical Montane Cloud Forests. Science for Conservation and Management* (pp. 14-38). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nadkarni, N. M., & Solano, R. (2002). Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia*, 131, 580–586.
- Napoli, M. F., Caramaschi, U., Cruz, C. A. G., & Dias, I. R. (2011). A new species of flea-toad, genus *Brachycephalus* Fitzinger (Amphibia: Anura: Brachycephalidae), from the Atlantic rainforest of southern Bahia, Brazil. *Zootaxa*, 2739, 33–40.
- Nix, H. (1986). A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: Longmore, R. (Eds.), *Atlas of Elapid snakes of Australia* (pp. 4–15). Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., ... Kassem, K. R. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *Bioscience*, 51, 933–938.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361–371.
- Pepin, N., Bradley, R. S., Diaz, H. F., Baraer, M., Caceres, E. B., ... Yang, D. Q. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5, 424–430.
- Pereira, H. M., Leadley, P. W., Proença, V., Alkemade, R., Scharlemann, J. P. W., Fernandez-Manjarrés, J. F., ... Walpole, M. (2010). Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, 330, 1496–1501.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887–893.

- Pie, M. E., Meyer, A. L. S., Firkowski, C. R., Ribeiro, L. F., & Bornschein, M. R. (2013). Understanding the mechanisms underlying the distribution of microendemic montane frogs (*Brachycephalus* spp., Terrarana: Brachycephalidae) in the Brazilian Atlantic Rainforest. *Ecological Modelling*, 250, 165–176.
- Pombal Jr., J. P., Wistuba, E. M., & Bornschein, M. R. (1998). A new species of Brachycephalid (Anura) from the Atlantic Rain Forest of Brazil. *Journal of Herpetology*, 32, 70–74.
- Pompeu, P. V., Fontes, M. A. L., Mulligan, M., Bueno, I. T., Siqueira, M. F., ... Bruijnzeel, L. A. (2018). Assessing Atlantic cloud forest extent and protection status in southeastern Brazil. *Journal for Nature Conservation*, 43, 146–155.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., & Campbell, J. H. (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398, 611–615.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., & Masters, K. L. (2005). Responses of natural communities to climate change in a highland tropical forest. In Lovejoy, T. & Hannah L. (Eds.), *Climate Change and Biodiversity* (pp. 70–74). New Haven, CT: Yale Univ. Press.
- Qiao, H., Soberón, J., & Peterson, A. T. (2015). No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*, 6, 1126–1136.
- R Development Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing.
- Ramírez, B. H., Teuling, A. J., Ganzeveld, L., Hegger, Z., & Leemans, R. (2017). Tropical Montane Cloud Forests: Hydrometeorological variability in three neighbouring catchments with different forest cover. *Journal of Hydrology*, 552, 151–167.
- Raxworthy, C. J., Pearson, R. G., Rabibisoa, N., Rakotondrazafy, A. M., Ramanamanjato, J. B., ... Stone, D. A. (2008). Extinction vulnerability of tropical montane endemism from warming and upslope displacement: a preliminary appraisal for the highest massif in Madagascar. *Global Change Biology*, 14, 1703–1720.
- Reading, C. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151, 125–31.
- Rehm, E. M., & Kenneth J. Feeley, K. J. (2015). The inability of tropical cloud forest species to invade grasslands above treeline during climate change: potential explanations and consequences. *Ecography*, 38, 1167–1175.

- Ribeiro, L. F., Bornschein, M. R., Belmonte-Lopes, R., Firkowski, C. R., Morato, S. A. A., & Pie, M. R. (2015). Seven new microendemic species of *Brachycephalus* (Anura: Brachycephalidae) from southern Brazil. *PeerJ*, 3 (e1011), 1–36.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J., & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142, 1144–1156.
- Ribeiro, M. C., Martensen, A. C., Metzger, J. P., Tabarelli, M., Scarano, F., & Fortin, M. (2011). The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In F. E. Zachos, & J. C. Habel (Eds.), *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas* (pp. 405–434). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ribeiro, M. C. et al. ATLANTIC SPATIAL: a dataset of spatial variables from the Atlantic Forest of South America (in prep.).
- Robinson, N., Regetz, J., & Guralnick, R. P. (2014). EarthEnv-DEM90: a nearly-global, void-free, multi-scale smoothed, 90m digital elevation model from fused ASTER and SRTM data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 57–67.
- Rossa-Feres, D. C., Garey, M. V., Caramaschi, U., Napoli, M. F., Nomura, F., Bispo, A. A., ... Haddad, C. F. B. (2017). Anfíbios da Mata Atlântica: lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação. In E. L. A. Monteiro-Filho, & C. E. Conte (Eds.), *Revisões em zoologia: Mata Atlântica* (pp. 237–314). Curitiba: Ed. UFPR.
- Rowe, K. C., Rowe, K. M. C., Tingley, M. W., Koo, M. S., Patton, J. L., ... Moritz, C. (2014). Spatially heterogeneous impact of climate change on small mammals of montane California. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20141857.
- Salamin, N., Wüest, R. O., Lavergne, S., Thuiller, W., & Pearman, P. B. (2010). Assessing rapid evolution in a changing environment. *Trends in Ecology and Evolution*, 25, 692–698.
- Scarano, F. R., & Ceotto, P. (2015). Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. *Biodiversity Conservation*, 24, 2319–2331.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C. L., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., ... Watson, J. E. M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, 354, aaf7671.
- Soboleski, V. F., Higuchi, P., Silva, A. C., Loebens, R., Souza, K., ... Pizutti, J. (2017). Variação de atributos funcionais do componente arbóreo em função de gradientes edáficos em uma floresta nebulosa no sul do Brasil. *Rodriguésia*, 68, 291–300.

- Sobral-Souza, T., Lima-Ribeiro, M. S., & Solferini, V. N. (2015). Biogeography of Neotropical rainforests: past connections between Amazon and Atlantic Forest detected by ecological niche modeling. *Evolutionary Ecology*, 29, 643–655.
- Tax, D. M. J., & Duin, R. P. W. (2004). Support vector data description. *Machine Learning*, 54, 45–66.
- Todd, B. D., Scott, D. E., Pechmann, J. H. K., & Gibbons, J. W. (2011). Climate change correlates with rapid delays and advancements in reproductive timing in an amphibian community. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278, 2191–2197.
- Vancine, M. H., Duarte, K. S., Souza, Y. S., Giovanelli, J. G. R., Sobrinho, P. M. M., ... M. C. Ribeiro. ATLANTIC AMPHIBIANS. A Dataset of Amphibian Communities from the Atlantic Forests of South America. *Ecology* (in press).
- Varela, S., Lima-Ribeiro, M. S., & Terribile, L. C. A. (2015). Short Guide to the Climatic Variables of the Last Glacial Maximum for Biogeographers. *PLoS ONE*, 10, e0129037.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R., & Lima, J. C. A. (1991). Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE.
- Walther, G. R., Post E., Convery P., Menzel A., Parmesan C., ... Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395.
- Wells, K. D. (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago: University of Chicago Press.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag.
- Wilson, A. M., & Jetz, W. (2016). Remotely sensed high-resolution global cloud dynamics for predicting ecosystem and biodiversity distributions. *PLoS Biol*, 14, p. e1002415.
- Zeileis, A., Kleiber, C., & Jackman, S. (2008). Regression Models for Count Data in R. *Journal of Statistical Software*, 27, 1–25.
- Zuur, A., Ieno, E. N., Smith, G. M., Saveliev, A. A., Walker, N. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York: Springer-Verlag New York.
- Zwiener, V. P., Lira-Noriega, A., Grady, C. J., Padial, A. A., & Vitule, J. R. S. (2017). Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. *Global Ecology and Biogeography*, 27, 298–309.

## MATERIAL SUPLEMENTAR

### Tabelas

**Tabela S1** – Número de ocorrências por espécie do gênero *Brachycephalus*.

Id	Espécies	Número de ocorrências
1	<i>Brachycephalus albolineatus</i>	1
2	<i>Brachycephalus atelopoide</i>	1
3	<i>Brachycephalus auroguttatus</i>	1
4	<i>Brachycephalus boticario</i>	1
5	<i>Brachycephalus bufonoides</i>	1
6	<i>Brachycephalus coloratus</i>	1
7	<i>Brachycephalus ferruginus</i>	1
8	<i>Brachycephalus fuscolineatus</i>	1
9	<i>Brachycephalus guarani</i>	1
10	<i>Brachycephalus izecksohni</i>	1
11	<i>Brachycephalus mariaeterezae</i>	1
12	<i>Brachycephalus pernix</i>	1
13	<i>Brachycephalus quiririensis</i>	1
14	<i>Brachycephalus toby</i>	1
15	<i>Brachycephalus verrucosus</i>	1
16	<i>Brachycephalus alipioi</i>	2
17	<i>Brachycephalus curupira</i>	2
18	<i>Brachycephalus darkside</i>	2
19	<i>Brachycephalus leopardus</i>	2
20	<i>Brachycephalus pombali</i>	2
21	<i>Brachycephalus pulex</i>	2
22	<i>Brachycephalus crispus</i>	3
23	<i>Brachycephalus olivaceus</i>	3
24	<i>Brachycephalus pitanga</i>	4
25	<i>Brachycephalus tridactylus</i>	4
26	<i>Brachycephalus vertebralis</i>	5
27	<i>Brachycephalus brunneus</i>	6
28	<i>Brachycephalus margaritatus</i>	7
29	<i>Brachycephalus nodoterga</i>	7
30	<i>Brachycephalus</i> sp.	7
31	<i>Brachycephalus garbeanus</i>	8
32	<i>Brachycephalus hermogenesi</i>	16
33	<i>Brachycephalus didactylus</i>	19
34	<i>Brachycephalus sulfuratus</i>	35
35	<i>Brachycephalus ephippium</i>	48

**Tabela S2** – Valores dos escores dos quatro primeiros eixos da Análise de Componentes Principais (PCA) e seus respectivos autovalores e contribuição de explicação de variação das variáveis ambientais utilizadas para modelar o gênero *Brachycephalus*.

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4
BIO01	0,30	0,12	0,11	0,17
<b><u>BIO02</u></b>	0,02	0,22	0,47	0,21
BIO03	0,26	0,14	0,05	0,13
BIO04	0,27	0,09	0,25	0,03
BIO05	0,21	0,16	0,38	0,13
BIO06	0,28	0,18	0,14	0,18
BIO07	0,18	0,1	0,47	0,11
<b><u>BIO08</u></b>	0,25	0,04	0,18	0,14
BIO09	0,28	0,15	0,01	0,18
BIO10	0,24	0,2	0,24	0,23
BIO11	0,31	0,08	0,01	0,13
BIO12	0,24	0,02	0,02	0,44
<b><u>BIO13</u></b>	0,01	0,41	0,03	0,42
BIO14	0,26	0,27	0,01	0,14
BIO15	0,23	0,34	0,00	0,06
BIO16	0,01	0,41	0,04	0,42
BIO17	0,26	0,27	0,03	0,14
BIO18	0,18	0,3	0,05	0,21
<b><u>BIO19</u></b>	0,19	0,29	0,07	0,29
<b><u>Nuvens</u></b>	0,02	0,03	0,47	0,09
	PC1	PC2	PC3	PC4
Autovalor	3,09	1,92	1,65	1,41
Contribuição relativa	0,48	0,18	0,14	0,10
Contribuição cumulativa	0,48	0,66	0,80	0,90

**Tabela S3** – Fator de inflação da variância (*Variance Inflation Factor - VIF*) das variáveis ambientais com correlação menor que  $\rho < 0,6$  usadas para modelar o gênero *Brachycephalus*.

Variáveis	VIF
BIO02	1,70
BIO08	1,48
BIO13	1,51
BIO18	1,61
BIO19	1,59
Nuvens	1,53

**Tabela S4** – Resultados dos modelos que relacionaram os valores de adequabilidade e altitude para o gênero *Brachycephalus*. Na tabela: Modelos – valores de adequabilidade para os diferentes cenários (Presente, RCP 4.5 2050, RCP 4.5 2070, RCP 8.5 2050 e RCP 8.5 2070) e valores de altitude;  $\beta_1$  – valor do parâmetro de inclinação, p – significância do parâmetro de inclinação;  $R^2$  – pseudo- $R^2$  de McFadden's.

Modelos	$\beta_1$	p	$R^2$
Presente ~ Altitude	0,002	$p < 0,01$	0,04
RCP 4.5 2050 ~ Altitude	0,002	$p < 0,01$	0,12
RCP 4.5 2070 ~ Altitude	0,003	$p < 0,01$	0,17
RCP 8.5 2050 ~ Altitude	0,002	$p < 0,01$	0,11
RCP 8.5 2070 ~ Altitude	0,003	$p < 0,01$	0,20

**Tabela S5** – Resultados dos modelos que relacionaram os valores de adequabilidade e altitude para as 199 ocorrências das 35 espécies do gênero *Brachycephalus*. Na tabela: Modelos – valores de adequabilidade para os diferentes cenários (Presente, RCP 4.5 2050, RCP 4.5 2070,

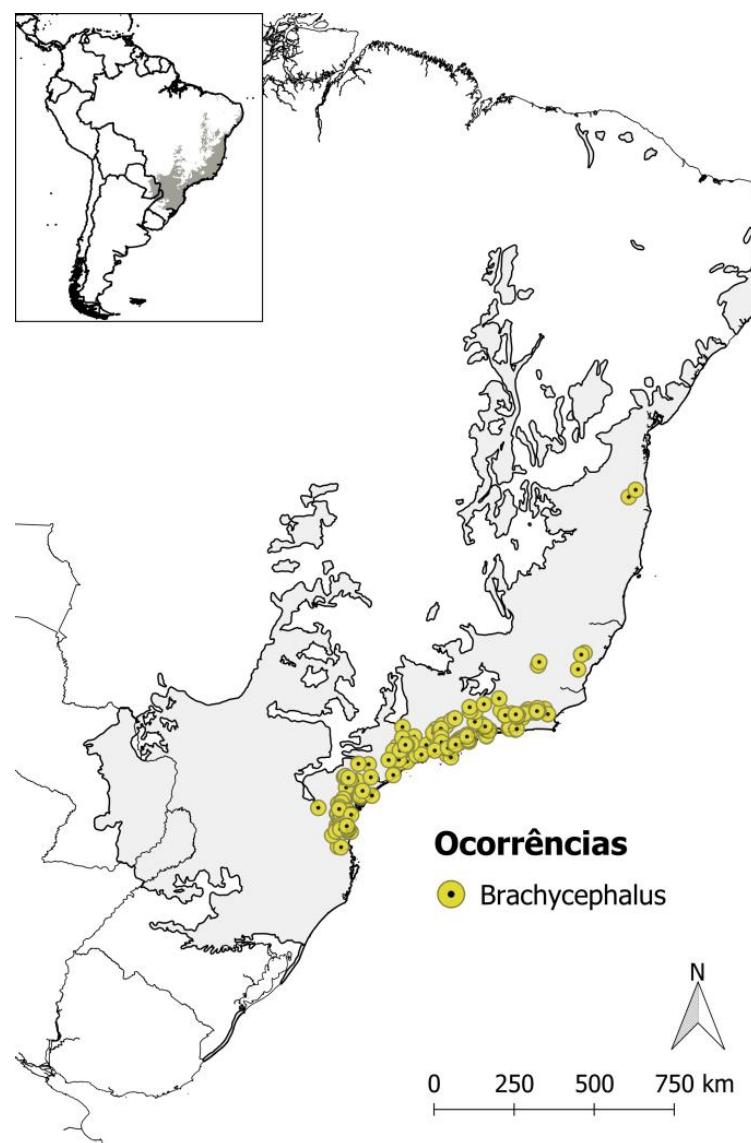
RCP 8.5 2050 e RCP 8.5 2070) e valores de altitude, latitude e ambos;  $\beta_1$  – valor do parâmetro de inclinação,  $\beta_2$  – valor do parâmetro de inclinação, p – significância do parâmetro de inclinação;  $R^2$  – pseudo- $R^2$  de McFadden's; AICc - Critério de Informação de Akaike corrigido;  $\Delta\text{AICc}$  - diferença no Critério de Informação de Akaike corrigido para cada modelo e o modelo mais parcimonioso; df – graus de liberdade; e wAICc - peso para cada Critério de Informação de Akaike.

Modelos	$\beta_1$	p	$\beta_2$	p	$R^2$	AICc	$\Delta\text{AICc}$	df	wAICc
Presente ~ Nulo	NA	NA	NA	NA	0	106.1	10.2	1	0.0049
Presente ~ Altitude	0	0,857	NA	NA	0	108.6	12.7	2	0.0014
<b>Presente ~ Latitude</b>	<b>-0,27</b>	<b>0,03</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>0,12</b>	<b>95,9</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0,8082</b>
Presente ~ Altitude + Latitude	0	0,429	-0,297	0,022	0,11	98.9	2.9	3	0.1855
RCP 4.5 2050 ~ Nulo	NA	NA	NA	NA	0	253.4	26.7	1	<0.001
RCP 4.5 2050 ~ Altitude	0,001	p < 0,01	NA	NA	0,01	251.9	25.2	2	<0.001
<b>RCP 4.5 2050 ~ Latitude</b>	<b>0,387</b>	<b>0,03</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>0,11</b>	<b>226,6</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0,934</b>
RCP 4.5 2050 ~ Altitude + Latitude	0,001	0,017	0,31	p < 0,01	0,10	231.9	5.3	3	0.066
RCP 4.5 2070 ~ Nulo	NA	NA	NA	NA	0	279.7	64	1	<0.001
RCP 4.5 2070 ~ Altitude	0,003	p < 0,01	NA	NA	0,06	266.2	50.5	2	<0.001
<b>RCP 4.5 2070 ~ Latitude</b>	<b>0,61</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>0,23</b>	<b>217</b>	<b>1,3</b>	<b>2</b>	<b>0,34</b>
<b>RCP 4.5 2070 ~ Altitude + Latitude</b>	<b>0,001</b>	<b>0,126</b>	<b>0,567</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>0,25</b>	<b>215,7</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0,66</b>
RCP 8.5 2050 ~ Nulo	NA	NA	NA	NA	0	283.9	60.2	1	<0.001
RCP 8.5 2050 ~ Altitude	0,001	p < 0,01	NA	NA	0,05	272.5	48.7	2	<0.001
<b>RCP 8.5 2050 ~ Latitude</b>	<b>0,464</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>0,22</b>	<b>223,8</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0,69</b>
<b>RCP 8.5 2050 ~ Altitude + Latitude</b>	<b>0,001</b>	<b>0,031</b>	<b>0,4</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>0,22</b>	<b>225,4</b>	<b>1,6</b>	<b>3</b>	<b>0,31</b>
RCP 8.5 2070 ~ Nulo	NA	NA	NA	NA	0	280.3	62.9	1	<0.001
RCP 8.5 2070 ~ Altitude	0,002	p < 0,01	NA	NA	0,10	254.8	37.5	2	<0.001
RCP 8.5 2070 ~ Latitude	0,574	p < 0,01	NA	NA	0,20	227.8	10.4	2	0.0055
<b>RCP 8.5 2070 ~ Altitude + Latitude</b>	<b>0,002</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>0,494</b>	<b>p &lt; 0,01</b>	<b>0,24</b>	<b>217,4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0,9945</b>

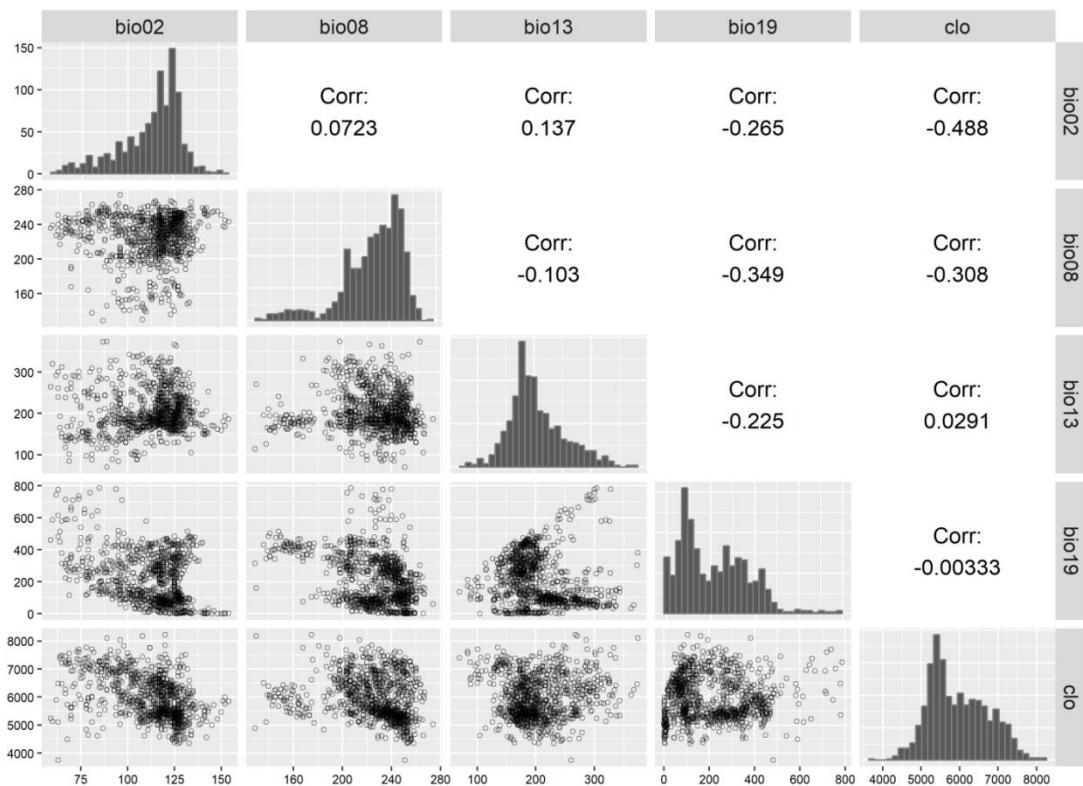
**Tabela S6** – Número de ocorrências das espécies do gênero *Brachycephalus* com adequabilidade menores que 0,25 para o ano de 2070, em pelo menos um dos cenários analisados e sua razão (porcentagem) em relação ao total de ocorrências.

Espécies	Pontos com baixa adequabilidade	Total de ocorrências	Porcentagem de pontos com baixa
----------	---------------------------------	----------------------	---------------------------------

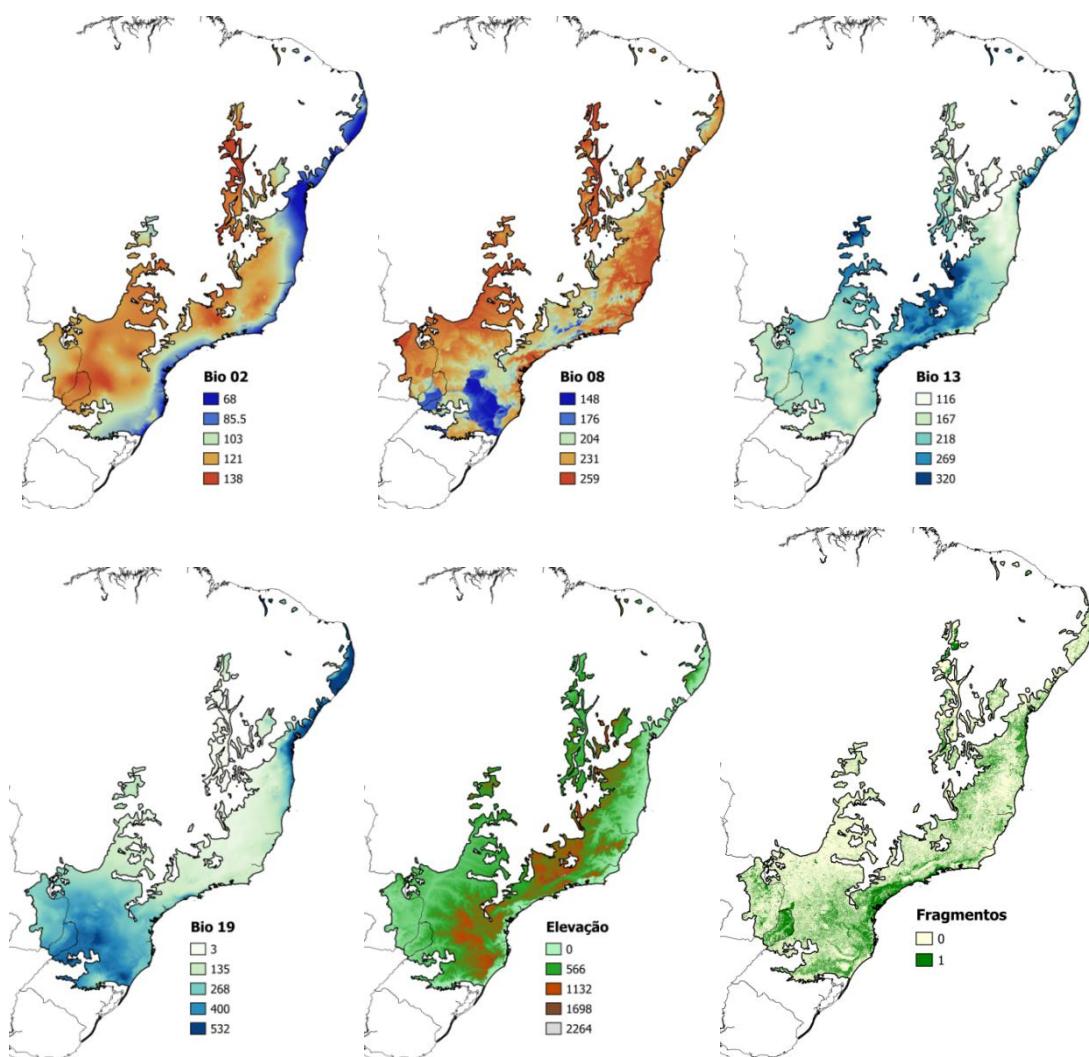
			<b>adequabilidade</b>
<i>Brachycephalus coloratus</i>	1	1	100
<i>Brachycephalus ferruginus</i>	1	1	100
<i>Brachycephalus pernix</i>	1	1	100
<i>Brachycephalus leopardus</i>	1	2	50
<i>Brachycephalus pulex</i>	1	2	50
<i>Brachycephalus pitanga</i>	1	4	25
<i>Brachycephalus tridactylus</i>	4	4	100
<i>Brachycephalus brunneus</i>	4	6	67
<i>Brachycephalus nodoterga</i>	2	7	29
<i>Brachycephalus</i> sp.	3	7	43
<i>Brachycephalus hermogenesi</i>	5	16	31
<i>Brachycephalus sulfuratus</i>	13	35	37
<i>Brachycephalus ephippium</i>	4	48	8

**Figuras**

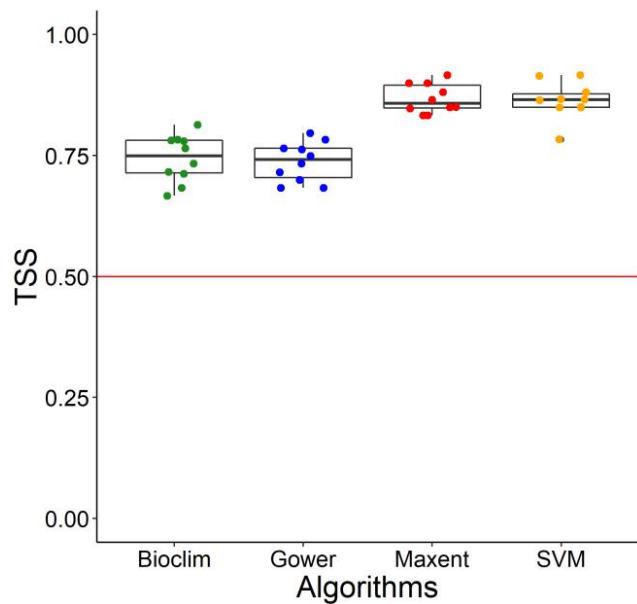
**Figura S1** – Ocorrências do gênero *Brachycephalus* utilizadas para construção dos ENMs.



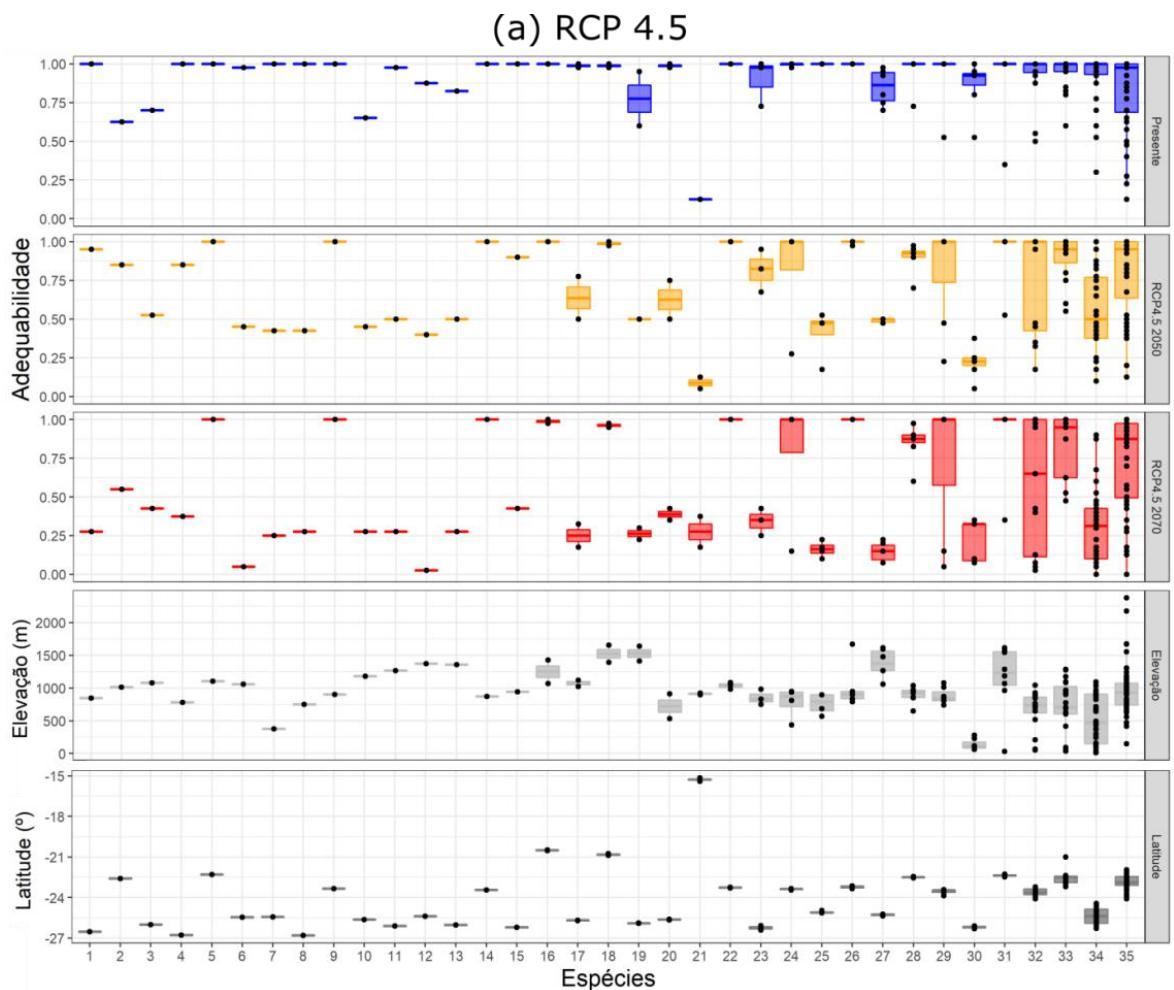
**Figura S2** – Correlação de Spearman, distribuição de frequências e relações entre as variáveis selecionadas para construção dos ENMs dos *Brachycephalus*. Gráfico feito com dados de uma amostragem aleatória de 1000 valores.

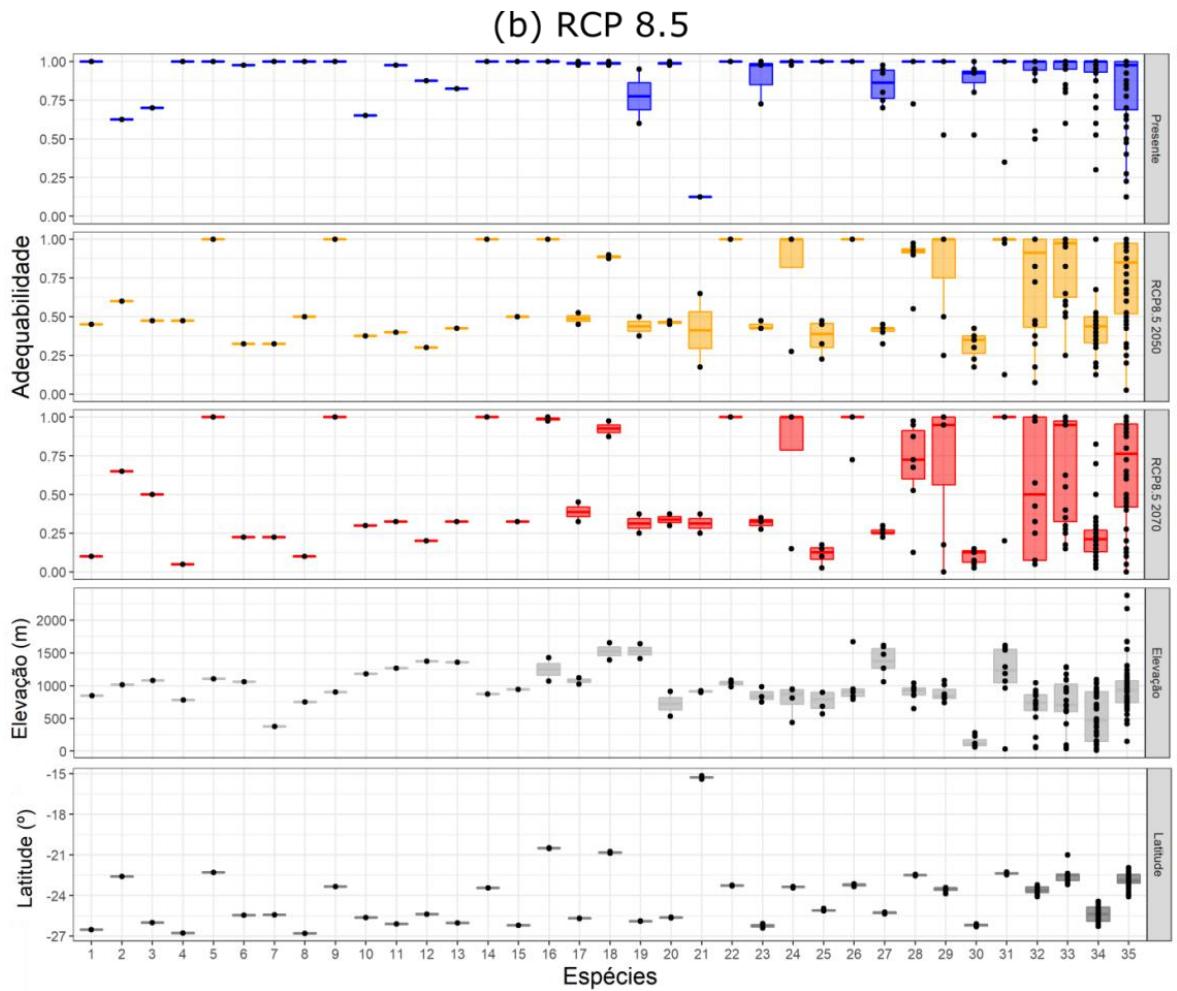


**Figura S3** – Variáveis utilizadas para a construção dos ENMs dos *Brachycephalus* e para testar nossas hipóteses. Na figura, BIO02 (variação diurna média de temperatura (média mensal ( $T_{max}-T_{min}$ ))), BIO08 (temperatura média do trimestre mais úmido), BIO13 (precipitação do mês mais chuvoso), BIO19 (precipitação do trimestre mais frio) e nuvens (média anual da frequência de nuvens).



**Figura S4** – Variação dos valores de TSS das 10 réplicas de cada algoritmo para os modelos do gênero *Brachycephalus*. A linha vermelha mostra o valor adotado para assumir modelos informativos ( $TSS > 0.5$ ).





**Figura S5** – Valores de adequabilidade, altitude e latitude para as 199 ocorrências das 35 espécies do gênero *Brachycephalus* para os cenários de emissões de CO<sub>2</sub> otimista RCP4.5 (a) e pessimista RCP 8.5 (b), para o presente, 2050 e 2070. Na figura, as cores correspondem aos cenários, altitude e latitude: azul - presente, laranja - RCP 4.5, vermelho - RCP 8.5, e cinza claro- altitude (m) e cinza escuro - latitude (°). Os números representam as espécies: 1 - *B. albolineatus*, 2 - *B. atelopoide*, 3 - *B. auroguttatus*, 4 - *B. boticario*, 5 - *B. bufonoides*, 6 - *B. coloratus*, 7 - *B. ferrugininus*, 8 - *B. fuscolineatus*, 9 - *B. guarani*, 10 - *B. izecksohni*, 11 - *B. mariaeterezae*, 12 - *B. pernix*, 13 - *B. quiririensis*, 14 - *B. toby*, 15 - *B. verrucosus*, 16 - *B. alipioi*, 17 - *B. curupira*, 18 - *B. darkside*, 19 - *B. leopardus*, 20 - *B. pombali*, 21 - *B. pulex*, 22 - *B. crispus*, 23 - *B. olivaceus*, 24 - *B. pitanga*, 25 - *B. tridactylus*, 26 - *B. vertebralis*, 27 - *B. brunneus*, 28 - *B. margaritatus*, 29 - *B. nodoterga*, 30 - *B. sp*, 31 - *B. garbeanus*, 32 - *B. hermogenesi*, 33 - *B. didactylus*, 34 - *B. sulfuratus*, 35 - *B. ephippium*.

## 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 amotragem 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.