RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 06/05/2027

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

Campus de São José do Rio Preto

BRUNA ESPINOSA BOLOCHIO

Padrões, processos e conservação da diversidade de anfíbios anuros no Novo Mundo

São José do Rio Preto

2025

BRUNA ESPINOSA BOLOCHIO

Padrões, processos e conservação da diversidade de anfíbios anuros no Novo Mundo

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutora em Biodiversidade.

Área de Concentração: Ecologia e Comportamento

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jannini Sawaya

São José do Rio Preto

2025

B693p

Bolochio, Bruna Espinosa
Padrões, processos e conservação da diversidade de anfíbios anuros no Novo Mundo / Bruna Espinosa Bolochio. -- São José do Rio Preto, 2025
125 p. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto
Orientador: Ricardo Jannini Sawaya

1. Biogeografia. 2. Biodiversidade. 3. Anfíbios. 4. Ecologia. 5. Novo Mundo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO SOCIAL

A presente tese gera dados relevantes para conservação de espécies e ambientes, que podem ser utilizados diretamente por tomadores de decisões para políticas públicas. Proteger áreas, e consequentemente os organismos que vivem nelas, causa um forte impacto social direto e indireto, desde efeitos em pequena escala, como local adequado para viver, quanto em grande escala, como efeitos das mudanças climáticas. Os resultados aqui visam preservar os equilíbrios ecossistêmicos, um benefício para todas as espécies do planeta, inclusive os seres humanos.

BRUNA ESPINOSA BOLOCHIO

Padrões, processos e conservação da diversidade de anfíbios anuros no Novo Mundo

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, para obtenção do título de Doutora em Biodiversidade.

Área de Concentração: Ecologia e Comportamento

Data da defesa: 06/05/2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Jannini Sawaya
UNESP - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Câmpus de São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Fernando Zaniolo Gibran
UFABC - Centro de Ciências Naturais e Humanas

Prof. Dr. Gabriel Correa Costa
Auburn University at Montgomery - Department of Biology

Profa. Dra. Vanessa Kruth Verdade
UFABC - Centro de Ciências Naturais e Humanas

Prof. Dr. Fernando Rodrigues Da Silva
UFSCar - Departamento de Ciências Ambientais - Câmpus Sorocaba

Para Laila, numa tentativa de fazer com que o mundo que eu conheço ainda seja o dela quando estiver adulta

AGRADECIMENTOS

Assim como qualquer outro trabalho científico, essa tese foi escrita com muita ajuda, afinal, não se faz ciência sozinho. Existem muitas pessoas que me ampararam de todas as formas possíveis, seja me ajudando com uma análise e discutindo uma ideia, ou me dando um suporte emocional. Pode ser que eu não lembre de todo mundo aqui, mas saiba que se você me ajudou, com algo grande ou mínimo, eu sou muito grata a você! Também tenho reconhecimento do meu privilégio por conseguir trabalhar com pesquisa científica com tantas barreiras que o mundo acadêmico pode oferecer, principalmente diante de um ciclo que se iniciou durante a pandemia. E sou muito, muito grata por trabalhar com o que eu amo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Muito obrigada CAPES e UNESP/IBILCE por todo o apoio financeiro que me deram. A UNESP, em particular, é uma instituição da qual me orgulho muito em fazer parte. Entre mestrado e doutorado lá se vão um pouco mais de 6 anos, e durante todo esse tempo sempre tive todo o suporte que precisei. Às pessoas do IBILCE, muitíssimo obrigada por serem tão atenciosas, prestativas e humanas. Meu único lamento é não ter conseguido ficar mais tempo em São José do Rio Preto e aproveitar mais esse campus que tanto amo.

Agradeço infinitamente o meu orientador, Ricardo Sawaya, por tudo. Por me ensinar tanto ao longo desses 10 anos trabalhando juntos. Por abrir tantas portas para mim. Por confiar no meu trabalho e na minha capacidade quando eu já não acreditava, e não me deixar desistir. Por insistir tanto para eu não deixar a carreira acadêmica. Pela amizade, caronas, conversas sobre a vida, e happy hours. Por ser um ser humano que eu admiro tanto e um profissional que me espelho. Ricardo, você é o melhor orientador que eu poderia ter. Sou imensamente grata por tudo que você já fez por mim e pelas transformações que causou na minha vida. Eu sou a profissional que sou por sua causa também.

Pra além do Ricardo, agradeço nosso grupo de pesquisa. Carol Manzano, Diego Cavalheri, João Paulo (JP), Marcela Brasil, Marcella Rosa, Matheus Pontes, Nat Spila, Camila Kamblevicius, e todo mundo que passou por esse grupo. JP, Marcela e Matheus, em especial, vocês me salvaram de inúmeras formas. Muito obrigada por serem esses amigos tão queridos e terem me ajudado tanto com análises, pensamentos críticos, incentivos, e serem uma rede de apoio. Admiro demais cada um de vocês, e sou muita grata também pela amizade.

Agradeço os laboratórios que me acolheram durante esses anos: LED (UFABC) e LabVert (USP). São muitas pessoas para agradecer aqui, então, para não esquecer de ninguém,

obrigada todo mundo que fez parte dessa convivência de alguma forma. Obrigada à cada um, docentes e discentes, que deixavam meu dia mais leve e produtivo. Lucas, Diego, Mogli, Bruna, Alê, Júlio, Cecília, Isa, Tato, Rod, os novos e os velhos habitantes do LED, e a saudades que fica daquele lab cheio. Obrigada Marcio Martins por abrir as portas, e inclusive, por discutir as ideias iniciais desse projeto comigo. E obrigada em especial ao Filipe Serrano que também me fez ter muitos insights durante nossas conversas.

Agradeço ao Museo Miguel Lillo (Tucumán, Argentina) e ao laboratório GeoBio (UNC, Córdoba, Argentina) por terem me acolhido durante os estágios. Diego, obrigada por ter me aberto as portas do museu e da sua casa, e me salvado. E obrigada, mais uma vez, Javier Nori, por ter me levado até Córdoba (e JP também, aqui você tem muitíssima culpa). Javi, Maxi, Julián, Ana, David, Dani, Barto, Córdoba es uno de mis lugares favoritos en el mundo por culpa de ustedes también, y extraño mis días ahí todo el tiempo. Gracias por haberme enseñado tanto, por haberme acogido tanto, por ser mis colaboradores en las investigaciones y por haberse convertido en amigos. Son increíbles, y toda la gente del Centro de Zoología Aplicada tiene mi corazón.

À minha família, vocês são meu tudo. Meu pai, Edson, e minha mãe, Cristiane, que nunca mediram esforços para me apoiar de todos os jeitos possíveis. Obrigada por sempre estarem aqui, por me acalmarem, me entenderem, comemorarem minhas conquistas, se preocuparem, darem sempre um jeito, e terem me dado os melhores exemplos e ferramentas para eu ser quem sou hoje e estar onde estou. Eu não seria nada disso sem vocês e essa rede de apoio que vocês construíram. Pai, obrigada por ser sempre a pessoa que eu sei que posso contar, não importa o dia e hora. Se você está aqui eu sei que tudo vai se resolver. Mãe, você sempre foi a pessoa que eu quero ser quando crescer. Sempre foi a bióloga mais incrível que eu já conheci, meu ídolo maior (e olha que a Jane Goodall existe!). Sempre que digo que sou sua filha, e a pessoa responde que você é incrível, eu morro de orgulho e digo com um sorriso no rosto “ela é mesmo, minha mãe é foda”. Tomara que um dia eu seja metade de quem você é. Fer, minha irmã e melhor amiga, eu também não seria quem sou e estaria onde estou sem você. Obrigada por estar do meu lado desde 1996, e sempre segurar minha mão. Obrigada por ser meu apoio emocional, minha força e minha inspiração. Eu amo vocês três infinito. E obrigada também ao Dan, que já parou inúmeras vezes para escutar meus desabafos e me fez sentir melhor. Também já amo você!

E por fim, obrigada Vinícius Gouveia, meu parceiro e porto seguro, a pessoa que esteve do meu lado todos os dias desde o comecinho, acompanhando de perto essa montanha-russa que foi o doutorado. Vini, eu não tenho palavras para descrever o quanto você é

importante e o quanto eu sou grata por você existir e fazer parte dessa etapa. Obrigada pelas infinitas conversas e apoio emocional, por me escutar, por não me deixar surtar de vez, por segurar minha mão em cada crise de ansiedade e me dizer que estava aqui independente de qualquer coisa e que daríamos um jeito. Obrigada por tudo que você me ajudou com scripts no R, bancos de dados, e edição de imagens (é bom demais ser namorida de um programador tão incrível quanto você). Obrigada por me entender do jeito que eu sou, e me apoiar nos meus sonhos mesmo que isso nos custe alguns meses longe. Essa tese teve muita ajuda sua sim, de maneiras que você nem imagina. Inclusive me proporcionando dois “cachorros de suporte emocional”, Dolpho e Juju, que sempre me trouxeram uma calma infinita. Amo você, e amo a gente.

RESUMO GERAL

A biodiversidade por ser entendida como a variabilidade entre organismos, desde genes até ecossistemas. Embora seja um conceito multidimensional, é frequentemente tratada como sinônimo de riqueza de espécies, ignorando outras dimensões como a diversidade filogenética e funcional. A diversidade filogenética se refere às relações de parentesco evolutivo entre as espécies, enquanto a funcional está relacionada às funções ecológicas desempenhados pelos organismos. Estudar diferentes dimensões da diversidade permite entender a redundância e complementariedade das espécies, pois elas nem sempre possuem os mesmos padrões e são regidas pelos mesmos processos. Entender padrões biogeográficos e ecológicos é essencial outras aplicações, como a conservação de espécies. No caso dos anfíbios, esses conhecimentos são ainda mais urgentes. Os anfíbios são o grupo de vertebrados mais ameaçados de extinção do planeta. Além disso, sua alta diversidade e padrões de distribuição os tornam modelos ideais para testar padrões como o Efeito da Relação Espécie-Área e o Gradiente Latitudinal de Biodiversidade (GLB). Nesta tese, investigamos padrões ecológicos e biogeográficos das diferentes dimensões da biodiversidade de anfíbios, seus processos subjacentes e implicações para a conservação. Utilizamos polígonos de distribuição de espécies da IUCN, corrigidos individualmente. Calculamos a diversidade filogenética com base na filogenia de Portik et al. (2023), utilizando o Índice de Diversidade Filogenética (PDI). Para a diversidade funcional, utilizamos sete ecomorfos de anfíbios como indicadores. No primeiro capítulo, testamos o Efeito da Relação Espécie-Área em anuros do Novo Mundo e não encontramos relação entre riqueza de espécies e tamanho da área. No segundo capítulo, investigamos o GLB para riqueza de espécies e diversidade filogenética de anuros no Novo Mundo, testando quatro hipóteses de processos: Efeito Espécie-Área, Geomorfológica, Estabilidade Climática e Conservação do Nicho Biogeográfico. A riqueza de espécies seguiu o GLB, mas a diversidade filogenética não. O modelo que melhor explicou os padrões foi a combinação da diversidade geológica, estabilidade climática e tamanho da área. No terceiro capítulo, integramos as três dimensões da biodiversidade para encontrar áreas relevantes para a conservação. Também buscamos entender o impacto e a proteção das áreas que seriam chaves para conservação. As três dimensões não são correlacionadas, e as áreas chave para conservação se encontram na bacia Amazônica e na parte central da Mata Atlântica. Porém, essas áreas apresentam grandes impactos humanos e/ou são áreas de frentes de desmatamento, e não possuem áreas de proteção ambiental suficientes. No quarto capítulo buscamos encontrar áreas chave para a conservação global de anfíbios sob perspectiva da diversidade funcional a partir de um índice de áreas prioritárias. Encontramos

que a Mata Atlântica, o leste de Madagascar e o Sri Lanka são áreas prioritárias para conservação. Esperamos com essa tese contribuir para o conhecimento de padrões e processos ecológicos e biogeográficos e auxiliar nas tomadas de decisão para conservação de anfíbios.

Palavras-chave: diversidade filogenética; diversidade funcional; efeito Espécie-Área; Gradiente Latitudinal de Biodiversidade; riqueza de espécies.

GENERAL ABSTRACT

Biodiversity can be understood as the variability among organisms, ranging from genes to ecosystems. Although a multidimensional concept, it is often treated as synonymous with species richness, overlooking other dimensions such as phylogenetic and functional diversity. Phylogenetic diversity refers to the evolutionary relationships among species, whereas functional diversity is related to the ecological roles performed by organisms. Studying different dimensions of diversity allows us to understand species redundancy and complementarity, as they do not always follow the same patterns or are governed by the same processes. Understanding biogeographic and ecological patterns is essential for various applications, including species conservation. For amphibians, this knowledge is even more urgent. Amphibians are the most threatened group of vertebrates globally. Additionally, their high diversity and distribution patterns make them ideal models for testing ecological patterns such as the Species-Area Relationship Effect and the Latitudinal Biodiversity Gradient (LBG). In this thesis, we investigated ecological and biogeographic patterns of different biodiversity dimensions in amphibians, the underlying processes driving these patterns, and their conservation implications. We used species distribution polygons from the IUCN, which were individually corrected. Phylogenetic diversity was calculated based on the phylogeny by Portik et al. (2023), using the Phylogenetic Diversity Index (PDI). Functional diversity was assessed using seven amphibian ecomorphs as proxies. In the first chapter, we tested the Species-Area Relationship Effect in New World anurans and found no relationship between species richness and area size. In the second chapter, we examined the LBG for species richness and phylogenetic diversity in New World anurans, testing four process-based hypotheses: Species-Area Effect, Geomorphological, Climatic Stability, and Biogeographic Niche Conservation. Species richness followed the LBG, whereas phylogenetic diversity did not. The model that best explained the observed patterns was a combination of geological diversity, climatic stability, and area size. In the third chapter, we integrated the three biodiversity dimensions to identify key conservation areas and assess their conservation status. The three dimensions were not correlated, and key conservation areas were found in the Amazon Basin and the central part of the Atlantic Forest. However, these areas are highly impacted by human activities and/or are deforestation frontiers, lacking sufficient protected areas. In the fourth chapter, we aimed to identify global priority areas for amphibian conservation from a functional diversity perspective using a priority area index. Our analysis revealed that the Brazilian Atlantic Forest, eastern Madagascar, and Sri Lanka are priority regions for conservation. With this thesis, we aim to

contribute to the understanding of ecological and biogeographic patterns and processes and support conservation decision-making for amphibians.

Keywords: functional diversity; Latitudinal Gradient of Biodiversity; phylogenetic diversity; Species-Area Relationship; species richness.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. SPECIES-AREA RELATIONSHIP IN NEW WORLD ANURAN AMPHIBIANS .. 16
3. LATITUDINAL BIODIVERSITY GRADIENT: PATTERNS AND PROCESSES OF TWO DIMENSIONS OF BIODIVERSITY FOR NEW WORLD ANURAN AMPHIBIANS 35
4. INTEGRATING TAXONOMIC, PHYLOGENETIC, AND FUNCTIONAL DIVERSITY FOR NEW WORLD AMPHIBIANS' ANURANS CONSERVATION 71
5. GLOBAL KEY AREAS TO CONSERVE AMPHIBIANS' FUNCTIONAL DIVERSITY 95
6. CONCLUSÃO 120
REFERÊNCIAS 121

1. INTRODUÇÃO

A biodiversidade pode ser entendida como a variação entre organismos, incluindo desde genes até ecossistemas completos (Díaz e Malhi, 2022). Apesar da biodiversidade ser um conceito multidimensional, ela geralmente é utilizada como sinônimo de riqueza de espécies (diversidade taxonômica; Devictor et al., 2010). Porém, essa dimensão da biodiversidade trata todas as espécies como equivalentes evolutivos e ecológicos, o que não é real (Devictor et al., 2010). Assim, alternativas para medir a biodiversidade são necessárias, como a diversidade funcional e filogenética (Webb, 2002; Buckley et al., 2010; Fritz e Rahbek, 2012; Bolochio et al., 2020; Bolochio et al., 2025).

A diversidade filogenética leva em consideração as relações filogenéticas entre as espécies (Magurran, 2004; Portik et al., 2023), e, portanto, a história evolutiva de um grupo (Faith, 1992; Fritz e Rahbeck, 2012; Brum et al., 2017; Tietje et al., 2023). Uma área com espécies que possuem relações de parentesco mais distantes é considerada mais diversas que uma área com espécies que possuem relações de parentesco mais próximas. Por exemplo, se uma área possui espécies de diferentes famílias enquanto outra área possui muitas espécies de uma mesma família, a primeira exibe uma diversidade filogenética maior.

Já a diversidade funcional leva em consideração as funções ecológicas das espécies (Díaz e Cabido, 2001; Violle et al., 2007; Strecker et al., 2011; Brum et al., 2017; Bolochio et al., 2020). Esta dimensão permite analisar a relação entre organismos e ambientes a partir de traços ecológicos das espécies, que refletem adaptações às condições bióticas e abióticas dos seus habitats (Díaz e Cabido, 2001; Violle et al., 2007). Por exemplo, se uma área possui espécies com diferentes funções ecossistêmicas enquanto outra área possui muitas espécies que desempenham uma mesma função, a primeira exibe uma diversidade funcional maior. Estudar e integrar as diferentes dimensões da biodiversidade nos permite entender a redundância e a complementariedade das espécies, uma vez que os padrões de diversidade para cada uma das dimensões não são sempre coincidentes (Strecker et al., 2011; Fritz e Rahbeck, 2012; Brum et al., 2017; Cadotte e Tucker, 2018; Bolochio et al., 2020; Portillo et al., 2023).

Existem alguns padrões ecológicos e biogeográficos bem documentados, como a Relação Espécie-Área (REA) e o Gradiente Latitudinal de Biodiversidade (GLB). A REA diz que áreas maiores possuem maior riqueza de espécies (Watson, 1859; Arrhenius, 1921; MacArthur e Wilson, 1963). Em geral, áreas maiores possuem mais recursos (e.g. abrigo, espaço, água e comida) e podem sustentar populações maiores e mais diversas (MacArthur e Wilson, 1963). Por sua vez, populações maiores são menos vulneráveis à eventos estocásticos

e possuem uma maior estabilidade genética (MacArthur e Wilson, 1963; Zaoli et al., 2019). Áreas maiores também apresentam maior heterogeneidade ambiental, permitindo a coexistência de espécies adaptadas a diferentes condições ambientais (Rosenzweig, 1995; Connor e McCoy, 2001; Kadmon e Allouche, 2007).

O GLB, por outro lado, é um padrão biogeográfico que corresponde à maior riqueza de espécies em menores latitudes (Fisher, 1960; Pianka, 1966; Wiens et al., 2006; Archibald et al., 2010; Jablonski et al., 2013; Mannion et al., 2014; Pontarp et al., 2018). Em outras palavras, a riqueza de espécies é maior nos trópicos, e conforme nos direcionamos para os polos a riqueza vai diminuindo. Existem muitas hipóteses que buscam explicar o GLB. Duas hipóteses geográficas são consideradas: a própria REA, uma vez que, globalmente, existe mais terra na faixa dos trópicos do que nos polos, e a hipótese da geomorfologia, que propõe que áreas mais geodiversas, com grandes cadeias de montanhas, por exemplo, são também mais biodiversas (MacArthur e Wilson, 1963; Romdal e Grytnes, 2007; Antonelli et al., 2018; Mosbrugger et al., 2018). Existe também a hipótese de estabilidade climática (Klopfer, 1959), uma vez que áreas mais estáveis climaticamente promovem recursos mais constantes, reduzindo as taxas de extinção e aumentando inclusive a taxa de especiação (Klopfer, 1959; Pianka, 1966). E, por fim, existem também a hipótese da Conservação do Nicho Biogeográfico (*sensu* Pyron e Burbrink, 2009), que diz que áreas com alta riqueza de espécies e diversidade filogenética são esperadas em regiões próximas ao surgimento do clado (Stephens e Wiens, 2003; Wiens e Donoghue, 2004).

Reconhecer os padrões de diferentes dimensões da biodiversidade é também o passo inicial para muitas outras questões da biogeografia e ecologia, e primordial para a conservação de espécies. No caso dos anfíbios esses estudos são ainda mais urgentes. Os anfíbios são o grupo de vertebrados mais ameaçados do mundo, com mais de 40% das espécies classificadas dentro de algum grau de ameaça da União Internacional para Conservação da Natureza (International Union for Conservation of Nature; IUCN; Luedtke et al., 2023; IUCN, 2025). As principais causas do declínio de anfíbios são os efeitos diretos e indiretos das ações humanas, como perda e fragmentação de habitat, poluição e mudanças climáticas (Alford et al., 2001; Stuart et al., 2004; Becker et al., 2007; Nori et al., 2015; Luedtke et al., 2023; Neves et al., 2025).

Os anfíbios anuros são um grupo amplamente distribuídos e adaptados a diferentes ambientes (Pough et al., 2008; Frost, 2025). Atualmente, 7,792 espécies de anuros são reconhecidas mundialmente, com aproximadamente 3,600 espécies ocorrendo nas Américas (Frost, 2025). O Novo Mundo, por sua vez, possui uma ampla variação latitudinal, de 81°N a

56°S, e também uma significativa variação altitudinal, do nível do mar até os 6,738.5 metros nas montanhas andinas. Essa ampla extensão geográfica permitiu que muitos processos evolutivos e adaptativos ocorressem em diferentes ambientes, resultando em uma grande variedade de gêneros e ecomorfos de anuros. Assim, os anuros e as Américas são ótimos modelos para estudar padrões biogeográficos e testar processos ecológicos.

Esta tese teve como objetivo principal entender alguns padrões e processos de diferentes dimensões da biodiversidade de anfíbios, com implicações para a conservação. No primeiro capítulo buscamos testar a Relação Espécie-Area de anfíbios anuros no Novo Mundo. Ou seja, testamos se unidades biogeográficas (Olson et al., 2001 e Morrone et al., 2018) maiores em área disponível possuem maior riqueza de espécies de anuros. No segundo capítulo, analisamos os padrões de distribuição geográfica dos anuros no Novo Mundo, e testamos alguns dos processos ecológicos e evolutivos relacionados aos padrões encontrados. Analisamos a distribuição da riqueza de espécies e da diversidade filogenética ao longo do gradiente latitudinal, testando o GLB. Também investigamos se os padrões de distribuição da riqueza de espécies e da diversidade filogenética são mais relacionados ao tamanho da área, diversidade geomorfológica, estabilidade climática, e/ou o local da origem dos clados.

Por fim, os dois últimos capítulos enfocam a conservação, e incluem a diversidade filogenética. No terceiro capítulo, buscamos identificar áreas de alta diversidade de anuros no Novo Mundo integrando três diferentes dimensões da biodiversidade: a taxonômica, filogenética e funcional. Também investigamos o estado de conservação das áreas identificadas como críticas para a conservação de anuros, analisando os impactos humanos, frentes de desmatamento, e áreas protegidas. No quarto e último capítulo, analisamos o panorama de conservação funcional de anfíbios globalmente, estabelecendo áreas prioritárias para conservação. Nós analisamos os padrões de simpatria de áreas prioritárias para conservação de cada ecomorfo de anfíbio, e então determinamos um ranking de prioridade global de áreas sob uma perspectiva funcional, oferecendo *insights* para estratégias globais de conservação de anfíbios.

6. CONCLUSÃO

Demostramos que os padrões de distribuição de diferentes dimensões da diversidade de anfíbios anuros no Novo Mundo não são sobrepostos, evidenciando a importância de estudar diferentes dimensões principalmente para a conservação de espécies. Também observamos que os padrões ecológicos e biogeográficos já bem estudados podem não ser aplicados a dimensões que não a riqueza de espécies. Também apontamos aqui a importância de protocolos de conservação não serem baseados apenas em riqueza de espécies.

No primeiro capítulo, nossos resultados mostraram que maiores unidades biogeográficas não possuem maiores riquezas de anfíbios anuros. Ou seja, não existe uma relação espécie-área para anuros no Novo Mundo. No segundo capítulo, observamos que a riqueza de espécies segue o Gradiente Latitudinal de Biodiversidade, enquanto a diversidade filogenética não. Mesmo estas duas dimensões apresentando padrões de distribuição diferentes, o melhor modelo que explica os processos por trás dos padrões encontrados foram o conjunto de diversidade geológica, estabilidade climática e tamanho da área. Evidenciamos neste capítulo a importância de barreias geográficas como montanhas, ilhas e rios, para o aumento da biodiversidade. No terceiro capítulo, mostramos os padrões de distribuição das diversidades taxonômica, filogenética e funcional, pontuando que esses padrões não são coincidentes. As áreas chaves para conservação de anuros no Novo Mundo integrando as três diversidades se encontram na Bacia Amazônica e na parte central da Mata Atlântica. Porém, essas áreas apresentam grandes impactos humanos e/ou são áreas de frentes de desmatamento, e não possuem áreas de proteção ambiental suficientes. Por fim, no quarto capítulo da tese buscamos apontamos que a Mata Atlântica, o leste de Madagascar e o Sri Lanka são áreas prioritárias para conservação de anfíbios globalmente sob uma perspectiva funcional.

Nossos estudos revelam novos padrões ecológicos e biogeográficos, e ressaltam a importância de testar padrões bem estabelecidos. Além disso, os resultados dessa tese possuem aplicações diretas para a conservação do grupo de vertebrados mais ameaçado do mundo, podendo ser utilizados diretamente em planos de ação e conservação da biodiversidade.

REFERÊNCIAS

ALFORD, R. A.; DIXON, P. M.; PECHMANN, J. H. K. Global amphibian population declines. **Nature**, v. 412, p. 498-500, 2001.

ANTONELLI, A.; KISSLING, W. D.; FLANTUA, S. G. A.; BERMÚDEZ, M. A.; MULCH, A.; MUELLNER-RIEHL, A. N.; KREFT, H.; LINDER, H. P.; BADGLEY, C.; FJELDSA, J.; FRITZ, S. A.; RAHBEK, C.; HERNAN, F.; HOOGHIEMSTRA, H.; HOORN, C. Geological and climatic influences on mountain biodiversity. **Nature Geoscience**, v. 11, p. 718-725, 2018.

ARCHIBALD, S. B.; BOSSERT, W. H.; GREENWOOD, D. R.; FARRELL, B. D. Seasonality, the latitudinal gradient of diversity, and Eocene insects. **Paleobiology**, v. 36, p. 374-398, 2010.

ARRHENIUS, O. Species and area**. Journal of Ecology**, v. 9, p. 95-99, 1921.

BECKER, C. G.; FONSECA, C. R.; HADDAD, C. F. B.; BATISTA, R. F.; PRADO, P. I. Habitat Split and the Global Decline of Amphibians. **Science**, v. 318, p. 1775-1777, 2007.

BOLOCHIO, B. E.; BRASIL-GODINHO, M.; NOGUEIRA, C. C.; SAWAYA, R. J. Conserving biogeographical units of endemic amphibians in the megadiverse Atlantic Forest. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 97, e20240472, 2025.

BOLOCHIO, B. E.; LESCANO, J. N.; CORDIER, J. M.; LOYOLA, R.; NORI, J. A functional perspective for global amphibian conservation. **Biological Conservation**, v. 245, e108572, 2020.

BRUM, F. T.; GRAHAM, C. H.; COSTA, G. C.; HEDGES, S. B.; PENONE, C.; RADELOFF, V. C.; RONDININI, C.; LOYOLA, R.; DAVIDSON, A. D. Global priorities for conservation across multiple dimensions of mammalian diversity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, p. 7641-7646, 2017.

BUCKLEY, L. B.; DAVIES, T. J.; ACKERLY, D. D.; KRAFT, N. J. B.; HARRISON, S. P.; ANACKER, B. L.; CORNELL, H. V.; DAMSCHEN, E. I.; GRYTNES, J. A.; HAWKINS, B. A.; MCCAIN, C. M.; STEPHENS, P. R.; WIENS, J. J. Phylogeny, niche conservatism and the latitudinal diversity gradient in mammals. **Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences**, v. 277, p. 2131-2138, 2010.

CADOTTE, M. W.; TUCKER, C. M. Difficult decisions: strategies for conservation prioritization when taxonomic, phylogenetic and functional diversity are not spatially congruent. **Biological Conservation**, v. 225, p. 128-133, 2018.

CONNOR, E. F.; MCCOY, E. D. Species–area relationships. In Levin, S. (org). **Encyclopedia of biodiversity, vol. 5**. Massachusetts: Academic Press, 2001. p. 397-411.

DEVICTOR, V.; MOUILLOT, D.; MEYNARD, C.; JIGUET, F.; THUILLER, W.; MOUQUET, N. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. **Ecology Letters**, v. 13, p. 1030-1040, 2010.

DÍAZ, S., CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversitymatters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, p. 646-655, 2001.

DÍAZ, S., MALHI, Y. Biodiversity: Concepts, Patterns, Trends, and Perspectives. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 47, p. 31-63, 2022.

FAITH, D. P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. **Biological Conservation** v. 61, p. 1-10, 1992.

FISCHER, A. G. Latitudinal variation in organic diversity. **Evolution**, v. 14, p. 64-81, 1960.

FRITZ, S. A.; RAHBEK, C. Global patterns of amphibian phylogenetic diversity. **Journal of Biogeography**, v. 39, p. 1373-1382, 2012.

FROST, D. R**. Amphibian species of the world: an online reference.** Version 6.0. New York: Amerian Museum of Natural History. Disponível em: http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html. Acesso em: 20 mar. 2025.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. IUCN. Disponível em: https://www.iucnredlist.org./. Acesso em: 04 jan. 2025.

JABLONSKI, D.; BELANGER, C. L.; BERKE, S. K.; HUANG, S.; KRUG, A. Z.; ROY, K.; TOMASOVYCH, A.; VALENTINE, J. W. Out of the tropics, but how? Fossils, bridge species, and thermal ranges in the dynamics of the marine latitudinal diversity gradient. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, p. 10487-10494, 2013.

KADMON, R.; ALLOUCHE, O. Integrating the effects of area, isolation, and habitat heterogeneity on species diversity: a unification of island biogeography and niche theory. **The American Naturalist**, v. 170, p. 443-454, 2007.

KLOPFER, P. H. Environmental determinants of faunal diversity. **The American Naturalist**, v. 93, p. 337-342, 1959.

LUEDTKE, J. A.; CHANSON, J.; NEAM, K.; ET AL. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. **Nature**, v. 622, p. 308-314, 2023.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. An equilibrium theory of insular zoogeography. **Evolution,** v. 17, p. 373-387, 1963.

MAGURRAN, A. E. **Measuring biological diversity.** Oxford: Blackwell Science Ltd, 2004. p. 256.

MANNION, P. D.; UPCHURCH, P.; BENSON, R. B. J.; GOSWAMI, A. The latitudinal biodiversity gradient through deep time. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, p. 42-50, 2014.

MORRONE, J. J.; SCARLATE, T.; RODRÍGUEZ-TAPIA, G.; CARMONA, A.; ARANA, M.; MERCADO-GÓMEZ, J. D. Biogeographic regionalization of the Neotropical region: New map and shapefile. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 94, e20211167, 2022.

MOSBRUGGER, V.; FAVRE, A.; MUELLNER-RIEHL, A. N.; PÄCKERT, M.; MULCH, A. Cenozoic evolution of geo-biodiversity in the Tibeto-Himalayan Region. In Hoorn, C.; Perrigio, A.; Antonelli, A. (orgs). **Mountains, climate, and biodiversity**. Oxford: Wiley-Blackwell, Oxford, 2018. p. 429-448.

NEVES, M. O; BROENNIMANN, O.; MOD, H. K.; BOLOCHIO, B. E.; SANTANA, D. J.; GUISAN, A.; MOURA, M. R. Climate change threatens amphibians and species representation within protected areas in tropical wetlands. **Journal of Applied Ecology**, v. 62, p. 290-302, 2025.

NORI, J.; LEMES, P.; URBINA-CARDONA, N.; BALDO, D.; LESCANO, J.; LOYOLA, R. Amphibian conservation, land-use changes and protected areas: A global overview. **Biological Conservation**, v. 191, p. 367-374, 2015.

OLSON, D. M.; DINERSTEIN, E.; WIKRAMANAYAKE, E. D.; BURGESS, N. D.; POWELL, G. V. N.; UNDERWOOD, E. C.; D'AMICO, J. A.; ITOUA, I.; STRAND, H. E.; MORRISON, J. C.; LOUCKS, C. J.; ALLNUTT, T. F.; RICKETTS, T. H.; KURA, Y.; LAMOREUX, J. F.; WETTENGEL, W. W.; HEDAO, P.; KASSEM, K. R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. **BioScience,** v. 51, p. 933-938, 2001.

PIANKA, E. R. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. **The American Naturalist**, v. 100, p. 33-46, 1966.

PONTARP, M.; BUNNEFELD, L.; CABRAL, J. S.; ETIENNE, R. S. The Latitudinal Diversity Gradient: Novel Understanding through Mechanistic Eco-evolutionary. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 34, p. 211-223, 2018.

PORTIK, D. M.; STREICHER, J. W.; WIENS, J. J. Frog phylogeny: A time-calibrated, species-level tree based on hundreds of loci and 5,242 species. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 188, 107907, 2023.

PORTILLO, J. T. M.; AZEVEDO, J. A. R.; BARBO, B. E.; SAWAYA, R. J. Opposite latitudinal gradients for species richness and phylogenetic diversity of endemic snakes in the Atlantic Forest. **Current Zoology**, v. 70, p. 522-530, 2023.

POUGH, H.; JANIS, C. M.; HEISER, J. B. **A Vida dos Vertebrados**. São Paulo: Atheneu, 2008. p. 684.

PYRON, R. A.; BURBRINK, F. T. Can the tropical conservatism hypothesis explain temperate species richness patterns? An inverse latitudinal biodiversity gradient in the New World snake tribe Lampropeltini. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, p. 406-415, 2009.

ROMDAL, T. S.; GRYTNES, J. A. An indirect area effect on elevational species richness patterns. **Ecography**, v. 30, p. 440-448, 2007.

ROSENZWEIG, M. L. **Species diversity in space and time**. New York: Cambridge University Press, 1995. p. 460.

STEPHENS, P. R.; WIENS, J. J. Explaining species richness from continents to communities: the time for speciation effect in emydid turtles. **The American Naturalist**, v. 161, p. 112-128, 2003.

STRECKER, A. L.; OLDEN, J. D.; WHITTIER, J. B.; PAUKERT, C. P. Defining conservation priorities for freshwater fishes according to taxonomic, functional, and phylogenetic diversity. **Ecological Applications**, v. 21, p. 3002-3013, 2011.

STUART, S. N.; CHANSON, J. S.; COX, N. A.; YOUNG, B. E.; RODRIGUES, A. S. L.; FISCHMAN, D. L.; WALLER, R. W. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. **Science**, v. 306, p. 1783-1786, 2004.

TIETJE, M.; ANTONELLI, A.; FOREST, F.; GOVAERTS, R.; SMITH, S. A.; SUN, M.; BAKER, W. J.; EISERHARDT, W. L. Global hotspots of plant phylogenetic diversity. **New Phytologist**, v. 240, p. 1636-1646, 2023.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, v. 116, p. 882-892, 2007.

WATSON, H. C. **Cybele Britannica, or British plants and their geographical relations**. London: Longman & Company, 1859. p. 560.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. Phylogenies and community ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, p. 475-505, 2002.

WIENS, J. J.; DONOGHUE, M. J. Historical biogeography, ecology and species richness**.** **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, p. 639-644, 2004.

WIENS, J. J.; GRAHAM, C. H.; MOEN, D. S.; SMITH, S. A.; REEDER, T. W. Evolutionary and ecological causes of the latitudinal diversity gradient in hylid frogs: treefrog trees unearth the roots of high tropical diversity. **The American Naturalist**, v. 168, p. 579-596, 2006.

ZAOLI, S.; GIOMETTO, A.; GIEZENDANNER, J.; MARITAN, A.; RINALDO, A. On the probabilistic nature of the species-area relation. **Journal of Theoretical Biology**, v. 462, p. 391-407, 2019.