



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA

DANIEL GARCIA CHAGAS

ESTRUTURAÇÃO DE UMA METACOMUNIDADE DE ANFÍBIOS
ANUROS NO SUDESTE DO BRASIL: INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS,
FENOTÍPICAS E FILOGENÉTICAS

CAMPINAS

2017

DANIEL GARCIA CHAGAS

ESTRUTURAÇÃO DE UMA METACOMUNIDADE DE ANFÍBIOS
ANUROS NO SUDESTE DO BRASIL: INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS,
FENOTÍPICAS E FILOGENÉTICAS

*Dissertação apresentada ao Instituto de
Biologia da Universidade Estadual de
Campinas como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de Mestre
em Ecologia.*

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jannini Sawaya

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DISSERTAÇÃO/TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO DANIEL
GARCIA CHAGAS, E ORIENTADO PELO
PROF. DR. RICARDO JANNINI SAWAYA.

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 131477/2015-3

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Biologia
Mara Janaina de Oliveira - CRB 8/6972

C346e Chagas, Daniel Garcia, 1990-
Estruturação de uma metacomunidade de anfíbios anuros no Sudeste do Brasil : influências ambientais, fenotípicas e filogenéticas / Daniel Garcia Chagas. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Ricardo Jannini Sawaya.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.

1. Bioacústica. 2. Fatores abióticos. 3. Anuro - Reprodução. I. Sawaya, Ricardo Jannini. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Structuration of an anuran amphibian metacommunity in Southeastern Brazil : environmental, phenotypic and phylogenetic influences

Palavras-chave em inglês:

Bioacustics

Abiotic factors

Anura – Reproduction

Área de concentração: Ecologia

Titulação: Mestre em Ecologia

Banca examinadora:

Ricardo Jannini Sawaya [Orientador]

Márcio Roberto Costa Martins

Diogo Borges Provete

Data de defesa: 23-02-2017

Programa de Pós-Graduação: Ecologia

Campinas, 23 de fevereiro de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.(a) Dr.(a). Ricardo Jannini Sawaya

Prof.(a). Dr.(a) Márcio Roberto Costa Martins

Prof.(a) Dr(a). Diogo Borges Provete

Os membros da Comissão Examinadora acima assinaram a Ata de Defesa, que se encontra no processo de vida acadêmica do aluno.

A Suvamir Garcia, caçador de sapos desde muito antes de eu nascer.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, D. Sandra, pela ajuda emocional e financeira que permitiram que eu realizasse esse trabalho. Agradeço também meu irmão, Israel, pela amizade, pela ajuda na logística de campo, por ter encarado um dia de sapólogo e pelo companheirismo desde o útero.

Agradeço a todo o pessoal do Laboratório de Biogeografia, Ecologia e Evolução, pela participação em diversos momentos do mestrado. Ao Ricardo Sawaya, pela orientação e por me fazer acreditar no projeto quando eu perdia a esperança. Aos mestres Thiago e Décio, que se dispuseram a me ajudar no delineamento amostral em longas sessões de Skype, e à Thais Guedes pela participação na banca.

Ao professor Gustavo Romero, por ter disponibilizado um lugar em seu laboratório durante o tempo que morei em Campinas e pelas produtivas conversas durante a fase de disciplinas e de coleta de dados. Ao pessoal do lab, Paula, Pablo, Talha, Bernabé, Alexandre, Ana Z, Tháles, Felipe, Fátima, Sandrinha, Babi, Jenny, Crasso e Adriano, agradeço pela ajuda e companheirismo nas apresentações, discussões de artigos, campos, almoços e momentos de recreação.

A todos os colegas e professores da Unicamp que conheci nesse período pelas palestras, aulas, e discussões produtivas. Aos colegas ingressantes em 2014, agradeço pelo companheirismo durante as disciplinas e outros apertos, especialmente durante o Curso de Campo. Fico muito feliz de ter trabalhado e festejado com esses grandes ecólogos!

Agradeço a todos os companheiros de campo, que vivenciaram comigo as alegrias e imprevistos metodológicos, gastronômicos e climáticos do Japi. Ao Felipe “Estrela” Rezende, da Unicamp, que encarou comigo todos os meses no Japi. À Gabriela Carvalho, pelo companheirismo, dedicação e ajuda nos momentos em que mais precisei, e pelos momentos que compartilhamos que até hoje me servem de aprendizado. Agradeço a Carol Manzano, pelo companheirismo, organização e pelas gravações que tornaram esse trabalho possível, à Júlia Montenegro, Felipe “Minhoca” Pinheiro, Lucas Vivot, Vivian Tavares e Gabriel Macedo pela amizade, pelos projetos e conversas científicos e não científicos, pelos momentos musicais humanos e animais e por tantas experiências desde 2008. Obrigado aos ajudantes do Estrela da Unicamp e ao pessoal da Unifesp e outras faculdades de São Paulo, Mari, Kevin, Marcos, Jenny Tezuka, André, Lucas e Marina pela disposição em ajudar nos campos, mesmo sem conhecer o projeto. Agradeço a todos os parasitas que encontramos em campo por terem tirado apenas pequenas quantidades de sangue das pessoas citadas acima, e às jaranhas pelo bom comportamento na maior parte do tempo.

Aos amigos de longa data, “Os Brothers” Batata, Vera, Luíza, Teruel e William, e amigos do ensino médio e da Unifesp, cuja amizade se mantém até hoje, se fortalecendo a cada encontro, a cada festa e carnaval.

Aos moradores da República do Calango-Marofinha, em Barão Geraldo, agradeço pelas conversas e pelo conhecimento despretenso adquirido nas conversas cotidianas da casa. Agradeço também aos moradores e agregados das repúblicas amigas da nossa, Camila, Léo, André, Mari, Pietro, Vini, Gastão, Maraísa, Toco, Samuel, Lucas, Thuane e tantos outros pelos momentos comemorativos, e pela ajuda nas disciplinas e prévias da qualificação. Ao Carlos Coquinho pelos tantos ensinamentos sobre ecologia aplicada à agroecologia, a Marcelo pelo pensamento crítico e disposição em ajudar. Ao Alexandre, Bino, Maurinho, Amanda, Alice, Luara e Marofinha agradeço pelos momentos difíceis de acreditar que presenciamos, com direito a ataques de maritaca, chuveiros assassinos, manifestações sobrenaturais, pernoites no banheiro, acidente de bicicleta, ceias com biscoito de côco e outras tantas aventuras na (e no) Vila. Obrigado aos que me abrigaram e ainda abrigam em Barão após minha volta pra Jundiaí, graças a vocês ainda me sinto em casa.

À professora Denise Rossa-Feres, pelas discussões e sugestões nas fases de análises e pré-banca, e aos colegas do Laboratório de Ecologia Animal da UNESP – Rio Preto, Mainara, Alba, David, Katiuce, Carlão, Fabi e Paquito, pela recepção, atenção e disposição em ajudar. À Mainara e Paquito pela ajuda com as análises, à Alba e David pela hospedagem e pelo curso intensivo de espanhol, e à Katiuce pelo esforço e eficiência que me permitiram coletar os dados funcionais de girinos em tão pouco tempo.

Ao mestre Jesus “Danilo” (de Rio Claro), por ter sido meu mestre nos anfíbios, artes marciais, pela hospedagem no período em Rio Claro e pela ajuda com os exemplares da coleção da UNESP.

Ao pessoal da Secretaria Municipal do Planejamento e Meio Ambiente de Jundiaí e da Base Ecológica da Serra do Japi, Ronaldo, Seu Lauro, Steyse, Ângelo e à todo pessoal da manutenção de estradas, por tornarem nossa acomodação possível durante os períodos de coleta de dados.

Um grande obrigado ao Diogo Provete pela ajuda e preocupação na fase de análises e pela participação na pré-banca e na banca.

Aos sapos, pererecas, rãs, crustáceos e insetos que deram suas vozes e vidas por esse trabalho.

RESUMO

Anfíbios anuros que se reproduzem em poças são organismos de ciclo de vida complexo com distribuição discreta no espaço, o que os torna um grupo interessante para o estudo de ecologia de comunidades. Apesar de adultos escolherem poças com características adequadas para o desenvolvimento de girinos, adultos e larvas têm diferentes relações com o meio abiótico e interações com outras espécies. Esses processos bióticos e abióticos podem influenciar a co-ocorrência de espécies em comunidades biológicas, e evidências da atuação desses processos podem ser obtidas a partir da identificação de padrões funcionais e filogenéticos entre as espécies. Desta forma, nosso objetivo foi compreender como a co-ocorrência de espécies é influenciada por variáveis ambientais e distância funcional e filogenética de larvas e adultos numa metacomunidade de anfíbios anuros no sudeste do Brasil. Para isso, amostramos dez na Reserva Municipal da Serra do Japi por cinco meses entre novembro de 2014 e março de 2015. Neste período, coletamos dados referentes à qualidade da água e características externas das poças. Medimos atributos funcionais das espécies relacionados ao nicho ecológico, características reprodutivas de adultos (canto e utilização do espaço em atividade reprodutiva) e caracteres ecomorfológicos de girinos. Geramos filogenias para cada estágio a partir de hipóteses filogenéticas disponíveis para anuros. Medimos o sinal filogenético nos atributos para avaliar a congruência de diferenças ecológicas e evolutivas entre as espécies. Em seguida, testamos como diferentes padrões de ocorrência se relacionaram às distâncias ambientais entre poças, às distâncias filogenéticas e funcionais entre espécies e à correlação ambiente - distâncias funcionais e ambiente - filogenia. A co-ocorrência de espécies foi influenciada pela qualidade da água e área das poças, e apenas variáveis da água foram correlacionadas à distância funcional e filogenética em ambos os estágios. Para girinos, nitrato e pH se relacionaram à estrutura agregada e dispersa, respectivamente. Para adultos, a área influenciou a ocorrência das espécies independentemente de diferenças filogenéticas e funcionais, e apenas o pH se relacionou à co-ocorrência de espécies funcional e filogeneticamente próximas. Portanto, a qualidade da água é um importante fator determinando a co-ocorrência de espécies, influenciando ambos estágios de vida. O estudo da reprodução das espécies pode fornecer evidências de como ocorre a montagem de comunidades biológicas.

ABSTRACT

Pond-breeding anuran amphibians are organisms with complex life cycle and discrete spatial distribution, which makes it an interesting group for the study of community ecology. Although adults choose suitable ponds for larval development, each life stage deals with different selective agents and species interactions. The use of functional traits and phylogenies in community ecology allows to infer possible processes involved in community organization, such as environmental filters and species interactions. Our objective was to understand how environmental variables and interactions among species are related to functional and phylogenetic structure in both life stages, tadpoles and adults, in an anuran metacommunity in the Japi Mountain Range, Jundiaí, São Paulo, Southeastern Brazil. We sampled ponds located both inside and adjacent to a municipal reserve. We sampled environmental variables related to water quality and external structure of the ponds, and used as species traits, a proxy for their ecological niches, adult reproductive features (related to call emission and space use) and ecomorphological traits in tadpoles. We used phylogenies for both life stages, and metrics of phylogenetic signal to infer ecological and evolutionary differences among species. We then test how different patterns of occurrence were associated with environmental differences between ponds, with functional and phylogenetic distances between species and with the environment – functional distance and environment – phylogenetic distance correlations. Species cooccurrence was influenced by water quality and pond area, and only water variables were related to functional and phylogenetic structure in both stages. Among tadpoles, nitrate and pH were respectively associated to aggregated and overdispersed phylogenetic structure. Among adults, pond area influenced species cooccurrence regardless functional and phylogenetic differences, and only pH was related to functional and phylogenetic structure in this stage. Therefore, water quality is an important factor in structuring species cooccurrence in Japi Mountain range, by influencing both life stages. The study of species reproduction may provide evidence on how biological communities assemble.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	6
2	MÉTODOS.....	9
2.1	Área de estudo	9
2.2	Amostragem em campo	10
2.2.1	Caracterização das poças	10
2.2.2	Amostragem de espécies	13
2.3	Atributos funcionais.....	13
2.4	Filogenias da metacomunidade.....	17
2.5	Padrões de co-ocorrência de girinos e adultos.....	17
3	RESULTADOS	19
3.1	Espécies registradas	19
3.2	Padrões de co-ocorrência de anuros.....	20
3.2.1	Padrão de Ocorrência Agrupado	20
3.2.2	Padrão de Ocorrência Associado.....	20
3.2.3	Padrão de Ocorrência Segregado.....	20
4	DISCUSSÃO.....	23
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
6	APÊNDICES	33
6.1	APÊNDICE 1: Sinal filogenético nos atributos funcionais	33
6.2	APÊNDICE 2: Autocorrelação espacial nas variáveis ambientais	34
7	ANEXOS.....	36
7.1	ANEXO 1: Abundância de girinos e adultos.....	36
7.2	ANEXO 2: Filogenias das espécies	38

1 INTRODUÇÃO

A co-ocorrência de espécies depende de fatores que variam em diferentes escalas espaciais e temporais (Vellend, 2010). A persistência de espécies em comunidades na escala local é influenciada por interações com o ambiente e outras espécies (Chesson, 2000) e pela dispersão de indivíduos (Leibold *et al.*, 2004). Essa rede de comunidades locais conectadas por dispersão de indivíduos de várias espécies é definida como metacomunidade (Leibold *et al.*, 2004).

Os processos pelos quais as espécies de uma região persistem na metacomunidade é chamado de montagem de comunidades (HilleRisLambers *et al.*, 2012). A montagem de comunidades é resultado tanto de processos neutros (Hubbel, 2001) como de processos determinísticos, referentes ao nicho ecológico (Chase & Leibold, 2003). Enquanto processos neutros se referem à variação aleatória nas taxas de mortalidade, nascimento e dispersão de indivíduos (Hubbell, 2001; Chave, 2004), processos de nicho são relacionados às diferentes respostas e impactos das espécies a fatores abióticos e bióticos (Chase & Leibold, 2003). Espécies podem co-ocorrer por apresentarem tolerâncias semelhantes a certas características ambientais, ou seja, devido a semelhanças em seus nichos ecológicos (“filtragem ambiental”; Keddy, 1992). Alternativamente, a semelhança entre espécies pode limitar sua co-ocorrência, de maneira que apenas as espécies que utilizam melhor os recursos persistirão na comunidade, levando a pouca ou nenhuma sobreposição de nicho (MacArthur & Levins, 1967). Esse processo é conhecido como exclusão competitiva (Gause, 1936).

Uma das maneiras de acessar a importância relativa da filtragem ambiental e competição na montagem de comunidade é através da incorporação de filogenias no estudo de metacomunidades (Cavender-Bares *et al.*, 2009). A abordagem da ecologia filogenética, popularizada por Webb *et al.* (2002), assume que atributos ecologicamente relevantes são conservados ao longo da evolução (Cavender-Bares *et al.*, 2009). Essas características relacionadas ao desempenho ecológico de indivíduos são definidas como atributos funcionais (Violle *et al.*, 2007), e devem ser selecionados de maneira a representar importantes dimensões do nicho ecológico das espécies (Petchey & Gaston 2006). Com a utilização da filogenia das espécies é possível quantificar a tendência de espécies próximas apresentarem atributos mais semelhantes do que comparado a espécies sorteadas ao acaso da filogenia (“sinal filogenético”, Munkemuller *et al.*, 2015). Dessa maneira, a proximidade de parentesco (medida através de distâncias filogenéticas, por exemplo) representaria similaridades ecológicas entre espécies, ou seja, seu nicho ecológico (filogenia como proxy; Webb *et al.*,

2002). É possível então relacionar padrões filogenéticos observados em comunidades a processos ecológicos (Mouquet *et al.*, 2012).

Se espécies próximas coocorrem com maior frequência do que o esperado pelo acaso, as distâncias filogenéticas entre as espécies da comunidade são baixas, o que resulta em uma estrutura filogenética agregada (Webb *et al.*, 2002). Alternativamente, distâncias filogenéticas maiores do que o esperado pelo acaso resultam em estrutura filogenética dispersa (Webb *et al.*, 2002). Caso atributos sejam conservados (com sinal filogenético alto) a estrutura agregada é relacionada ao processo de filtragem ambiental, enquanto a estrutura dispersa é associada à competição entre espécies (Cavender-Bares *et al.*, 2009). Entretanto, caso os atributos funcionais sejam convergentes (com sinal filogenético baixo) processos de filtragem ambiental resultam em estrutura filogenética dispersa, enquanto processos competitivos resultam em estrutura filogenética aleatória (Pausas & Verdú, 2010). Portanto, a consideração da filogenia em conjunto com características funcionais das espécies permite associar mais claramente quais processos ecológicos são relacionados à estrutura filogenética da comunidade (Mayfield & Levine, 2010; Mouquet *et al.*, 2012).

Anfíbios anuros que se reproduzem em poças são um grupo interessante para o estudo de montagem de comunidades (e.g. Rossa-Feres & Jim, 2001; Valdujo *et al.*, 2012; Luiz *et al.*, 2016). Anuros são organismos ectotérmicos de pele permeável que dependem da umidade e temperatura (Wells, 2007) e, portanto, apresentam distribuição espacial discreta associada a ambientes úmidos (Petranka *et al.*, 2004). Por serem organismos com ciclo de vida complexo, o estágio adulto é dedicado principalmente à reprodução, enquanto no estágio larval há investimento exclusivo em crescimento (Dodd, 2010). Espécies com diferentes histórias evolutivas podem ocorrer numa mesma poça e apresentam, portanto, grande diversidade de modos reprodutivos (Crump, 2015). Modos reprodutivos são conjuntos de características que resumem a utilização de sítios de postura de ovos, características dos ovos, da desova, do desenvolvimento dos girinos e possível cuidado parental (Haddad & Prado, 2005). Enquanto algumas espécies são generalistas quanto às suas características reprodutivas, outras possuem modos altamente especializados, o que restringe sua ocorrência a habitats com características específicas (Crump, 2015). Portanto, a co-ocorrência de anuros depende de diferentes pressões seletivas sobre os estágios adulto e larval (Wells, 2007).

A reprodução dos adultos ocorre geralmente através de sinais acústicos emitidos pelos machos, que se organizam ao redor das poças, onde emitem cantos espécie-específicos para atrair fêmeas e para manutenção de territórios (Duellman & Trueb, 1986). Logo, os fatores

relativos ao nicho mais importantes para a reprodução de anuros adultos são a disponibilidade de sítios de vocalização e oviposição (espaço; Conte & Rossa-Feres, 2007; Gottsberger & Gruber, 2004) e disponibilidade de faixas de frequência sonora na qual possam emitir seus cantos (espectro; Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008), que podem ser utilizadas diferencialmente por espécies ao longo de uma noite ou durante o ano (tempo; Conte & Rossa-Feres 2007; Gottsberger & Gruber, 2004). Pode ocorrer a partição do nicho acústico em comunidades de anuros como resultado da seleção contra interferência de sinal (Chek *et al.*, 2003; Sinsch *et al.*, 2012), especialmente quando há sobreposição no uso dos sítios de vocalização entre as espécies (Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008; Santos *et al.*, 2007). A partição de nicho acústico pode se relacionar à estrutura filogenética em comunidade de anfíbios que se reproduzem em poças (Carvajal-Castro & Vargas-Salinas, 2016) e de aves (Gasc *et al.*, 2013).

Há evidências de que adultos escolhem as poças mais adequadas para o desenvolvimento das larvas (Resetarits, 1996; Petranka *et al.*, 2004). Características estruturais das poças como sua área (Werner *et al.*, 2007), a cobertura de dossel (Schiesari, 2006; Skelly, 2001) e a qualidade da água (Wellborn *et al.*, 1996; Skelly, 2001) são alguns dos fatores mais importantes relacionados à seleção de sítios de oviposição em anuros. Poças pequenas e efêmeras apresentam maior probabilidade de dissecação, mas quando são permanentes podem abrigar comunidades mais diversas de predadores (Blaustein *et al.*, 2004; Resetarits, 1996). A cobertura de dossel das poças restringe a quantidade de oxigênio dissolvido e produtividade disponíveis para as larvas aquáticas (Werner *et al.*, 2007; Schiesari, 2006). Variáveis relacionadas à qualidade da água como o pH e a concentração de nitrato podem, respectivamente, afetar o desenvolvimento (Farquharson *et al.*, 2016) e apresentar toxicidade às larvas (Marco *et al.*, 1999). Poças com valores extremos dessas variáveis podem funcionar como ambientes seletivos severos nos quais apenas algumas espécies conseguem sobreviver até a fase adulta (Marco *et al.*, 1999; Skelly, 2001).

Nesse estudo, testamos como fatores ambientais, fenotípicos e filogenéticos influenciam a co-ocorrência na escala da metacomunidade de adultos e larvas da metacomunidade de anuros da Serra do Japi, São Paulo, Sudeste do Brasil. Incluímos o estudo em conjunto de ambos estágios de vida, o que permite acessar de maneira mais completa a composição de espécies (Da Silva, 2010), além de distinguir fatores estruturadores da metacomunidade em cada estágio (Corrêa, 2013). Como a consideração conjunta da filogenia e atributos funcionais fornece evidências mais completas sobre os processos

relacionados à montagem de comunidades (Mayfield & Levine, 2010), optamos por incluir no estudo tanto aspectos filogenéticos como funcionais, considerando como ambos se relacionam através do sinal filogenético nos atributos funcionais.

2 MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Realizamos o estudo na Reserva Municipal da Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo, sudeste do Brasil. Devido à sua localização entre as florestas ombrófilas da Serra do Mar e as florestas mesófilas do Planalto Paulista, a Serra do Japi é uma área de ecótono (Leitão-Filho, 1992). Amostramos dez corpos aquáticos localizados dentro e nos arredores da área de estudo (Figura 1 e Tabela 1). Sete corpos se situam dentro da Reserva e correspondem, em sua maioria, a poças artificiais. Essas poças são cercadas em geral por vegetação secundária. Os outros três corpos aquáticos se localizam imediatamente adjacentes à matriz florestal da Serra (Sítios Antônia, Rosan e Último). O sítio Antônia é composto por duas pequenas poças localizadas a menos de dois metros de distância entre si, que foram consideradas como uma única unidade amostral.

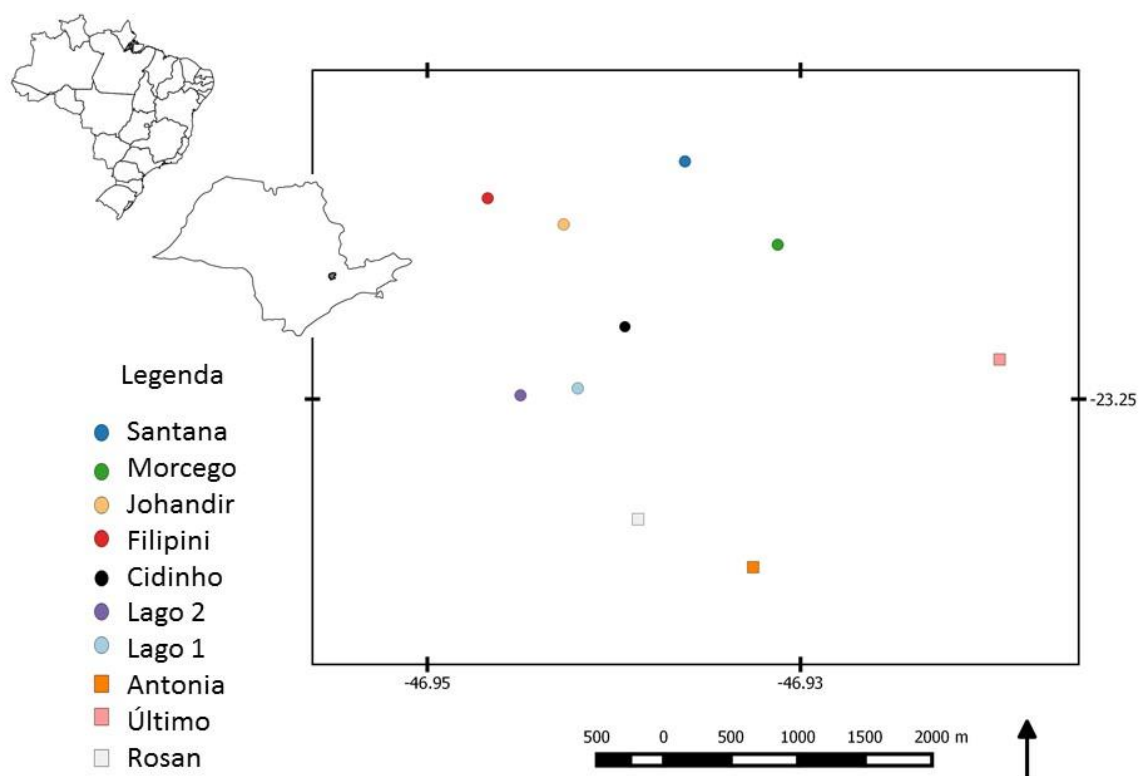


Figura 1. Localização dos corpos aquáticos utilizados como sítios reprodutivos por anuros na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo. Círculos se referem a poças no interior da Reserva Municipal, quadrados se referem a poças adjacentes à Reserva.

2.2 Amostragem em campo

Realizamos a caracterização da estrutura das poças e as amostragens de adultos e girinos mensalmente entre novembro de 2014 e março de 2015. Gravamos as vocalizações das espécies entre setembro de 2015 e março de 2016 nas localidades “Cidinho” e “Santana”.

2.2.1 Caracterização das poças

Amostramos as poças durante o dia, medindo sua área, vegetação dos arredores e superfície, e variáveis relativas à qualidade da água (Tabela 1). Considerando que a forma dos corpos aquáticos estudados era irregular, medimos a área das poças aproximando sua forma à de polígonos. A área das poças, cuja forma se aproximou mais a um quadrado ou retângulo foi calculada através da fórmula $A = L1 \times L2$, onde $L1$ é o menor lado da poça e $L2$ o maior ($L1 = L2$ para poças mais semelhantes a um quadrado). A área de corpos aquáticos

semelhantes a elipses foi calculada segundo a fórmula $A = \pi \times R1 \times R2$, sendo R1 a metade do maior diâmetro e R2 a metade do menor diâmetro.

Para caracterizar a vegetação marginal das poças, consideramos a vegetação localizada a uma distância de cinco metros das margens. Dividimos as margens em quatro quadrantes e classificamos a vegetação em herbácea (< 50 cm de altura), arbustiva (50 a 150 cm) e arbórea (> 150 cm) em cada quadrante. Cada categoria foi classificada em valores de 1 a 3 (1 = vegetação esparsa, 2 = densidade média de vegetação, 3 = densidade alta de vegetação). A média dos valores obtidos para cada quadrante descreveu a vegetação marginal de cada poça.

Para quantificar a vegetação interna das poças consideramos a presença de macrófitas sobre a superfície da água e plantas emergentes como gramíneas e taboas que podem ser utilizadas como sítios de vocalização para algumas espécies estudadas. Para isso, dividimos a superfície da poça em quatro quadrantes e estimamos visualmente a porcentagem de vegetação sobre a água em cada quadrante. Posteriormente, calculamos a média desses valores, que representou a vegetação interna das poças.

A cobertura de dossel foi medida em porcentagem com auxílio de um densiômetro esférico convexo, com medições nos quatro pontos cardeais de cada poça e cálculo da média dos valores.

Medimos o pH utilizando um pHmetro portátil (Instrutherm) em quatro pontos equidistantes de cada poça. Coletamos quatro amostras de água que foram mantidas em tubos cobertos com papel alumínio e armazenados numa caixa de isopor contendo gelo, de maneira a evitar a replicação de algas e organismos decompositores. Estas amostras eram levadas no dia seguinte ao laboratório, onde foram medidas as variáveis CDOM (*Colored dissolved organic matter*, uma medida da matéria orgânica disponível para organismos fotossintetizantes na água) e nitrato com fluorímetro (Aquafluor da marca Turner Designs). A média dos valores das quatro amostras de cada poça foi o valor utilizado para caracterizar a poça correspondente.

Testamos se cada variável ambiental apresentava autocorrelação espacial (Apêndice 2), de maneira a levar em conta a influência do espaço na estrutura da metacomunidade.

Tabela 1. Coordenadas e variáveis ambientais das poças utilizadas como sítios reprodutivos por anuros na Serra do Japi, Estado de São Paulo, sudeste do Brasil. Os corpos aquáticos estão localizados dentro e adjacentes à Reserva Municipal da Serra do Japi.

Localidade	Latitude	Longitude	Perímetro (m)	Área (log ₁₀)	pH	CDOM	Nitrato	Vegetação interna (%)	Cobertura de dossel (%)	Vegetação marginal
Antonia*	23°15'40.46"S	46°55'41.45"O	20	1,73	5,99	75,92	658,63	11,63	26,14	2,31
Cidinho	23°14'42.58"S	46°56'12.37"O	45	2,67	4,97	150,75	224,76	74,69	33,28	2,94
Filipini	23°14'11.66"S	46°56'45.46"O	190	2,94	4,82	78,95	1807,13	30,94	22,38	3
Johandir	23°14'17.96"S	46°56'27.15"O	175	3,01	5,51	97,45	2086,25	32,69	22,57	2,75
Lago1	23°14'57.41"S	46°56'23.73"O	21	1,97	5,29	182,64	1250,42	43,88	71,46	3
Lago2	23°14'59.09"S	46°56'37.55"O	52	2,74	4,91	137,13	616,69	61,56	24,42	3
Morcego	23°14'22.85"S	46°55'35.51"O	18	1,9	4,8	80,34	1219,04	20	90,91	2,94
Rosan*	23°15'28.91"S	46°56'9.20"O	42	2,63	5,85	43,6	599,38	22,31	38,63	3
Santana	23°14'2.80"S	46°55'57.89"O	42	2,59	5,69	87,66	873,13	12,81	16,51	2,25
Ultimo*	23°14'50.46"S	46°54'42.01"O	190	3,19	6,08	85,78	982,5	7,19	13,45	2,5

2.2.2 Amostragem de espécies

Para amostrar a abundância de adultos, visitamos as poças uma vez por mês, entre 19 h e 01 h. Amostramos uma poça por noite, contando a cada hora o número de machos vocalizando ou em silêncio (método de procura em locais reprodutivos, Scott & Woodward, 1994). A abundância registrada a cada noite foi considerada como o máximo do número de indivíduos vocalizando em um dado horário. A abundância máxima registrada entre todos os meses foi utilizada para as análises (Tabela S1 do Anexo 1). Preferimos esse procedimento pois ao somar abundâncias poderíamos superestimá-las.

Obtivemos gravações dos cantos de um a cinco indivíduos de 11 espécies, utilizando gravador Marantz PMD 620 e microfone direcional Sennheiser ME 66. Todos os indivíduos gravados tiveram seu comprimento rostro-cloacal (CRC) medido com paquímetro.

Realizamos a amostragem de girinos mensalmente em cada poça utilizando um puçá de 40 cm de diâmetro coberto rede de 0,1 mm. Os girinos foram coletados ao longo de toda a margem das poças, anestesiados com xilocaína e, posteriormente, fixados em formol a 10%. O esforço amostral foi padronizado pelo perímetro das poças (Tabela 1), de maneira que coletamos uma amostra por metro linear. Através desse método obtivemos a densidade de indivíduos (indivíduos/área amostrada). Para obter a abundância de girinos, multiplicamos a densidade relativa de cada espécie pela área do corpo aquático (Skelly & Richardson, 2010). Obtivemos a abundância total de girinos através da média entre todos os meses, já que as larvas foram coletadas e não havia risco de pseudo-replicação (Tabela S2 do Anexo 1).

2.3 Atributos funcionais

Selecionamos atributos funcionais que refletissem o nicho de adultos (Tabela 2) e a ecologia de girinos (Tabela 3). Para representar a utilização do espaço acústico pelos adultos, selecionamos a frequência dominante (FD) dos cantos, que permite que fêmeas acessem características físicas dos machos, como seu tamanho corporal, e os localizem durante a noite (Duellman & Trueb, 1986). Registramos também se os cantos eram pulsados (variável categórica; 1 = pulsado, 0 = não pulsado). Os sonogramas dos cantos registrados foram gerados no programa Raven Pro 1.4, a uma frequência de amostragem de 44,1 kHz, 16 bits de resolução e FFT = 1024 Hz. Para caracterizar a utilização do espaço durante as atividades reprodutivas, registramos se as espécies tinham disco adesivo (presente/ausente) e o atributo multiestado sítio de oviposição (água, panela, toca ou espuma). As variáveis de uso de espaço foram retiradas da literatura (Haddad & Prado, 2005; Haddad & Sawaya, 2000; Pombal &

Haddad, 2005). Além disso, consideramos o CRC como medida do tamanho corporal dos machos. Porém, essa variável é geralmente correlacionada com a FD dos cantos de machos (Wells, 2007). Esta tendência também foi observada em nosso conjunto de dados ($r = -0,63$). Assim, realizamos uma regressão linear e utilizamos o resíduo da regressão como um novo atributo, *FDResid*, correspondente à frequência dominante independentemente do tamanho corporal.

Tomamos medidas de um a sete girinos íntegros de cada espécie (girinos com pedaços faltantes da cauda ou com órgãos internos evertidos não foram medidos). Medimos os seguintes caracteres, três vezes para cada indivíduo, com auxílio de estereomicroscópio (Leica MZ75), considerando a média: altura do músculo da cauda (*AMCa*), altura da nadadeira dorsal (*AND*), altura da nadadeira ventral (*ANV*), altura da cauda (*ACa*), largura da cauda (*LCa*), comprimento da cauda (*CCa*), altura do corpo (*AC*), largura do corpo (*LC*) e comprimento do corpo (*CC*). A partir dessas medidas obtivemos os seguintes atributos ecomorfológicos (Altig & McDiarmid, 1999): altura relativa da cauda (*ARCa*) = $(AMCa + AND + ANV)/ACa$; compressão do corpo (*CoC*) = AC/LC ; largura relativa da musculatura caudal (*LRMCa*) = LCa/CCa ; e comprimento relativo da cauda (*CRCa*) = CCa/CC . Para testar possível colinearidade entre os atributos funcionais de girinos, calculamos o fator de inflação de variância (VIF) com a função *vifstep* (pacote *usdm*; Naimi, 2015), que mantém apenas variáveis com $VIF < 10$. Apenas o atributo *LRMCa* foi excluído das análises.

Os atributos funcionais referem-se a 90% da abundância total de adultos e 92% da abundância total de girinos (pacote *traitor*; Gotzenberger, 2015). Isto quer dizer que somente espécies mais raras não foram amostradas quanto aos atributos funcionais.

Tabela 2. Atributos de adultos. Abreviações: CRC = comprimento rostro-cloacal; FD = frequência dominante; FDResid = frequência dominante sem influência do CRC (ver texto para mais detalhes).

	CRC (mm)	FD (Hz)	FDResid	Canto pulsado	Disco adesivo	Sítio de oviposição
<i>Aplastodiscus leucopygius</i>	40,43	2250	-347,64	0	1	Toca
<i>Bokermmanohyla luctuosa</i>	52,71	1800	-410,67	1	1	Água
<i>Dendropsophus minutus</i>	22,83	5017,5	1865,26	1	1	Água
<i>Dendropsophus sanborni</i>	17,92	5250	1943,03	1	1	Água
<i>Hypsiboas bischoffi</i>	43,92	1618,75	-868,91	1	1	Água
<i>Hypsiboas faber</i>	86,8	1125	-11,44	1	1	Panela
<i>Hypsiboas prasinus</i>	46,6	1566,67	-836,54	1	1	Água
<i>Physalaemus cuvieri</i>	29,15	656,25	-2296,84	0	0	Espuma
<i>Rhinella icterica</i>	127	656,25	786,59	1	0	Água
<i>Scinax hayii</i>	38,81	2580	-68,69	1	1	Água
<i>Scinax hiemalis</i>	25,05	3328,13	245,84	1	1	Água

Tabela 3. Atributos ecomorfológicos de girinos. Abreviações: ARC = altura relativa da cauda; CoC = compressão do corpo; CRCa = comprimento relativo da cauda; AND = altura da nadadeira dorsal; LRMC = largura relativa do músculo da cauda.

	ARC	CoC	CRCa	AND	LRMC
<i>Aplastodiscus leucopygius</i>	1,31	0,75	0,72	2,22	0,27
<i>Dendropsophus minutus</i>	1,70	1,13	0,68	3,68	0,26
<i>Dendropsophus sanborni</i>	1,50	0,94	0,76	2,13	0,18
<i>Hypsiboas faber</i>	1,42	0,94	0,72	5,57	0,27
<i>Hypsiboas prasinus</i>	1,34	0,87	0,67	3,57	0,32
<i>Leptodactylus latrans</i>	1,02	0,87	0,66	2,76	0,34
<i>Physalaemus cuvieri</i>	1,17	0,81	0,66	2,03	0,37
<i>Scinax eurydice</i>	1,56	1,03	0,69	3,53	0,28
<i>Scinax fuscovarius</i>	1,44	1,19	0,70	3,43	0,27
<i>Scinax hiemalis</i>	1,17	0,84	0,67	1,94	0,37

2.4 Filogenias da metacomunidade

Primeiramente, geramos duas filogenias com comprimentos de ramos, uma para adultos (Figura S2, Anexo 2) e outra para girinos (Figura S3, Anexo 2), a partir da hipótese filogenética de (Pyron & Wiens, 2011) no pacote *ape* (Paradis *et al.*, 2004). Como as espécies amostradas *Scinax eurydice* e *Bokermannohyla luctuosa* não constavam na hipótese filogenética, consideramos as espécies próximas *S. ruber* e *B. circumdata* para gerar a filogenia. Testes de sinal filogenético para atributos funcionais de adultos e girinos constam no Apêndice 1.

2.5 Padrões de co-ocorrência de girinos e adultos

Apesar de estudos de ecologia de comunidades frequentemente utilizarem matrizes de incidência (espécies por local), sua decomposição em submatrizes permite avaliar os fatores que estruturam a metacomunidade de maneira mais detalhada (Ulrich *et al.*, 2012). Consideramos três padrões de coocorrência de espécies (Ulrich *et al.*, 2012). Quando um par de espécies coocorre em um par de sítios observa-se o padrão *agrupado* (*clumped*). O padrão de ocorrência *associado* (*together*) representa um par de espécies que simultaneamente coocorre em um dos sítios e não ocorre no outro. Portanto, ele indica espécies com necessidades ecológicas semelhantes (Ulrich & Gotelli, 2013). O padrão de ocorrência *segregado* ou ‘em tabuleiro de damas’ (*checkerboard*) descreve duas espécies que ocorrem separadamente em dois sítios, alternando-se, e representa, portanto, segregação de espécies na comunidade (Ulrich & Gotelli, 2013).

A abordagem proposta por Ulrich *et al.* (2012) permite testar a influência da distância filogenética ou funcional (Δ funcional ou Δ filogenia) e de variáveis ambientais (Δ ambiental) e suas correlações ($\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$ ou $\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{filo}$) nos três padrões de co-ocorrência. Para calcular a significância de cada métrica, a matriz de incidências é aleatorizada de acordo com o modelo nulo escolhido, calculando as métricas em cada aleatorização e permitindo o cálculo de tamanho de efeitos padronizados (*Z-score*) e intervalos de confiança. A interpretação do valor dos tamanhos de efeito padronizados (*Z-score*) estatisticamente significativos referentes às métricas calculadas para cada padrão de ocorrência, é relacionada a diferentes processos ecológicos agindo na comunidade. Por exemplo, quando habitats tem características ambientais parecidas, ou seja, espécies coocorrem entre habitats com Δ ambiental baixa, prediz-se que a filtragem ambiental é o processo atuante (Keddy, 1992). Alternativamente, ocorre dispersão ambiental quando espécies coocorrem entre habitats com características

distintas, independentemente de semelhança funcional ou parentesco entre espécies (Ulrich *et al.*, 2012). Distâncias funcionais ou filogenéticas (Δ funcional ou Δ filogenia) maiores ou menores que o esperado ao acaso se referem, respectivamente, aos padrões de dispersão ou agregação funcional (ou filogenética), de forma independente da influência ambiental. Correlações positivas entre Δ funcional e Δ ambiental ($\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$) indicam que espécies funcionalmente semelhantes coocorrem em ambientes semelhantes, e que espécies diferentes coocorrem em ambientes distintos. Quando são utilizadas distâncias filogenéticas (Δ filogenia) no cálculo da correlação ($\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{filo}$), esse padrão é interpretado como conservação filogenética, enquanto correlações negativas são relacionadas à divergência de nicho (Ulrich *et al.*, 2012). A interpretação das métricas descrita acima é válida para os padrões de ocorrência *agrupado* e *associado*. A interpretação para submatrizes do tipo *segregado* é oposta à anterior por tratar de espécies que não ocorrem no mesmo sítio (Ulrich *et al.*, 2012). Quando habitats tem características ambientais parecidas, ou seja, espécies ocorrem separadamente entre habitats com Δ ambiental baixa, assume-se que interações competitivas entre espécies são o processo atuante. Alternativamente, ocorre agregação ambiental quando espécies ocorrem separadamente entre habitats com características distintas. Distâncias funcionais ou filogenéticas (Δ funcional ou Δ filogenia) menores que o esperado ao acaso se referem ao padrão de dispersão funcional (ou filogenética), pois espécies semelhantes ocorrem separadamente. Correlações positivas entre Δ funcional e Δ ambiental ($\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$) indicam que espécies funcionalmente semelhantes estão segregadas entre sítios com ambientes semelhantes (divergência de nicho)

Calculamos matrizes de distâncias patrística para representar diferenças filogenéticas entre espécies. A matriz de distância funcional dos atributos de cada estágio foi calculada com a distância de Gower (Legendre & Legendre, 2012). Essa distância permite a inclusão de atributos quantitativos e categóricos. Em seguida, calculamos o fator de inflação de variância (VIF) para detectar colinearidade no conjunto de variáveis ambientais. Foram mantidas as variáveis da água (pH, CDOM e nitrato) e as variáveis externas (área e vegetação marginal). Essas análises foram realizadas no ambiente R (R Core Team, 2016). Analisamos então adultos e girinos separadamente no programa *Niche* (Ulrich *et al.*, 2012), excluindo espécies para as quais não foi possível obter atributos. Utilizamos o modelo nulo fixo-fixo (*independent swap*) que mantém linhas e colunas fixas, com 1000 aleatorizações.

3 RESULTADOS

3.1 Espécies registradas

Registramos 17 espécies de anuros, sendo 14 de adultos e 15 de girinos (Tabela 4), das famílias Hylidae (13 espécies entre adultos e girinos), Leptodactylidae (duas espécies), Bufonidae e Odontophrynidae (uma espécie cada).

Tabela 4. Espécies de adultos e girinos registradas em dez sítios reprodutivos na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo, sudeste do Brasil.

Espécie	Espécies registradas		Atributos disponíveis	
	Adultos	Girinos	Adultos	Girinos
<i>Aplastodiscus leucopygius</i>	X	X	X	X
<i>Aplastodiscus arildae</i>	X			
<i>Bokermannohyla luctuosa</i>	X	X	X	
<i>Dendropsophus minutus</i>	X	X	X	X
<i>Dendropsophus sanborni</i>	X	X	X	X
<i>Hypsiboas prasinus</i>	X	X	X	X
<i>Hypsiboas bischoffi</i>	X	X	X	
<i>Hypsiboas faber</i>	X	X	X	X
<i>Scinax hiemalis</i>	X	X	X	X
<i>Scinax eurydice</i>		X		X
<i>Scinax hayii</i>	X	X	X	
<i>Scinax fuscovarius</i>		X		X
<i>Phyllomedusa burmeisteri</i>	X			
<i>Rhinella icterica</i>	X	X	X	
<i>Leptodactylus latrans</i>	X	X		X
<i>Physalaemus cuvieri</i>	X	X	X	X
<i>Proceratophrys boiei</i>		X		

3.2 Padrões de co-ocorrência de anuros

A coocorrência de adultos foi influenciada pelo pH e área das poças, e apenas pela qualidade da água (pH e nitrato) no estágio larval (Tabela 5). No entanto, somente a qualidade da água se relacionou a distâncias filogenéticas e funcionais entre espécies em ambos os estágios.

3.2.1 Padrão de Ocorrência Agrupado

O padrão de ocorrência agrupado foi influenciado apenas pelo pH em ambos os estágios. A co-ocorrência *agrupada* de girinos é mais frequente em poças com pH semelhante ($Z = -1,995$; $P = 0,046$), independentemente de similaridades entre espécies (“filtragem ambiental”). Porém, tanto girinos ($Z = -2,272$; $P = 0,023$) como adultos ($Z = -2,066$; $P = 0,04$) filogeneticamente próximos co-ocorreram em poças com valores de pH mais diferentes do que esperado ao acaso (“divergência filogenética”).

3.2.2 Padrão de Ocorrência Associado

Girinos de espécies filogeneticamente próximas ocorreram em poças com valores de pH diferentes (“divergência filogenética”; $Z = -2,106$; $P = 0,035$). Os adultos não apresentaram relação com atributos funcionais ou filogenia, ocorrendo de forma *associada* em poças com áreas diferentes (“filtragem ambiental”; $Z = -2,765$; $P < 0,01$).

3.2.3 Padrão de Ocorrência Segregado

Apenas adultos tiveram correlação significativa nesse padrão em relação ao pH. Espécies funcional ($Z = 2,057$; $P = 0,04$) e filogeneticamente ($Z = 2,213$; $P = 0,03$) mais próximas ocorrem separadamente em poças com pH semelhante (divergência funcional e filogenética). Adicionalmente, adultos ocorrem separadamente entre poças com áreas diferentes, independentemente de seus atributos funcionais (“dispersão ambiental”; $Z = -2,824$; $P < 0,01$). Por sua vez, este padrão para girinos foi influenciado apenas pelo nitrato e de maneira oposta aos adultos: espécies filogeneticamente próximas se segregaram entre poças com diferentes níveis de nitrato (“conservação filogenética”; $Z = -2,116$; $P = 0,034$).

Tabela 5. Tamanho do efeito padronizado (Z-score) para os três padrões de ocorrência de adultos e girinos (linhas em cinza). Abreviações: Δ ambiental = distância ambiental; Δ funcional = distância funcional; $\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$ = correlação entre distâncias ambiental e funcional; $\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{filo}$ = correlação entre distâncias ambiental e filogenética. Significância: * $p < 0,05$; obtida após aleatorização com modelo nulo fixo-fixo (*independent swap*) da matriz de presença-ausência.

Padrão de ocorrência	Métrica	pH	CDOM	Nitrato	Área	Vegetação Marginal
Agrupado	Δ ambiental	-1,80	1,27	-0,07	1,32	-0,11
		-1,99*	1,32	0,13	-0,79	1,77
	$\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$	0,00	0,30	-0,45	0,99	0,18
		-0,29	0,70	0,10	-0,27	1,28
	$\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{filo}$	-2,066*	0,91	-0,04	-0,90	1,85
		-2,272*	0,50	0,06	-0,97	1,20
	Δ funcional	0,84				
		0,22				
	Δ ambiental	0,69	-0,45	-0,88	2,728*	-0,15
		0,54	-1,39	-0,02	0,44	-1,08
Associado	$\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{func}$	-1,02	-0,04	-0,32	0,21	0,99
		1,50	0,04	-0,59	0,07	-0,19
	$\text{Corr}\Delta\text{amb}\Delta\text{filo}$	-0,17	-0,65	-0,44	-0,12	0,84
		-2,106*	0,33	0,86	-0,92	1,38
	Δ funcional	-0,16				
		-0,60				
Segregado	Δ ambiental	0,78	-0,60	-0,81	2,765*	-0,30

	0,63	-1,42	0,03	0,50	-1,12
CorrΔambΔfunc	2,057*	-0,74	-0,06	1,21	-1,56
	-0,49	-0,14	0,41	-0,77	0,37
CorrΔambΔfilo	2,213*	-1,61	-0,09	0,48	-1,90
	1,20	-0,68	-2,116*	0,66	-0,64
Δfuncional	0,55				
	0,61				

4 DISCUSSÃO

A acidez da água foi o fator que mais influenciou a co-ocorrência de espécies funcional e filogeneticamente semelhantes tanto na fase adulta como larval. A co-ocorrência de girinos foi relacionada apenas à filogenia das espécies, sem qualquer relação com os atributos funcionais. Em adultos, tanto a filogenia como as características reprodutivas se relacionaram à ocorrência segregada. A amostragem conjunta de ambos os estágios de vida permitiu detectar fatores relativos à montagem de comunidades em cada estágio (Cavender-Bares *et al.*, 2009; Corrêa, 2013).

A coocorrência agrupada de adultos e girinos foi influenciada somente pelo pH das poças. O pH é um importante fator estruturador de comunidades de anuros (Skelly, 2001) devido ao efeito da acidez sobre o desenvolvimento e crescimento das larvas de algumas espécies (Farquharson *et al.*, 2016), restringindo sua distribuição (Glooschenko *et al.*, 1992, Jordani, 2013; Leão-Pires, 2014). Apesar do pH estar relacionado à ocorrência de girinos de forma independente da filogenia ou atributos funcionais (“filtragem ambiental”), girinos e adultos que ocorrem de forma agrupada apresentaram divergência filogenética em relação a essa variável. Esse padrão pode ter sido gerado pela evolução não conservada da tolerância ao pH ácido, o que selecionaria apenas espécies tolerantes filogeneticamente distantes (Pausas & Verdú, 2010). A exclusão de espécies devido ao pH pode ser causada por diferenças de habilidade competitiva relacionadas à atividade motora (Werner, 1992), além de algumas espécies serem competitivamente favorecidas pela acidez da água (Warner *et al.*, 1993). Anormalidades no desenvolvimento de girinos relacionadas à acidez da água podem ser observadas mesmo após a metamorfose (Farquharson *et al.*, 2016), o que pode indicar que a estrutura filogenética em adultos nesse padrão de ocorrência é consequência da ecologia do estágio larval.

Em adultos, a ocorrência *associada* é mais frequente entre pares de poças com áreas diferentes. Considerando que a maior diversidade de adultos foi registrada em poças maiores, esse padrão provavelmente reflete o comportamento de seleção de sítios de oviposição (Resetarits, 1996). A área é um dos fatores importantes na escolha de sítios de oviposição em anfíbios anuros (Skelly, 2001), porque poças com área pequena são mais sujeitas à extinção de espécies devido à maior variação no hidroperíodo (Corrêa, 2013; Werner *et al.*, 2007), e poças pequenas e permanentes como as desse estudo também permitem o estabelecimento de maior densidade de predadores (Wellborn *et al.*, 1996). Áreas menores também apresentam uma menor disponibilidade de sítios de canto e de oviposição, o que pode aumentar a chance

de interações acústicas e impedir a atividade reprodutiva de alguns machos (Santos et al., 2007; Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008). A ocorrência associada de girinos filogeneticamente próximos é influenciada pelo pH. Esse padrão aponta para divergência de nicho em relação ao pH, e pode ter sido causado pela evolução não conservada da tolerância à acidez (Warner *et al.*). Experimentos com girinos de várias espécies que testem esses fatores controlando relações filogenéticas podem ajudar a compreender a coocorrência de espécies em comunidades naturais.

A ocorrência *segregada* de adultos foi mais frequente entre poças com áreas semelhantes (dispersão ambiental), e pode ter sido causado pela competição por poças adequadas para a oviposição (Werner *et al.*, 2007). O pH foi relacionado à divergência funcional e filogenética em adultos nesse padrão de ocorrência. Interações entre adultos explicam a divergência filogenética e funcional, considerando que atributos funcionais apresentaram sinal filogenético (Apêndice 1), e que parâmetros acústicos podem se relacionar à estrutura filogenética em comunidades de aves (Gasc *et al.*, 2013) e de anuros que se reproduzem em riachos (Carvajal-Castro & Vargas-Salinas, 2016). A partição acústica em comunidades de anuros ocorre como resultado da seleção contra interferência de sinal (Chek *et al.*, 2003; Sinsch et al., 2012), especialmente em situações em que há sobreposição em outras dimensões do nicho, como no uso do espaço entre as espécies (Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008; Santos *et al.*, 2007). Porém, a divergência funcional e filogenética em relação ao pH não deve ser causada por efeitos diretos da acidez, já que anfíbios adultos são geralmente mais resistentes a valores de pH extremos (Pierce, 1985) e poucas espécies da comunidade vocalizam dentro da água (*Physalaemus cuvieri*, *Leptodactylus latrans* e, eventualmente, *Rhinella icterica* e *Hypsiboas prasinus*; Haddad, 1991). Portanto, é possível que características dos arredores das poças relacionadas à acidez influenciem a ocorrência de adultos, como a vegetação interna (Glooschenko *et al.*, 1992; Pehek, 1995; Skelly, 2001), utilizada como sítio de vocalização e oviposição. Nas poças que amostramos, tanto a vegetação marginal como a vegetação interna apresentaram correlação com o pH próxima a 0,7 (- 0,69 e - 0,65, respectivamente), indicando a possibilidade de influência conjunta de fatores internos e externos na coocorrência de adultos.

A ocorrência segregada de girinos foi relacionada ao nitrato, e oposta ao observado em relação ao pH para adultos, apontando para a conservação de nicho em relação a essa variável. Como o nitrato tem tanto efeitos tóxicos em larvas de anuros (Marco *et al.*, 1999) como positivos sobre metamorfos (Boone *et al.*, 2007), a ocorrência de girinos é provavelmente

relacionada à conservação filogenética da tolerância a altas concentrações de nitrato ou, alternativamente, à maior quantidade de recursos relacionadas a altas concentrações desse parâmetro. Essa abundância de recursos permite a metamorfose mais rápida dos girinos, de maneira que adultos selecionam poças ricas nesse nutriente para oviposição (Wellborn *et al.*, 1996).

Nossos resultados indicam que a ocorrência conjunta de espécies (padrões agrupado e associado) se relaciona à filogenia, mas não aos atributos funcionais estudados em ambos os estágios de vida. A investigação de como o pH influencia o desempenho ecológico de girinos e metamorfos (e. g. Farquharson *et al.*, 2016) pode esclarecer o efeito da acidez da água em cada estágio de vida. Por sua vez, a ocorrência segregada de adultos está relacionada às características reprodutivas filogeneticamente estruturadas. Futuros estudos que avaliem como ocorre a partilha conjunta de territórios e das faixas de frequência na comunidade podem revelar os processos ecológicos responsáveis pela divergência funcional observada, como a complementaridade de nicho (Santos *et al.*, 2007; Vasconcelos & Rossa-Feres, 2008). A consideração da reprodução das espécies pode fornecer evidências de como processos relacionados ao nicho acústico (Chek *et al.*, 2003) e ao parentesco (Webb *et al.*, 2002; Gasc *et al.*, 2013) influenciam na montagem de comunidades.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altig, R. & McDiarmid, R. 1999. Body plan: development and morphology. Pp. 24–51 in McDiarmid, R. & Altig, R. (eds.). *Tadpoles: the biology of anuran larvae*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Bivand, R. S., Hauke, J., and Kossowski, T. 2013. Computing the Jacobian in Gaussian spatial autoregressive models: An illustrated comparison of available methods. *Geographical Analysis*, 45(2), 150-179.
- Blaustein, L.; Kiflawi, M.; Eitam, A.; Mangel, M. & Cohen, J. E. 2004. Oviposition habitat selection in response to risk of predation in temporary pools: mode of detection and consistency across experimental venue. *Oecologia* 138:300–5.
- Blomberg, S. P.; Garland, T. Jr. & Ives, A. R. 2003. Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile. *International Journal of Organic Evolution* 57(4): 717-745.
- Boone, M. D.; Semlitsch, R. D.; Little, E. E. & Doyle, M. C. 2007. Multiple Stressors in Amphibian Communities: Effects of Chemical Contamination, Bullfrogs, and Fish. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America* 17 (1): 291–301.
- Borcard, D., & Legendre, P. 2012. Is the Mantel correlogram powerful enough to be useful in ecological analysis? A simulation study. *Ecology*, 93(6), 1473-1481.
- Carvajal-Castro, J. D., & Vargas-Salinas, F. 2016. Stream noise, habitat filtering, and the phenotypic and phylogenetic structure of Neotropical anuran assemblages. *Evolutionary Ecology*, 30(3), 451-469.
- Cavender-Bares, J.; Kozak, K. H.; Fine, P. V. A & Kembel, S. W. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12: 693-715.
- Chase, J. M. & Leibold, M. A. 2004. Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches. *Biodiversity and Conservation* 13 (9): 1791–93.
- Chave, J. 2004. Neutral Theory and Community Ecology. *Ecology Letters* 7 (3): 241–53.
- Chek, A. A.; Bogart, J. P. & Loughheed, S. C. 2003. Mating Signal Partitioning in multi-Species Assemblages: A Null Model Test Using Frogs. *Ecology Letters* 6 (3): 235–47.
- Chesson, P. 2000. Mechanisms of Maintenance of Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31 (1): 343–66.
- Conte, C. E. & Rossa-Feres, D.C. 2007. Riqueza E Distribuição Espaço-Temporal de Anuros

- Em Um Remanescente de Floresta de Araucária No Sudeste Do Paraná. *Revista Brasileira de Zoologia* 24 (4): 1025–37.
- Corrêa, D. T. 2013. *Estruturação de uma metacomunidade de girinos e adultos de anuros no Cerrado : influências ambientais e filogenéticas*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, UNICAMP.
- Crump, M. L. 2015. Anuran Reproductive Modes: Evolving Perspectives. *Journal of Herpetology* 49 (1): 1–16.
- Da Silva, F. R. 2010. Evaluation of survey methods for sampling anuran species richness in the Neotropics. *South American Journal of Herpetology*, 5(3), 212-220.
- Dodd, K. C. 2010. *Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press.
- Duellman, W. E. & Trueb, L. 1986. *Biology of Amphibians*. JHU Press.
- Dray, S.; Péliissier, R.; Couteron, P.; Fortin, M. J.; Legendre, P.; Peres-Neto, P. R.; Bellier, E.; Bivand, R.; Blanchet, F. G.; De Cáceres, M.; Dufour, A. B.; Heegaard, E.; Jombart, T.; Munoz, F.; Oksanen, J.; Thioulouse, J. & Wagner, H. H. 2012. Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecological Monographs* 82: 257-275.
- Dray S.; Blanchet, F. G.; Borcard, D.; Guenard, G.; Jombart, T.; Larocque, G.; Legendre, P.; Madi N. & Wagner, H. H. 2017. adespatial: Multivariate Multiscale Spatial Analysis. R package version 0.0-8. <https://CRAN.R-project.org/package=adespatial>
- Emerson, B. C. & Gillespie, R. G. 2008. Phylogenetic Analysis of Community Assembly and Structure over Space and Time. *Trends in Ecology & Evolution* 23 (11): 619–30.
- Faivovich, J. 2002. A cladistic analysis of Scinax (Anura: Hylidae). *Cladistics*, 18(4), 367-393.
- Farquharson, C., Wepener, V., & Smit, N. J. 2016. Acute and chronic effects of acidic pH on four subtropical frog species. *Water SA*, 42(1), 52-62.
- Fritz, S. A. & Purvis, A. 2010. Phylogenetic diversity does not capture body size variation at risk in the world's mammals. *Proceedings of Royal Society B* 277: 2435-2441.
- Gasc, A.; Sueur, J.; Jiguet F.; Devictor, F.; Grandcolas, P.; Burrow, C.; Depraetere, M. & Pavoine, S. 2013. Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities? *Ecological Indicators* 25:279-287,
- Gause, G. F. 1936. The Struggle for Existence. *Soil Science* 41 (2): 159.

- Giaretta, A. A., Sawaya, R. J., Machado, G., Araújo, M. S., Facure, K. G., Medeiros, H. F. D., & Nunes, R. 1997. Diversity and abundance of litter frogs at altitudinal sites at Serra do Japi, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 14(2), 341-346.
- Glooschenko, V., Weller, W. F., Smith, P. G. R., Alvo, R., & Archbold, J. H. G. 1992. Amphibian distribution with respect to pond water chemistry near Sudbury, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(S1), 114-121.
- Gottsberger, B. & Gruber, E. 2004. Temporal Partitioning of Reproductive Activity in a Neotropical Anuran Community. *Journal of Tropical Ecology* 20 (03): 271–80.
- Gotzenberger, Lars. 2015. traitor: Tools For Functional Diversity Assessment With Missing Trait Data. R package version 0.0.0.9001.
- Gray, C.; Bista, I.; Creer, S.; Demars, B. O. L.; Falciani, F.; Monteith, D. T.; Sun, X. & Woodward, G. 2015. *Capítulo 10 - Freshwater Conservation and Biomonitoring of Structure and Function: Genes to Ecosystems*, In *Aquatic Functional Biodiversity*, Academic Press, San Diego, Págs. 241-271.
- Haddad, C. F. B. 1991. *Ecologia Reprodutiva de uma Comunidade de Anfíbios Anuros da Serra do Japi, Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, UNICAMP.
- Haddad, C. F., & Sawaya, R. J. 2000. Reproductive Modes of Atlantic Forest Hyliid Frogs: A General Overview and the Description of a New Mode. *Biotropica*, 32(4), 862-871.
- 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 (3): 207.
- HilleRisLambers, J.; Adler, P. B.; Harpole, W. S.; Levine, J. M. & Mayfield, M. M. 2011. Rethinking Community Assembly Through the Lens of Coexistence Theory. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 43:227–248.
- Hubbell, S. P. 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press.
- Jordani, M. X. 2013 *Processos ecológicos e filogenéticos na estruturação de comunidades de girinos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas.
- Keddy, P. A. 1992. Assembly and Response Rules: Two Goals for Predictive Community Ecology. *Journal of Vegetation Science: Official Organ of the International Association for Vegetation Science* 3 (2): 157–64.

- Leão-Pires, T. A. 2014. *Diversidade filogenética, taxonômica e funcional e a estrutura de comunidades de anuros nas planícies costeiras do estado de São Paulo, sudeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, UNICAMP.
- Legendre, P. & Legendre, L. 2012. *Numerical ecology*.
- Leibold, M. A.; Holyoak, M.; Mouquet, N.; Amarasekare, P.; Chase, J. M.; Hoopes, M. F.; Holt, R. D.; Shurin, J. B.; Law, R.; Tilman, D.; Loreau, M. & Gonzalez, A. 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601-613.
- Leitão-Filho, H., 1992. A Flora arbórea da Serra do Japi. In: Morellato, L.P.C. *História natural da Serra do Japi: Ecologia e preservação uma área florestal no sudeste do Brasil*. Editora da Unicamp/Fapesp, Campinas, p. 40-62.
- Luiz, A. M.; Leão-Pires, T. A. & Sawaya, R. J. 2016. Geomorphology Drives Amphibian Beta Diversity in Atlantic Forest Lowlands of Southeastern Brazil. *PloS One* 11 (5): e0153977.
- MacArthur, R. & Levins, R. 1967. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *The American Naturalist* 101: 377-385.
- Marco, A., Quilchano, C., & Blaustein, A. R. 1999. Sensitivity to nitrate and nitrite in pond-breeding amphibians from the Pacific Northwest, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(12), 2836-2839.
- Mayfield, M. M. & Levine, J. M. 2010. Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities. *Ecology Letters* 13: 1085-1093.
- Miner, B. G., Sultan, S. E., Morgan, S. G., Padilla, D. K., & Relyea, R. A. 2005. Ecological consequences of phenotypic plasticity. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(12), 685-692.
- Morellato, L. P. C., 1992. Introdução. In: Morellato, L.P.C. *História natural da Serra do Japi: Ecologia e preservação uma área florestal no sudeste do Brasil*. Editora da Unicamp/Fapesp, Campinas, p. 40-62.
- Mouquet, N.; Devictor, V.; Meynard, C. N.; Munoz, F.; Bersier, F. L.; Chave, J.; Coutron, P.; Dalecky, A.; Fontaine, C.; Gravel, D.; Hardy, O. J.; Jabot, F.; Lavergne, S.; Leibold, M.; Mouillot, D.; Münkermüller, T.; Pavoine, S.; Prinzing, A.; Rodrigues, A. S. L.; Rohr, R. P.; Thébault, E. & Thuiller, W. 2012. Ecophylogenetics: advances and

- perspectives. *Biological Reviews* 87(4): 769-785.
- Münkemüller, T.; Boucher, F. C.; Thuiller, W. & Lavergne, S. 2015. Phylogenetic niche conservatism—common pitfalls and ways forward. *Functional ecology*, 29(5), 627-639.
- Naimi, B. 2015. usdm: Uncertainty Analysis for Species Distribution Models. R package version 1.1-15. <https://CRAN.R-project.org/package=usdm>
- Oksanen, J.; Blanchet, F. G.; Kindt R.; Legendre, P; Minchin P. R.; O'Hara, R. B., Simpson, G. L.; Solymos, P.; Stevens, M. H. H. & Wagner, H. 2016. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Orme, D.; Freckleton, R.; Thomas, G.; Petzoldt, T.; Fritz, S.; Isaac, N. & Pearse, W. 2013. caper: Comparative Analyses of Phylogenetics and Evolution in R. R package version 0.5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=caper>
- Paradis, E.; Claude, J. & Strimmer, K. 2004. APE: analyses of phylogenetics and evolution in R language. *Bioinformatics* 20: 289-290.
- Pausas, J. G. & Verdú, M. 2010. The Jungle of Methods for Evaluating Phenotypic and Phylogenetic Structure of Communities. *BioScience* 60:614–625.
- Pehek, E. L. 1995. Competition, pH, and the ecology of larval *Hyla andersonii*. *Ecology*, 76(6), 1786-1793.
- Petchey, O. L. & Gaston, K. J. 2006. Functional Diversity: Back to Basics and Looking Forward. *Ecology Letters* 9 (6): 741–58.
- Petranka, J. W.; Smith, C. K. & Scott, A. F. 2004. Identifying the minimal demographic unit for monitoring pond-breeding amphibians. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America* 14 (4): 1065–78.
- Pierce, B. A. (1985). Acid tolerance in amphibians. *BioScience*, 35(4), 239-243.
- Pombal Jr, J. P., & Haddad, C. F. 2005. Strategies and reproductive modes of anurans (Amphibia) in a permanent pond in Serra de Paranapiacaba, southeastern Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo)*, 45(15), 215-229.
- Pyron, R. A. & Wiens, J. J. 2011. A large-scale phylogeny of Amphibia with over 2.800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 61: 543-583.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Resetarits, W. J. 1996. Oviposition Site Choice and Life History Evolution. *American*

- Zoologist* 36 (2): 205–15.
- Revell, L. J.; Harmon, L. J. & Collar, D. C. 2008. Phylogenetic signal, evolutionary process, and rate. *Systematic Biology* 57(4): 591-601.
- Revell, L. J. 2012. phytools: An R package for phylogenetic comparative biology (and other things). *Methods Ecol. Evol.* 3 217-223. doi:10.1111/j.2041-210X.2011.00169.x
- Ricklefs, R. E. 2004. A Comprehensive Framework for Global Patterns in Biodiversity. *Ecology Letters* 7 (1): 1–15.
- Rossa-Feres, D. C. & Jim, J. 2001. Similaridade do sítio de vocalização em uma comunidade de anuros na região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, Curitiba 18(2): 439-454.
- Santos, T. G.; Rossa-Feres, D. C. & Casatti, L. 2007. Diversidade e distribuição espaço-temporal de anuros em região com pronunciada estação seca do sudeste do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia* 97(1): 37-49.
- Schiesari, L. 2006. Pond canopy cover: a resource gradient for anuran larvae. *Freshwater Biology* 51: 412-423.
- Scott Jr., N. J. & Woodward, B. D. 1994. Survey at breeding sites. in Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R., Hayek, L.-A. C. & Foster, M. (eds.). *Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Sinsch, U.; Lümekemann, K.; Rosar, K.; Schwarz, C. & Dehling, J. M. 2012. Acoustic Niche Partitioning in an Anuran Community Inhabiting an Afromontane Wetland (Butare, Rwanda). *African Zoology* 47 (1): 60–73.
- Skelly, D. 2001. Distributions of pond-breeding anurans: an overview of mechanisms. *Israel Journal of Zoology* 47:313–332.
- Skelly, D. K. & Richardson, J. L. 2010. Larval sampling. Pages 55-70 in C. K. Dodd, editor. *Amphibian Ecology and conservation, a handbook of techniques*. Oxford University Press, Oxford.
- Ulrich, W., Piwczynski, M., Maestre, F. T., & Gotelli, N. J. 2012. Null model tests for niche conservatism, phylogenetic assortment and habitat filtering. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(5), 930-939.
- Ulrich, W., & Gotelli, N. J. 2013. Pattern detection in null model analysis. *Oikos*, 122(1), 2-18.

- Valdujo, P. H., Silviano, D. L., Colli, G. & Martins, M. 2012. Anuran Species Composition and Distribution Patterns in Brazilian Cerrado, a Neotropical Hotspot. *South American Journal of Herpetology* 7:63–78.
- Vasconcelos, T. S. & Rossa-Feres, D. C. 2008. Habitat Heterogeneity and Use of Physical and Acoustic Space in Anuran Communities in Southeastern Brazil. *Phyllomedusa: Journal of Neotropical Herpetology* 7 (2): 127.
- Vellend, M. 2010. Conceptual synthesis in community ecology. *The Quarterly Review of Biology* 85:183–206.
- Violle, C.; Navas, M. L.; Vile, D.; Kazakou, E.; Fortunel, C.; Hummel, I. & Garnier, E. 2007. Let the Concept of Trait Be Functional! *Oikos* 116 (5): 882–92.
- Warner, S. C., Travis, J., & Dunson, W. A. 1993. Effect of pH variation of interspecific competition between two species of hylid tadpoles. *Ecology*, 74(1), 183-194.
- Webb, C. O.; Ackerly, D. D.; McPeck, M. A. & Donoghue, M. J. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annual Reviews Ecology, Evolutions and Systematics* 33: 475-505.
- Wellborn, G. A.; Skelly, D. K. & Werner, E. E. 1996. Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. *Annual Reviews Ecology, Evolution and Systematics* 27: 337-363.
- Wells, K. D., 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. The University of Chicago Press, Chicago and London, 1148 p.
- Werner, E. E. 1992. Competitive interactions between wood frog and northern leopard frog larvae: the influence of size and activity. *Copeia*, 26-35.
- Werner, E. E.; Skelly, D. K.; Relyea, R. A. & Yurewicz, K. L. 2007. Amphibian species richness across environmental gradients. *Oikos* 116:1697–1712.
- Wilbur, H. M. 1980. Complex life cycles. *Annual review of Ecology and Systematics*, 11, 67-93.
- Zina, J., & Haddad, C. F. (2006). Acoustic repertoire of *Aplastodiscus arildae* and *A. leucopygius* (Anura: Hylidae) in Serra do Japi, Brazil. *South American Journal of Herpetology*, 1(3), 227-236.

6 APÊNDICES

6.1 APÊNDICE 1: Sinal filogenético nos atributos funcionais

Testamos o sinal filogenético em atributos ecologicamente relevantes para estimar o quanto a filogenia é representativa das relações ecológicas entre espécies (Munkemuller *et al.*, 2015). Quando atributos não apresentaram sinal consideramos que a filogenia não representa aspectos ecológicos considerados importantes para a montagem de comunidades. Testamos o sinal filogenético de atributos quantitativos utilizando a métrica K (Blomberg *et al.*, 2003) e de atributos categóricos utilizando a métrica D (Fritz & Purvis, 2010). Realizamos os testes com os pacotes *phytools* (Revell, 2012) e *caper* (Orme *et al.*, 2013), utilizando as filogenias geradas acima.

Entre adultos, os atributos FDRsid ($K = 1,35$; $p = 0,02$) e disco adesivo ($D = -7,06$; $p < 0,01$) apresentaram sinal filogenético. Entre girinos, somente a altura relativa da cauda (ARCa) apresentou sinal filogenético ($K = 1,18$; $p = 0,03$). Portanto, tanto um atributo acústico como um relativo ao uso do espaço em adultos apresentam relação com a filogenia, enquanto apenas um atributo apresenta sinal em girinos.

6.2 APÊNDICE 2: Autocorrelação espacial nas variáveis ambientais

A estrutura observada em comunidades pode ser dependente da resposta das espécies a variáveis ambientais espacialmente estruturadas (Dray *et al.*, 2012). Assim, testamos a autocorrelação espacial nas variáveis ambientais utilizando correlogramas de Moran (Borcard & Legendre, 2012). Para isso, geramos uma matriz de distâncias geodésicas a partir das coordenadas geográficas das poças, e a partir dessa matriz uma *minimum spanning tree* com a função *mst.nb* do pacote *adespatial* (Dray *et al.*, 2017). Padronizamos previamente as variáveis ambientais pela função *decostand* do pacote *vegan* (Oksanen *et al.*, 2016), para que tivessem média 0 e desvio padrão 1. Geramos então os correlogramas para cada variável ambiental com o pacote *spdep* (Bivand *et al.*, 2013). Nenhuma das variáveis apresentou autocorrelação espacial (Figura S1).

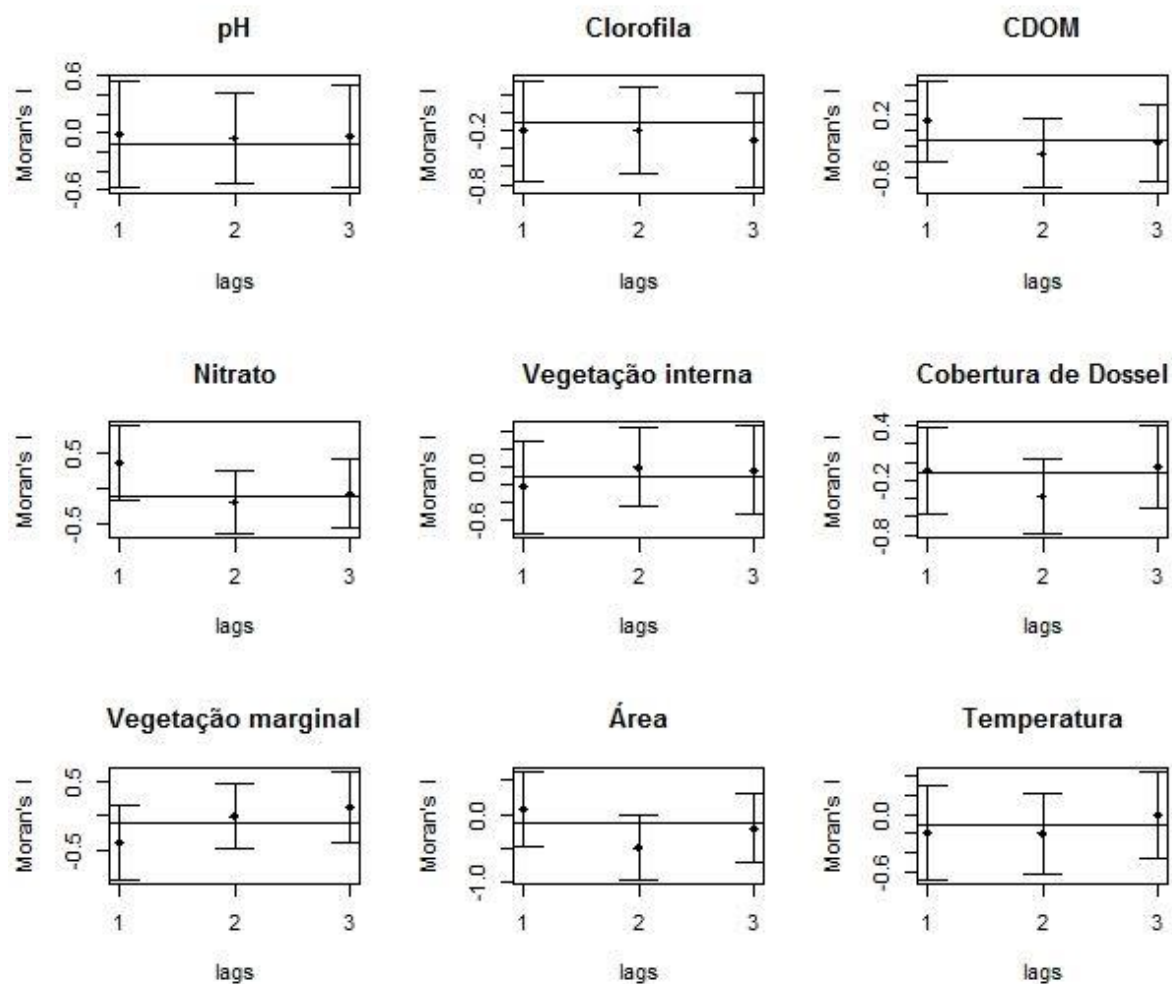


Figura S1. Correlogramas de Moran das variáveis ambientais amostradas calculados entre 10 corpos aquáticos na Serra do Japi, Município de Jundiaí, Estado de São Paulo.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO 1: Abundância de girinos e adultos

Tabela S1. Abundância das 14 espécies de anuros adultos registradas em dez corpos aquáticos na Serra do Japi, Município de Jundiaí, Estado de São Paulo, sudeste do Brasil.

Espécie	Anton ia	Cidin ho	Filipi ni	Johan dir	Lago1	Lago2	Morce go	Rosan	Santa na	Ultim o
<i>Aplastodiscus arildae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aplastodiscus leucopygius</i>	0	3	0	3	4	2	0	4	0	0
<i>Bokermmanohyla luctuosa</i>	0	0	0	2	4	0	5	0	0	0
<i>Dendropsophus minutus</i>	0	5	35	2	13	53	0	16	16	0
<i>Dendropsophus sanborni</i>	0	2	1	0	0	1	0	1	1	0
<i>Hypsiboas bischoffi</i>	0	23	37	41	15	22	5	18	14	1
<i>Hypsiboas faber</i>	0	3	9	5	1	6	0	0	7	1
<i>Hypsiboas prasinus</i>	2	20	17	15	0	0	0	7	24	60
<i>Leptodactylus latrans</i>	1	2	1	4	1	0	0	3	1	0
<i>Phyllomedusa burmeisteri</i>	2	0	0	3	2	2	0	0	0	0
<i>Physalaemus cuvieri</i>	0	2	4	2	0	1	0	0	0	4
<i>Rhinella icterica</i>	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Scinax hayii</i>	0	2	11	2	1	8	0	1	0	0
<i>Scinax hiemalis</i>	0	3	18	28	8	20	24	0	0	0

Tabela S2. Abundância das 15 espécies de girinos de anuros registradas em dez corpos aquáticos na Serra do Japi, Município de Jundiaí, Estado de São Paulo.

Espécie	Anton ia	Cidin ho	Filipi ni	Johan dir	Lago 1	Lago 2	Morc ego	Rosan	Santa na	Ultim o
<i>Aplastodiscus leucopygius</i>	0	211	0	108	0	577	30	21	0	0
<i>Bokermannohyla luctuosa</i>	0	0	27	0	0	0	50	0	0	0
<i>Dendropsophus minutus</i>	0	106	119	0	21	351	0	74	251	0
<i>Dendropsophus sanborni</i>	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypsiboas bischoffi</i>	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypsiboas faber</i>	0	992	1797	1000	188	4343	0	0	511	527
<i>Hypsiboas prasinus</i>	3	886	1049	351	21	373	0	42	1033	1500
<i>Leptodactylus latrans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	491	0
<i>Physalaemus cuvieri</i>	0	0	410	0	0	34	0	0	0	142
<i>Proceratophrys boiei</i>	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0
<i>Rhinella icterica</i>	0	21	18	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scinax eurydice</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	446
<i>Scinax hayii</i>	0	169	173	0	0	192	0	0	20	0
<i>Scinax fuscovarius</i>	0	200	0	0	0	45	0	0	70	0
<i>Scinax hiemalis</i>	0	11	319	0	99	418	125	0	0	0

7.2 ANEXO 2: Filogenias das espécies

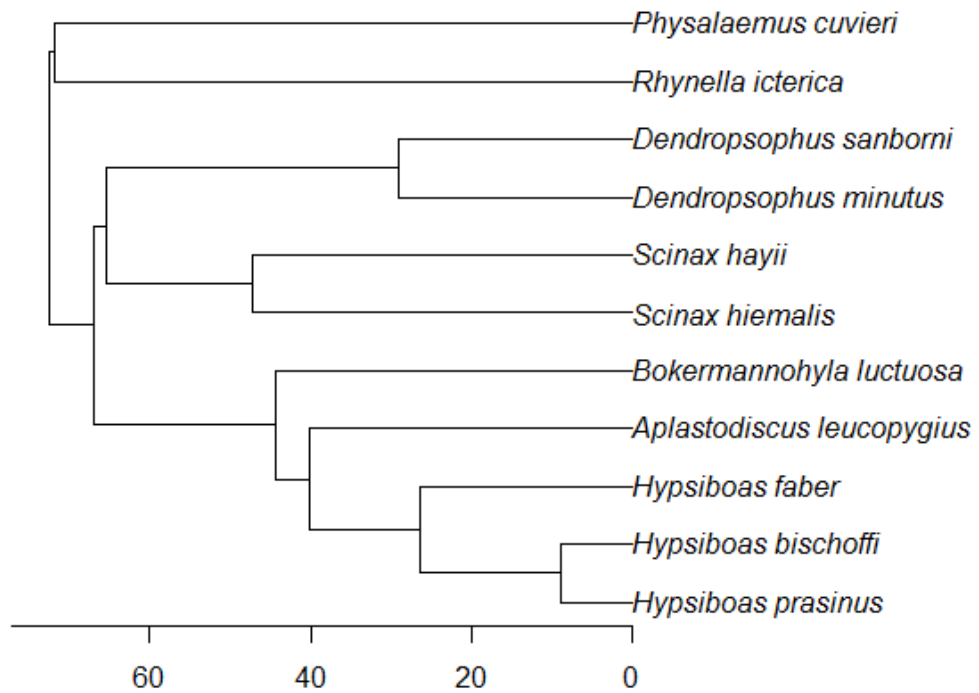


Figura S2 - Árvore filogenética hipotética com comprimentos de ramos em milhões de anos, mostrando a relação entre espécies de adultos registradas na Serra do Japi, Jundiaí, SP, Brasil.

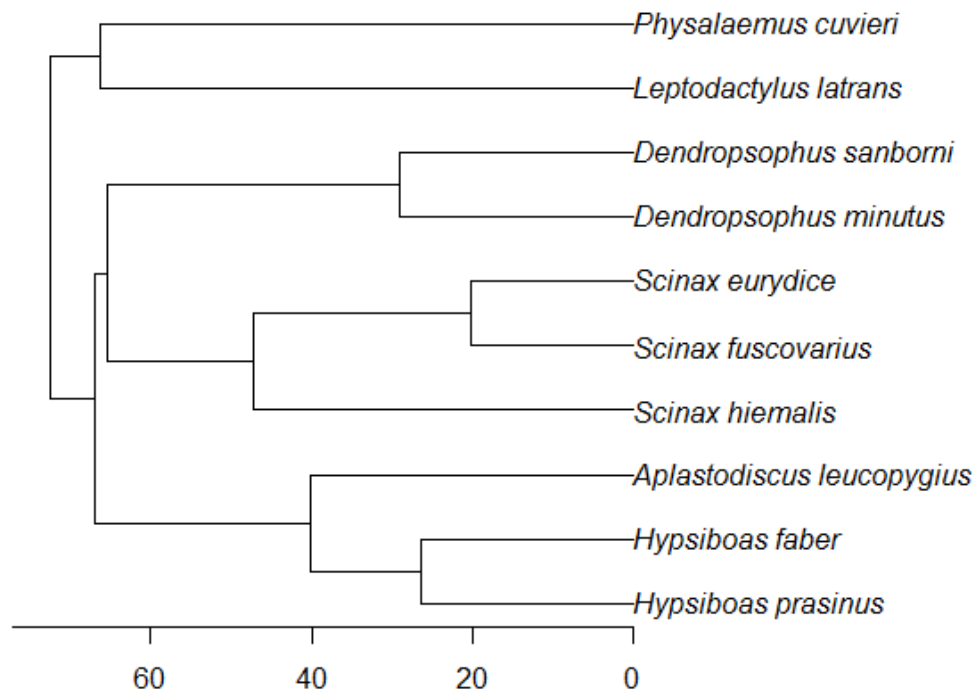


Figura S3 - Árvore filogenética hipotética com comprimentos de ramos em milhões de anos, mostrando a relação entre espécies de girinos registradas na Serra do Japi, Jundiaí, SP, Brasil.

Declaração

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha co-autoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas ou anais de congressos sujeitos a arbitragem, que constam da minha Dissertação Mestrado, intitulada ESTRUTURAÇÃO DE UMA METACOMUNIDADE DE ANFÍBIOS ANUROS NO SUDESTE DO BRASIL: INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS, FENOTÍPICAS E FILOGENÉTICAS, não infringem os dispositivos da Lei n.º 9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Campinas, 23 de fevereiro de 2017

Assinatura : _____



Nome do(a) autor(a): **Daniel Garcia Chagas**

RG n.º 46.539.910-1

Assinatura : _____



Nome do(a) orientador(a): **Ricardo Jannini Sawaya**

RG n.º 19.519.373-8

Declaração

Declaro que o desenvolvimento da minha Dissertação de Mestrado, intitulada ESTRUTURAÇÃO DE UMA METACOMUNIDADE DE ANFÍBIOS ANUROS NO SUDESTE DO BRASIL: INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS, FENOTÍPICAS E FILOGENÉTICAS, não envolveu experimentação com animais, seres humanos, patrimônio genético ou temas afetos a biossegurança.

Campinas, 23 de fevereiro de 2017

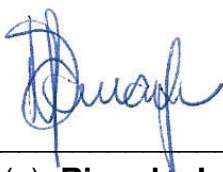
Assinatura :



Nome do(a) autor(a): **Daniel Garcia Chagas**

RG n.º 46.539.910-1

Assinatura :



Nome do(a) orientador(a): **Ricardo Jannini Sawaya**

RG n.º 19.519.373-8