

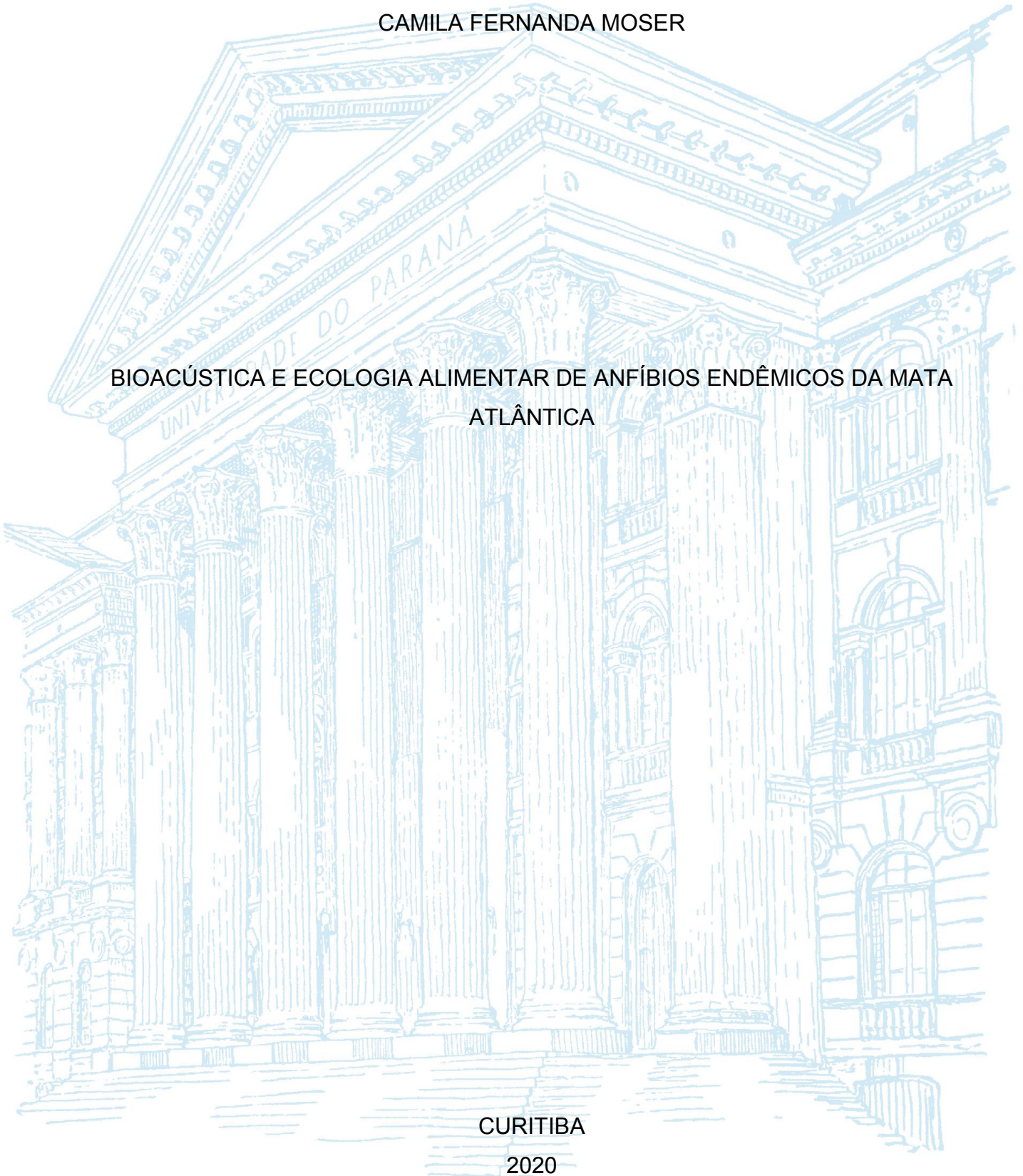
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA FERNANDA MOSER

BIOACÚSTICA E ECOLOGIA ALIMENTAR DE ANFÍBIOS ENDÊMICOS DA MATA
ATLÂNTICA

CURITIBA

2020



CAMILA FERNANDA MOSER

BIOACÚSTICA E ECOLOGIA ALIMENTAR DE ANFÍBIOS ENDÊMICOS DA MATA
ATLÂNTICA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Zoologia, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lingnau

CURITIBA

2020

Universidade Federal do Paraná
Sistema de Bibliotecas
(Giana Mara Seniski Silva – CRB/9 1406)

Moser, Camila Fernanda

Bioacústica e ecologia alimentar de anfíbios endêmicos da Mata Atlântica. / Camila Fernanda Moser. – Curitiba, 2020.

103 p.: il.

Orientador: Rodrigo Lingnau.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

1. Anfíbio - Mata Atlântica. 2. Anuros. 3. Nicho (Ecologia). 3. Dieta. 4. Vocalização. I. Título. II. Lingnau, Rodrigo. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Zoologia.

CDD (22. ed.) 597.87



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAMILA FERNANDA MOSER** intitulada: **Bioacústica e ecologia alimentar de anfíbios endêmicos da Mata Atlântica**, sob orientação do Prof. Dr. RODRIGO LINGNAU, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Setembro de 2020.

Assinatura Eletrônica

07/10/2020 11:02:52.0

RODRIGO LINGNAU

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

01/10/2020 12:13:18.0

MIRCO SOLE KIENLE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ)

Assinatura Eletrônica

01/10/2020 10:52:12.0

EMYGDIO LEITE DE ARAUJO MONTEIRO FILHO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico à minha família, por todo o suporte ao longo do mestrado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu orientador, Rodrigo Lingnau, por ter me oferecido essa oportunidade, por ter confiado em mim e me dado autonomia para conduzir meu trabalho. Mesmo a distância, nunca me faltou orientação, ajuda, explicação, correção e apoio. Muito obrigada por ter me ensinado tanto sobre ecologia, bioacústica, história natural e tantas outras coisas.

Agradeço muito ao Iberê Farina Machado, por ter feito a ponte entre mim e o Rodrigo e me incentivado a tentar a prova do programa de pós em Zoologia da UFPR. Se não fosse por você, Iberê, esse trabalho não existiria hoje, eu não teria conhecido as espécies lindas de anfíbios dos Mananciais da Serra, não teria feito tantos amigos novos e conhecido professores da UFPR que me inspiraram muito. Te agradeço demais e espero que possamos fazer mais parcerias no futuro!

Agradeço ao Alexandro Tozetti, meu orientador da graduação e parceiro de trabalho até hoje. Mesmo sem vínculo oficial, esteve muito presente nesses dois anos de mestrado, principalmente me ajudando e orientado no capítulo um da minha dissertação. Muito obrigada por sempre lembrar de mim nos teus projetos e trabalhos, espero que nossa parceria continue por muito tempo!

Agradeço muito ao André Confetti, por ter me ensinado a usar o Raven, por sempre estar disponível para me ajudar e responder minhas dúvidas. Meu desenvolvimento ao longo do mestrado teria sido muito mais difícil sem a tua ajuda, obrigada!

Agradeço aos professores Emygdio Leite de Araujo Monteiro Filho e Karla Campião por terem sido minha banca avaliadora em diversos eventos ao longo desses dois anos. Muito obrigada por toda a contribuição de vocês!

Agradeço muito à Renata Farina, que me ajudou de diversas formas nessa trajetória, desde me apoiar na hora de fazer a prova, pelos conselhos e conversas quando eu não estava bem, e toda a ajuda nos meus campos. Passamos muitos perrengues nesses campos, chuvas torrenciais, se perder, ouvir tiro de caçador, se assustar com gato-do-mato... E você nunca deu para trás, sempre topava ir em mais um. Saudades de triar invertebrados contigo! Rê, você foi essencial nessa etapa da minha vida, muito, muito obrigada.

Agradeço à Gabriela Olmedo, que vem sendo uma das minhas mais preciosas amizades nos últimos anos. Gabi, eu tenho tanto o que te agradecer! Você que sempre me salvou quando eu estava perdida com as estatísticas dos meus trabalhos (desde a graduação), e é você que sempre faz os mapas lindos e maravilhosos quando eu preciso! E só a gente sabe o quanto eu usei os teus ouvidos para “chorar minhas pitangas”, muito obrigada por isso! Você é uma pessoa ímpar, de verdade, espero te ter sempre na minha vida.

Agradeço à Camila Mendonça, minha xará, que eu conheço há anos, mas passei a conhecer de verdade esse ano. Não sei muito bem como e quando a nossa amizade cresceu tanto, sei que você foi essencial para mim esse ano e acho que você não tem ideia do quanto. Horas de ligação no whats, às vezes contando bobagens, dando risada, às vezes eu chorando e você me ouvindo, às vezes ao contrário, e às vezes as duas chorando juntas. Amiga, obrigada pela ajuda em campo, pelas conversas, por ouvir minhas prévias pelo google meet, por tudo! Torcendo para essa pandemia passar logo e darmos altos rolês.

Agradeço à Laura Schuck, por ter topado entrar de cabeça comigo na bioacústica, área completamente nova para nós. Laurinha, fiquei muito feliz por nossa parceria, ter você para discutir sobre os dados, aprender juntas a mexer no Raven, sem falar na parte estatística, se não fosse por você eu teria enlouquecido, sério! Laura, você é uma guria muito especial, de verdade, te admiro demais! Espero que a gente continue trabalhando juntas em vários projetos.

Agradeço ao Mateus de Oliveira, por ter me ensinando tanto sobre herpeto, por me ensinar a ser uma bióloga de campo, por me ensinar a trabalhar com ecologia trófica, por ter me ajudado a organizar meu delineamento amostral. Obrigada por ter participado dos meus primeiros campos e por ter me ajudado muito no capítulo um.

Agradeço aos meus amigos do Guest House, amizade formada durante um curso de Ecologia em São Paulo em 2017 e que dura até hoje. Gente, vocês foram muito importantes nessa etapa da minha vida. É muito bom ter um grupo de amigos como vocês, onde debatemos sobre ciência, sobre política, filosofamos sobre a vida e reclamamos dela também. Não vejo a hora de ver todos vocês de novo!

Agradeço à Amanda Dudczak por ter me dado suporte desde o início do mestrado, muito obrigada por ter me ensinado tanto e por ter topado fazer parceria.

Sério, você é uma das pessoas mais legais que tive o prazer de conhecer. Muito obrigada por tudo.

Agradeço aos meus colegas e amigos da UFPR, por toda a parceria durante esse período, sou muito grata por ter conhecido vocês.

Por fim, mas não menos importante, agradeço imensamente à minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas escolhas profissionais, e foram os primeiros a me incentivar e encorajar a tentar o mestrado na UFPR.

Prospects for the future are not cheery, but we will be better prepared to face the foes of conservation with fresh air in our lungs, mud on our boots, and the determination that comes from knowing that our kin - all living things - are depending on us.

(Reed F. Noss, 1996, p.3)

RESUMO

Nosso objetivo foi avaliar a dieta e vocalização de anuros endêmicos da Mata Atlântica, bem como avaliar a influência de fatores bióticos e abióticos. Realizamos o estudo nos Mananciais da Serra (Piraquara-PR), região de transição entre floresta ombrófila mista e densa, entre janeiro de 2019 e fevereiro de 2020. Neste trabalho, descrevemos a dieta de *Aplastodiscus albosignatus* (Aa), *Boana semiguttata* (Bs), *Bokermannohyla circumdata* (Bc), *Ischnocnema henselii* (Ih), *Leptodactylus notoaktites* (Ln), *Proceratophrys boiei* (Pb), *Rhinella abei* (Ra) e *Scythrophrys sawayae* (Ss) e avaliamos a influência da disponibilidade de presas e do tamanho corporal dos indivíduos na dieta das espécies. Também, descrevemos as vocalizações de Aa, Ln e Ss, avaliamos a influência da temperatura e do tamanho corporal nos parâmetros acústicos de Aa e avaliamos a variação intra e interindividual no canto de Aa e Ln. Todas as espécies demonstraram potencial de seleção por alguma categoria de presa. Esse resultado demonstra que algumas espécies se alimentam de presas preferenciais, independentemente de sua disponibilidade no ambiente. Observamos influência do tamanho dos indivíduos na dieta apenas em Ih, indicando que esse fator biótico pode influenciar na dieta dessa espécie. De forma geral, as espécies apresentaram uma dieta generalista e baixa sobreposição de nicho trófico, o sugere que a disponibilidade de presas no ambiente é alta, facilitando a partição de recursos e podendo evitar interações competitivas. A espécie Aa vocaliza empoleirada em árvores e arbustos. Seu canto de anúncio é composto de uma nota com um pulso e quatro harmônicos. Em geral, a frequência dominante (FD) ocorre no terceiro harmônico, porém, em alguns cantos a FD foi registrada na frequência mínima (Fmin) (primeiro harmônico). A duração média dos cantos foi de 0,191 s, intervalo entre cantos de 2,08 s e taxa de repetição de 33 cantos por minuto. Em média, a Fmin foi de 550,15 Hz, a frequência máxima (FMax) de 3531,70 Hz e do terceiro harmônico 2498,9 Hz. A FMax e a frequência do terceiro harmônico tiveram baixa variação, tanto nos cantos de um mesmo macho quanto entre machos. A FMax e a frequência do terceiro harmônico tiveram correlação positiva com o tamanho dos indivíduos, ou seja, quanto maior o indivíduo, maiores frequências eram atingidas durante a vocalização. A temperatura do ar teve correlação positiva com a duração, intervalo e taxa de repetição dos cantos. Essa correlação se deve à grande influência da temperatura no metabolismo dos anfíbios, refletindo na quantidade de energia gasta na emissão dos cantos. *Scythrophrys sawayae* vocaliza na serapilheira e o canto de anúncio é composto de uma nota pulsada, com duração média de 0,24 s, duração do pulso de 0,007 s e intervalo entre cantos de 0,8 s, com uma alta taxa de canto, com FD em torno de 4000 Hz e FMax de 5500 Hz. O canto agressivo é composto por uma nota multipulsada com frequências similares ao canto de anúncio. Em relação a Ln, a duração do canto foi de 0,09 s, o intervalo entre cantos foi de 0,44 s, frequência mínima a 5% de 865,63 Hz, frequência a 95% de 1780,1 Hz e frequência dominante de 1231,70 Hz. Todos os parâmetros espectrais e a duração do canto tiveram baixa variação intraindividual. Entre os machos (interindividual), somente o parâmetro espectral frequência a 95% do canto foi considerada estático, todos os demais parâmetros foram considerados dinâmicos/intermediários. De modo geral nossa descrição se assemelha às descrições prévias, contudo encontramos algumas diferenças provavelmente devido ao maior número de machos e cantos analisados. Com esse trabalho, trazemos novas informações descritivas e ecológicas acerca da dimensão trófica e acústica do nicho de espécies endêmicas da Mata Atlântica.

Palavras-chave: Dieta; Vocalização; Nicho trófico; Nicho acústico.

ABSTRACT

Our objective was to evaluate the diet and vocalization of endemic anurans from the Atlantic Forest, as well as the influence of biotic and abiotic factors. We conducted the study in Mananciais da Serra (Piraquara-PR), a transition region between mixed and dense rain forest, between January 2019 and February 2020. In this work, we describe the diet of *Aplastodiscus albosignatus* (Aa), *Boana semiguttata* (Bs), *Bokermannohyla circumdata* (Bc), *Ischnocnema henselii* (Ih), *Leptodactylus notoaktites* (Ln), *Proceratophrys boiei* (Pb), *Rhinella abei* (Ra) and *Scythrophrys sawayae* (Ss) and evaluated the influence of prey availability and body size of individuals on the species' diet. We also describe the vocalizations of Aa, Ln and Ss, evaluate the influence of air temperature and body size on the acoustic parameters of Aa and the intra and inter-individual variation in the call of Aa and Ln. All species showed potential selection for some category of prey. This result demonstrates that some species feed on preferred prey, regardless of their availability in the environment. We observed an influence of the individuals' size in the diet only in the species Ih, Ra and Ss. The species Aa vocalizes perched in trees and shrubs. The advertisement call consists of a note with a pulse and four harmonics. In general, the dominant frequency (FD) occurs in the third harmonic, however, in some calls the FD was registered in the minimum frequency (FM, first harmonic). The average duration of the calls was 0.191 s, the interval between calls was 2.08 s and the repetition rate was 33 calls per minute. On average, the FMin was 550.15 Hz, the maximum frequency (FMax) 3531.70 Hz and the third harmonic 2498.9 Hz. The FMax and the frequency of the third harmonic had low variation, both in the calls of the same male and between males. The FMax and the frequency of the third harmonic had a positive correlation with the size of the individuals. In other words, the larger the individual, the higher frequencies were reached during vocalization. The air temperature had a positive correlation with the duration, interval and repetition rate of the calls. This correlation is due to the great influence of temperature on the metabolism of amphibians, reflecting the energy spent in the emission of the calls. *Scythrophrys sawayae* vocalizes on the leaf litter and the advertisement call is composed of a pulsed note, with an average duration of 0.24 s, pulse duration of 0.007 s and interval between calls of 0.8 s, with a high calling rate, FD around 4000 Hz and FM of 5500 Hz. The aggressive call is composed of a multi pulsed note with frequencies similar to the advertisement call. Regarding Ln, the duration of the call was 0.09 s, the interval between calls was 0.44 s, the minimum frequency at 5% was 865.63 Hz, the frequency at 95% was 1780.1 Hz and the dominant frequency was 1231.70 Hz. All spectral parameters and the call duration had low intra-individual variation. Among males (interindividual), only the spectral parameter frequency at 95% of the call was considered static, all other parameters were considered dynamic/intermediate. In general, our description is similar to previous descriptions, however we find some differences probably due to the greater number of males and calls analyzed. With this work, we bring new descriptive and ecological information about the trophic and acoustic niche dimension of endemic species of the Atlantic Forest.

Keywords: Diet; Vocalization; Trophic niche; Acoustic niche.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
REFERÊNCIAS.....	19
2 CAPITULO I.....	25
ECOLOGIA ALIMENTAR DE ANFÍBIOS ENDÊMICOS DA MATA ATLÂNTICA E SIMPÁTRICOS NA FLORESTA COM ARAUCÁRIAS NO SUL DO BRASIL.....	25
2.1 INTRODUÇÃO	26
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.2.1 Área de estudo	27
2.2.2 Coleta de dados	28
2.2.3 Análises de dados	29
2.3 RESULTADOS.....	30
2.3.1 Composição da dieta.....	30
2.3.2 Amplitude e sobreposição de nicho trófico	31
2.3.3 Seletividade de presas	31
2.3.4 Relação morfometria e dieta	32
2.4 DISCUSSÃO	35
REFERÊNCIAS.....	41
3 CAPITULO II	57
VARIAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE UMA ESPÉCIE DE <i>Aplastodiscus</i> (ANURA: HYLIDAE) RELACIONADA À MORFOLOGIA E TEMPERATURA.....	57
3.1 . INTRODUÇÃO	60
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	62
3.2.1 Área de estudo	62
3.2.2 Coleta de dados	62
3.2.3 Análises de dados	63
3.3 RESULTADOS.....	64
3.4 . DISCUSSÃO	69
4 CAPITULO III	80
VOCALIZATION OF THE SULLEN TOAD, <i>Scythrophrys sawayae</i> (ANURA: LEPTODACTYLIDAE: PARATELMATOBIINAE) FROM NEAR ITS TYPE LOCALITY, PARANÁ, BRAZIL	80

4.1 FULL TEXT	81
REFERENCES	89
5 CAPITULO IV	91
VARIAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE <i>Leptodactylus notoaktites</i> HEYER, 1978 (ANURA: LEPTODACTYLIDAE) NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL	91
5.1 INTRODUÇÃO	93
5.2 METODOLOGIA	94
5.2.1 ÁREA DE ESTUDO	94
5.2.2 COLETA DE DADOS	95
5.2.3 ANÁLISES DE DADOS	96
5.3 RESULTADOS	98
5.4 DISCUSSÃO	95
REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil abriga a maior riqueza de anfíbios do mundo, sendo atualmente conhecidas 1136 espécies para o território nacional (Segalla et al. 2019). Essa riqueza vem sendo intensamente ameaçada principalmente devido à perda e fragmentação de seus habitats naturais (Becker et al., 2007; Hayes et al., 2010), que são convertidos em áreas urbanas, de criação de gado e plantações. O bioma Mata Atlântica, por exemplo, já perdeu mais de 93% de sua área original, restando cerca de somente 100.000km² (Myers et al., 2000; Tabarelli et al., 2005). Este cenário é preocupante, uma vez que a Mata Atlântica é um hotspot de biodiversidade (Myers et al., 2000). Em relação aos anfíbios, por exemplo, este bioma abriga cerca de 58% das espécies brasileiras (Rossa-feres et al., 2017). Esse grupo de animais apresenta um alto grau de endemismo na Mata Atlântica (cerca de 80%), sendo que a maioria das espécies de anfíbios ameaçados de extinção do Brasil ocorrem neste bioma (Silvano & Segalla, 2005; Haddad et al., 2013; Rossa-feres et al., 2017). Além disso, estima-se que a riqueza de espécies que ocorrem na Mata Atlântica seja muito maior, com muitas espécies ainda não descritas (Rossa-feres et al., 2017).

A Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta com Araucárias, é uma das formações florestais da Mata Atlântica que ocorre no sul do Brasil. Esta formação vegetal foi submetida ao corte seletivo de madeira por décadas e estima-se que seus remanescentes não ultrapassem 2% da cobertura original (Medeiros et al., 2005). No estado do Paraná, restam somente 0,8% desta formação vegetal (Castella & De Britez, 2004). Em relação aos anfíbios da Floresta com Araucárias paranaense, existe um número considerável de estudos (Conte, 2010; Conte & Machado, 2005; Conte & Rossa-Feres, 2006, 2007; Cunha et al., 2011; Leivas & Hiert, 2016, entre outros), enfocando a riqueza de espécies e distribuição espacial e temporal de comunidades. Contudo, ainda há uma grande lacuna de conhecimento sobre a distribuição e história natural de muitas espécies da Mata Atlântica (Rossa-feres et al., 2017).

A história natural das espécies pode ser definida como a observação e descrição do mundo natural, com ênfase nos organismos e suas interações, sendo elas com o ambiente ou com outros organismos (Tewksbury et al., 2014). Em outras palavras, é o conhecimento puro e direto sobre as espécies, gerando

informações para perguntas básicas de trabalhos sobre ecologia, comportamento e distribuição da biodiversidade. Em relação aos anfíbios, áreas de estudo que fazem parte da história natural das espécies são a bioacústica, ecologia trófica e comportamental, uso do ambiente e microambiente, atividade reprodutiva, entre outros. Considerando a fragmentação e perda de habitat da Mata Atlântica, bem como o nível de endemismo dos anfíbios, informações sobre a biologia e ecologia dessas espécies são extremamente relevantes para serem utilizadas em estudos mais complexos de modelagem e conservação, bem como para podermos avaliar o status de conservação das mesmas.

A bioacústica, área de estudo que engloba a comunicação sonora desses animais, é uma das dimensões mais importantes da história natural dos anfíbios anuros (Duellman & Trueb, 1994). Existem diferentes tipos de vocalizações, como canto territorial, agressivo, de corte, porém o mais comum deles é o canto de anúncio, que possui função essencial da biologia reprodutiva dos anuros, como a atração das fêmeas, identificação sexual dos machos pelas fêmeas e territorialidade (Bastos & Haddad, 1996; Bernarde, 2012; Roesli & Reyer, 2000). Os cantos de anúncio trazem também informações sobre características do macho emissor, como o tamanho do indivíduo, temperatura corporal e condição energética (Wells, 2010; Toledo et al., 2014). É amplamente documentada a importância dos cantos de anúncio atuando como um mecanismo primário no isolamento reprodutivo entre as espécies. Dessa forma, as vocalizações podem ser ferramentas muito importantes da identificação e descrição das espécies, principalmente quando levamos em consideração espécies crípticas (De Carvalho, 2012; Heyer & Reid, 2003). Apesar disso, a Mata Atlântica é o bioma brasileiro com a maior lacuna em relação ao conhecimento sobre os cantos de anúncio das espécies de anfíbios (Guerra et al., 2018). Segundo uma revisão bibliográfica de Guerra et al. (2018) acerca dos estudos sobre bioacústica no Brasil, somente 65% das espécies de anfíbios que ocorrem na Mata Atlântica tem seu canto de anúncio descrito. Em relação aos anuros endêmicos desse bioma, a lacuna é ainda maior, onde cerca de 45% das espécies não possuem descrição da vocalização (Guerra et al., 2018). Esses números podem indicar que essas espécies, possivelmente, sejam pouco estudadas de forma geral, e outras informações sobre sua história natural sejam também desconhecidas (Rossa-feres et al., 2017). Isso é preocupante, uma vez

que estudos recentes mostram que até 10% das espécies de anfíbios da Mata Atlântica podem ser extintas em cerca de 50 anos devido ao aquecimento global (Vasconcelos et al. 2018).

Além disso, diversos fatores, abióticos e bióticos, podem influenciar as vocalizações emitidas pelos anuros, tais como temperatura do ar, tamanho e massa corporal dos indivíduos, resultando em diferenças intra e interespecíficas (Giacoma et al., 1997; Lingnau & Bastos, 2007; Navas & Bevier 2001). Por exemplo, a temperatura pode influenciar a taxa de emissão de cantos e de repetição de pulsos, parâmetros acústicos temporais afetados pela contração muscular dos indivíduos, já os parâmetros espectrais (ex. frequência fundamental), que não possuem relação com a contração muscular, podem ser menos afetados pela temperatura (Lingnau & Bastos, 2007; Wong et al. 2004).

Além da bioacústica, a ecologia trófica também é uma dimensão importante da história natural, não apenas dos anfíbios anuros, mas de vários outros grupos taxonômicos (Duellman & Trueb, 1994; Sih & Christensen, 2001). A partir da dieta, podemos obter informações sobre as estratégias de forrageio utilizadas por esses animais (Solé et al., 2009; Toft, 1980) e obter subsídios para a compreensão da organização trófica do ecossistema, uma vez que é possível avaliar interações entre as espécies, tanto predador-presa como entre competidores intra e interespecíficos. Além disso, a descrição da dieta, combinada com dados das presas disponíveis no ambiente estudado pode nos revelar hábitos especialistas e/ou preferências alimentares (Toft, 1981; Toft, 1980; Duellman & Trueb, 1994; Anderson et al., 1999). Também, essas informações básicas geram material para a elaboração de teorias e teste de hipóteses relacionadas ao fluxo de nutrientes e energia entre os ecossistemas. Quando essas informações estão disponíveis para espécies simpátricas, em uma mesma janela temporal, é possível fazer inferências sobre como as espécies partilham os recursos, se possuem sobreposição de nicho trófico, por exemplo (Pianka, 1974). Este conjunto de dados nos auxilia a compreender o nicho trófico das espécies, podendo também ser útil como base para o planejamento de estratégias de conservação de anfíbios anuros (Anderson et al. 1999).

Apesar da importância dessas informações para entendermos a história natural dos anfíbios anuros, bem como prevermos possíveis impactos a essas

espécies com as crescentes e contínuas modificações ambientais (Duellman & Trueb, 1994; Sih & Christensen, 2001) a maioria dessas informações são escassas ou inexistentes para muitas espécies. As espécies *Aplastodiscus albosignatus* (Lutz and Lutz, 1938), *Boana semiguttata* (Lutz, 1925), *Bokermannohyla circumdata* (Cope, 1870), *Ischnocnema henselii* (Peters, 1870), *Leptodactylus notoaktites* Heyer, 1978, *Proceratophrys boiei* (Wied-Neuwied, 1824) e *Scythrophrys sawayae* (Cochran, 1953) são exemplos de espécies endêmicas da Mata Atlântica com pouca informação disponível acerca de sua história natural (Conte et al., 2005; Giaretta et al., 1998; Klaion et al., 2011; Napoli & Pimenta, 2009; Garcia et al., 2007). Além disso, *B. semiguttata* é uma espécie ameaçada de extinção, classificada como em perigo em nível nacional, encontrada em apenas duas localidades entre os estados do Paraná e Santa Catarina (Haddad et al. 2018).

Assim, com base no exposto, esta dissertação está estruturada em quatro capítulos com informações de história natural de anuros em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. O primeiro capítulo contém descrições inéditas da dieta de anfíbios endêmicos da Mata Atlântica, bem como uma abordagem sobre amplitude de nicho e partição de recursos entre as espécies. O segundo capítulo contém informações sobre a variabilidade nas vocalizações de *A. cf albosignatus*, incluindo dados de variação intra e interindividual e influência de fatores bióticos e abióticos nos parâmetros acústicos do canto de anúncio. O terceiro capítulo apresenta a descrição do canto de anúncio e canto agressivo da espécie *Scythrophrys sawayae*. Por fim, o quarto capítulo apresenta a descrição do canto de anúncio de *Leptodactylus notoaktites*, incluindo a comparação com as descrições prévias publicadas e a variação na vocalização dos indivíduos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, A. M.; HAUKOS, D. A.; ANDERSON, J. T. Diet Composition of Three Anurans from the Playa Wetlands of Northwest Texas. **Copeia**, v. 1999, n. 2, p. 515–520, 1999.
- BASTOS, R. P.; HADDAD, C. F. B. Breeding Activity of the Neotropical Treefrog *Hyla elegans* (Anura, Hylidae). **Journal of Herpetology**, v. 30, n. 3, p. 355–360, 1996.
- 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, n. 5857, p. 1775–1777, 2007.
- BERNARDE, P. S. **Anfíbios e Répteis - Introdução ao estudo da Herpetofauna Brasileira**. 1º ed. Curitiba: Anolis, 2012.
- CARLOS EDUARDO CONTE. **DIVERSIDADE DE ANFÍBIOS DA FLORESTA COM ARAUCÁRIA**, 2010. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.
- CONTE, C. E.; LINGNAU, R.; KWET, A. Description of the advertisement call of *Hyla ehrharditi* Muller, 1924 and a new distribution records (Anura: Hylidae). **Salamandra**, v. 41, n. 3, p. 83–87, 2005.
- CONTE, C. E.; MACHADO, R. A. Riqueza de espécies e distribuição espacial e temporal em comunidade de anuros (Amphibia, Anura) em uma localidade de Tijucas do Sul, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 940–948, 2005.
- CONTE, C. E.; ROSSA-FERES, D. DE C. Diversidade e ocorrência temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 1, p. 162–175, 2006.
- CONTE, C. E.; ROSSA-FERES, D. DE C. Riqueza e distribuição espaço-

temporal de anuros em um remanescente de Floresta de Araucária no sudeste do Paraná. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 4, p. 1025–1037, 2007.

CUNHA, A. K.; OLIVEIRA, I. S. DE; OLIVEIRA, I. S. DE; HARTMANN, M. T.; HARTMANN, M. T. Anurofauna da Colônia Castelhanos, na Área de Proteção Ambiental de Guaratuba, Serra do Mar paranaense, Brasil doi: 10.5007/2175-7925.2010v23n2p123. **Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 123–124, 2011.

DE CARVALHO, T. R. A new species of *Pseudopaludicola* Miranda-Ribeiro (Leiuperinae: Leptodactylidae: Anura) from the Cerrado of southeastern Brazil. **Zootaxa**, v. 3328, p. 47–54, 2012.

DUELLMAN, W. E.; TRUEB, L. **Biology of Amphibians**. 2º ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994.

GARCIA, P. C. D. A.; HADDAD, C.; FAIVOVICH, J. Redescription of *Hypsiboas semiguttatus*, with the description of a New Species of the *Hypsiboas pulchellus* Group. **Copeia**, v. 2007, n. 4, p. 933–951, 2007.

GIACOMA, C.; ZUGOLARO, C.; BEANI, L. The Advertisement Calls of the Green Toad (*Bufo viridis*): Variability and Role in Mate Choice. **Herpetologica**, v. 53, n. 4, p. 454–464, 1997.

GIARETTA, A. A.; ARAÚJO, M. S.; MEDEIROS, H. F. DE; FACURE, K. G. Food habits and ontogenetic diet shifts of the litter dwelling frog *Proceratophrys boiei* (Wied). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 15, n. 2, p. 385–388, 1998.

GUERRA, V.; LLUSIA, D.; GAMBALE, P. G.; et al. The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future

- directions. **PLoS ONE**, v. 13, n. 1, p. 1–22, 2018.
- HADDAD, C. F. B.; SEGALLA, M. V.; BATAUS, Y. S. DE L.; et al. *Hypsiboas semiguttatus* (A. Lutz, 1925). In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Org.); **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume V - Anfíbios**. V ed., p.128, 2018. Brasília: ICMBio.
- HAYES, T. B.; FALSO, P.; GALLIPEAU, S.; STICE, M. The cause of global amphibian declines: A developmental endocrinologist's perspective. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 6, p. 921–933, 2010.
- HEYER, W. R.; REID, Y. R. Does advertisement call variation coincide with genetic variation in the genetically diverse frog taxon currently known as *Leptodactylus fuscus* (Amphibia: Leptodactylidae)? **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 75, n. 1, p. 39–54, 2003.
- KLAION, T.; ALMEIDA-GOMES, M.; TAVARES, L. E. R.; ROCHA, C. F. D.; VAN SLUYS, M. Diet and nematode infection in *Proceratophrys boiei* (Anura: Cycloramphidae) from two atlantic rainforest remnants in Southeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 83, n. 4, p. 1303–1312, 2011.
- LEIVAS, P. T.; HIERT, C. Anuran richness in remnants of Araucaria forest, Paraná, Brazil. **Herpetology Notes**, v. 9, n. February, p. 15–21, 2016.
- LINGNAU, R.; BASTOS, R. P. Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. **Journal of Natural History**, v. 41, n. 17–20, p. 1227–1235, 2007.
- MEDEIROS, J. DE D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. DE. Seleção de áreas para

criação de Unidades de Conservação na Floresta Ombrófila Mista.

Biotemas, v. 18, n. 2, p. 33–50, 2005. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/21411/19378>>

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.;

KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. February, p. 853–858, 2000.

NAPOLI, M. F.; PIMENTA, B. V. S. A new species of the *Bokermannohyla circumdata* group (anura: Hylidae) from the coastal forests of bahia, Northeastern Brazil. **Copeia**, , n. 4, p. 674–683, 2009.

NAVAS, C. A.; BEVIER, C. R. Thermal dependency of calling performance in the eurythermic frog *Colostethus subpunctatus*. **Herpetologica**, v. 57, n. 3, p. 384–395, 2001.

PIANKA, E. R. Niche overlap and diffuse competition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 71, n. 5, p. 2141–2145, 1974.

ROESLI, M.; REYER, H. U. Male vocalization and female choice in the hybridogenetic *Rana lessonae*/*Rana esculenta* complex. **Animal Behaviour**, v. 60, n. 6, p. 745–755, 2000.

ROSSA-FERES, D. D. C.; GAREY, M. V.; CARAMASCHI, U.; et al. Anfíbios da Mata Atlântica: Lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação. In: E. L. de A. Monteiro-Filho; C. E. Conte (Orgs.); **Revisões em Zoologia**. p.237–314, 2017. Curitiba: Editora UFPR.

SEGALLA, M. V.; CARAMASCHI, U.; CRUZ, C. A. G.; et al. Brazilian amphibians – List of species. **Herpetologia Brasileira**, v. 8, n. 1, p. 96, 2019. Disponível em: <<http://www.sbherpetologia.org.br>>. .

- SIH, A.; CHRISTENSEN, B. Optimal diet theory: When does it work, and when and why does it fail? **Animal Behaviour**, v. 61, n. 2, p. 379–390, 2001.
- SOLÉ, M.; DIAS, I. R.; RODRIGUES, E. A. S.; et al. Diet of *Leptodactylus ocellatus* (Anura : Leptodactylidae) from a cacao plantation in southern Bahia. **Herpetology Notes**, v. 2, p. 9–15, 2009.
- TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C. DA; BEDE, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132–138, 2005.
- TEWKSBURY, J. J.; ANDERSON, J. G. T.; BAKKER, J. D.; et al. Natural history's place in science and society. **BioScience**, v. 64, n. 4, p. 300–310, 2014.
- TOFT, C. A. Feeding ecology of thirteen syntopic species of anurans in a seasonal tropical environment. **Oecologia**, v. 45, n. 1, p. 131–141, 1980.
- TOFT, C. A. Feeding ecology of Panamanian litter anurans: patterns in diet and foraging mode. **Journal of Herpetology**, v. 15, n. 2, p. 139–144, 1981.
- TOLEDO, L. F.; MARTINS, I. A.; BRUSCHI, D. P.; et al. The anuran calling repertoire in the light of social context. **Acta Ethologica**, v. 18, n. 2, p. 87–99, 2014.
- VASCONCELOS, T. S.; DO NASCIMENTO, B. T. M.; PRADO, V. H. M. Expected impacts of climate change threaten the anuran diversity in the Brazilian hotspots. **International Journal of Business Innovation and Research**, v. 17, n. 3, p. 7894–7906, 2018.
- WONG, B. B. M.; COWLING, A. N. N.; CUNNINGHAM, R. B.; DONNELLY, C. F.; COOPER, P. D. Do temperature and social environment interact to affect call rate in frogs (*Crinia signifera*)? **Austral Ecology**, v. 29, n. 2, p.

209–214, 2004.

WELLS, K. D. **The ecology and behavior of amphibians**. Chicago: University of Chicago Press, 2010.

2 CAPITULO I

ECOLOGIA ALIMENTAR DE ANFÍBIOS ENDÊMICOS DA MATA ATLÂNTICA E SIMPÁTRICOS NA FLORESTA COM ARAUCÁRIAS NO SUL DO BRASIL¹

RESUMO

Nosso objetivo foi descrever e comparar a dieta de anuros endêmicos da Mata Atlântica, bem como avaliar a influência de fatores bióticos na ecologia trófica das espécies. Realizamos o estudo nos Mananciais da Serra (Piraquara-PR), região de transição entre floresta ombrófila mista e densa, entre janeiro de 2019 e fevereiro de 2020. Neste trabalho, descrevemos a dieta de oito espécies: *Aplastodiscus albosignatus*, *Boana semiguttata*, *Bokermannohyla circumdata*, *Ischnocnema henselii*, *Leptodactylus notoaktites*, *Proceratophrys boiei*, *Rhinella abei* e *Scythrophrys sawayae*. Os coleópteros foram presas importantes na dieta da maioria das espécies, com exceção de *B. circumdata* e *L. notoaktites*. Todas as espécies demonstraram potencial de seleção por alguma categoria de presa. Observamos uma correlação entre o tamanho dos indivíduos e o volume de presas consumidas na espécie *I. henselii*. De forma geral, a sobreposição de nicho entre as espécies foi baixa, e a maioria das espécies apresentou um nicho trófico amplo.

Palavras-chave: Nicho trófico; dieta; seleção de presas; amplitude de nicho.

ABSTRACT

Our objective was to describe and compare the diet of endemic anurans of the Atlantic Forest, as well as to evaluate the influence of biotic factors on the trophic ecology of the species. We conducted the study in Mananciais da Serra (Piraquara-PR), a transition region between mixed and dense rain forest, between January 2019 and February 2020. In this work, we describe the diet of eight species: *Aplastodiscus albosignatus*, *Boana semiguttata*, *Bokermannohyla circumdata*, *Ischnocnema henselii*, *Leptodactylus notoaktites*, *Proceratophrys boiei*, *Rhinella abei* and *Scythrophrys sawayae*. Coleoptera were important prey in the diet of most species, with the exception of *B. circumdata* and *L. notoaktites*. All species showed potential selection for some category of prey. We observed a correlation between the size of the individuals and the volume of prey consumed in the species *I. henselii*. In general, the niche overlap between species was low, and most species had a wide trophic niche.

Keywords: Trophic niche; diet; prey selection; niche breadth.

¹ Capítulo formatado de acordo com as normas da revista Anais da Academia Brasileira de Ciências.

2.1 INTRODUÇÃO

A ecologia trófica é um componente básico da história natural de uma espécie e fornece informações para entendermos a dinâmica da comunidade e o funcionamento dos ecossistemas (Sih & Christensen 2001, Solé & Rödder 1991). A ecologia trófica inclui informações sobre estratégias de forrageamento (Toft 1981, Solé et al. 2009), preferências alimentares (Anderson et al. 1999, Rebouças & Solé 2015), hábitos generalistas ou especialistas e a partilha de recursos entre espécies (Anderson et al. 1999, De Oliveira et al. 2019). Quando avaliamos a ecologia alimentar de indivíduos que partilham do mesmo habitat, podemos gerar informações importantes para a elaboração de hipóteses ecológicas e evolutivas (Menin et al. 2005, Sabagh & Carvalho-e-Silva 2008, De Oliveira et al. 2015).

Os anfíbios são bons modelos para estudo da ecologia alimentar em indivíduos simpátricos, já que possuem dieta baseada em invertebrados, estratégias de forrageamento similares e pequeno potencial de dispersão. Isso facilita a comparação entre indivíduos e espécies. Em geral, espécies simpátricas têm acesso às mesmas categorias de presas potenciais e, somado ao fato de que a maioria dos anuros possui uma dieta generalista, é razoável esperar que tenham dietas similares (Sabagh et al. 2010). Quando ampliamos a escala de observação e consideramos também espécies que, além de simpátricas, compartilham características morfológicas, ecológicas e comportamentais, podemos obter informações mais refinadas acerca da partilha de recursos (Duré & Kehr 2001, Duré & Kehr 2004).

Muitos fatores podem influenciar a dieta dos anfíbios, como por exemplo diferenças associadas a gênero (De Oliveira & Haddad 2015), sazonalidade (Maragno and Souza 2011), ontogenia (Luría-Manzano & Ramírez-Bautista 2019) e tamanho corporal (Santos-Pereira et al. 2015, Almeida-Santos et al. 2017). A relação entre o tamanho da presa e o tamanho corporal, como a largura da mandíbula, é um padrão esperado para os anuros, uma vez que a maioria desses animais engolem a presa inteira (Toft 1980, Lima & Magnusson 1998), o que limita o tamanho da presa ao tamanho da boca do predador.

Outro fator que pode ter grande influência na dieta dos anuros é a disponibilidade de presa no ambiente (Rebouças & Solé 2015, De Oliveira & Haddad 2015), uma vez que nos permite avaliar se existe seleção de presas na dieta. A avaliação da seletividade das presas é uma informação importante nos estudos de ecologia trófica, pois nos permite

discutir especialização e preferências alimentares (Isacch & Barg 2002, López et al. 2009). Apesar do aumento nos estudos de ecologia alimentar de anfíbios neotropicais nos últimos anos (Moser et al. 2017, De Oliveira et al. 2017, Da Silva et al. 2018, Farina et al. 2018, Moser et al. 2019), poucos avaliam a disponibilidade de presas no ambiente (López et al. 2009a, Rebouças & Solé 2015, Solé et al. 2019) e menos ainda avaliam a relação trófica de espécies que compartilham recursos (De Oliveira et al. 2019, De Oliveira et al. 2018).

Devido à grande riqueza de anuros que ocorrem no Brasil, ainda existe uma grande lacuna de informações acerca de sua história natural (Rossa-feres et al. 2017, Guerra et al. 2018). Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho foi descrever a composição da dieta de oito espécies endêmicas de anfíbios da Mata Atlântica (*Aplastodiscus albosignatus*, *Boana semiguttata*, *Bokermannohyla circumdata*, *Rhinella abei*, *Scythrophrys sawayae*, *Proceratophrys boiei* e *Ischnocnema henselii*), visando contribuir com novas informações acerca da ecologia alimentar desses anfíbios. Além disso, buscamos responder as seguintes perguntas: (1) as espécies possuem dietas similares? (2) possuem alguma preferência alimentar? (3) qual a amplitude de nicho trófico das espécies? (4) o tamanho corporal das espécies influencia na alimentação?

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

Nós conduzimos o estudo em ambientes de floresta subtropical dentro do bioma Mata Atlântica, nos Mananciais da Serra (25°30'28"S 49°1'30"W), município de Piraquara, estado do Paraná, sul do Brasil (Figura 1). O ambiente amostrado está localizado em uma área de transição entre as fitofisionomias Floresta Ombrófila Mista, a qual possui a predominância de *Araucaria angustifolia* (Floresta com Araucária) e Floresta Ombrófila densa (Reginato & Goldenberg 2007). O nível de precipitação anual varia de 1400 a 1700, com chuvas concentradas de outubro a março (Paraná 1987). A temperatura média é de 22°C nos meses quentes e 18°C nos meses frios (Ferreira 1996).

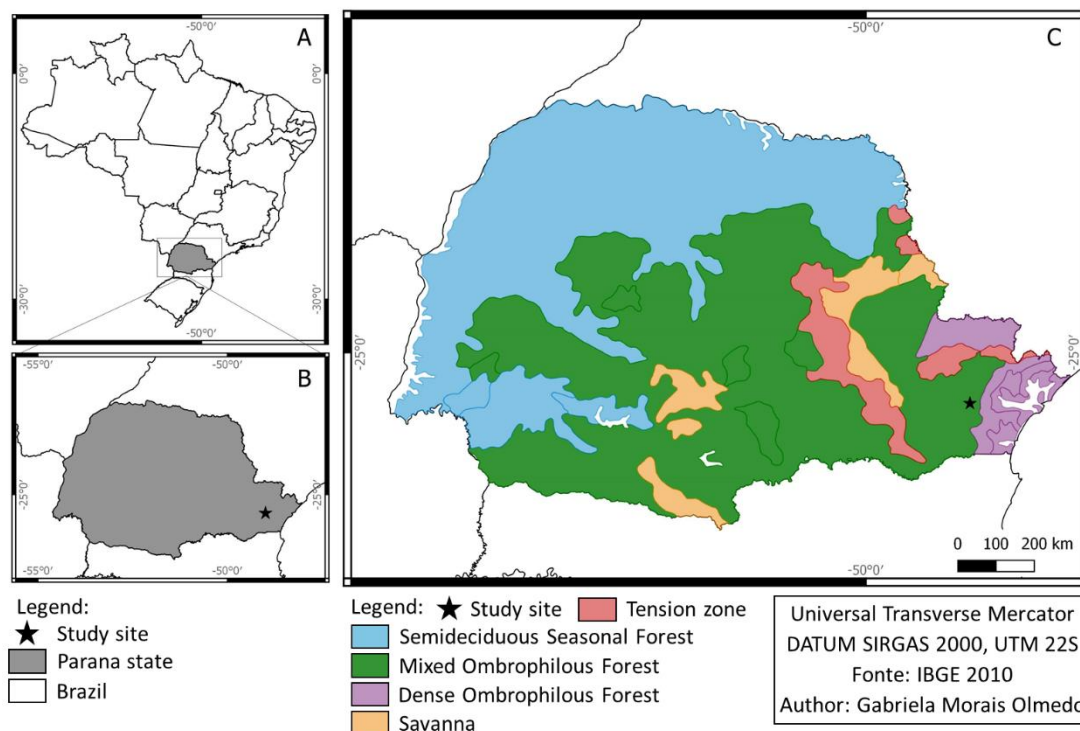


Figura 1 – Localidade da área de estudo. A: Mapa do Brasil ressaltando o estado do Paraná; B: Mapa do estado do Paraná ressaltando a área de estudo; C: Mapa do estado do Paraná ressaltando a fisionomia da vegetação.

2.2.2 Coleta de dados

Nós conduzimos as amostragens entre janeiro de 2019 e fevereiro de 2020. Nós localizávamos os anuros a partir de busca ativa (Crump & Scott JR 1994) e capturávamos eles manualmente. Realizamos as coletas com a autorização do órgão federal competente, SISBIO (autorização # - 66853-2). Imediatamente após a captura, acondicionávamos os espécimes em uma caixa de isopor refrigerada para reduzir suas atividades fisiológicas (De Oliveira et al., 2015). O conteúdo estomacal foi obtido de duas formas: por lavagem estomacal e dissecação dos órgãos gastrointestinais. A lavagem do estômago foi realizada conforme descrito por Solé et al. (2005), e foi o método utilizado nas espécies *Proceratophrys boiei* e *Rhinella abei*. Dez indivíduos de ambas as espécies foram coletados como testemunho taxonômico, os demais animais que passaram pelo processo de lavagem estomacal foram soltos no mesmo local da coleta após o procedimento. As demais espécies foram coletadas porque fazem parte de outros estudos em andamento, os quais necessitam da coleta dos indivíduos. Todos os indivíduos capturados tiveram sua massa mensurada com uma balança digital, o comprimento rostro-cloacal (CRC) e a largura da mandíbula mensurados com um paquímetro digital. Armazenamos todo o

conteúdo alimentar extraído em frascos com etanol a 70% até o processo de triagem com o estereomicroscópio. Identificamos os itens alimentares ao menor nível taxonômico possível (Ordem ou Família) utilizando guias taxonômicos e chaves de identificação. Depois da identificação e quantificação das presas, calculamos o volume usando a área (mm²) ocupada por cada conjunto de categoria, que foi macerado e espalhado uniformemente sob uma placa de Petri fixada com papel milimetrado, mantendo uma altura regular de 1 mm (Hellawell & Abel 1971; Moser et al., 2020). Para obter o valor do volume das categorias de presas, a área (mm²) foi multiplicado pela altura (1mm). Para cada categoria de presa, o número, volume e frequência de ocorrência foi calculado em termos percentuais e absolutos.

A disponibilidade de presas edáficas e arbóreas foram mensuradas através de coleta de serapilheira e guarda-chuva entomológico. Foram coletadas seis amostras de serapilheira por campanha ao longo da área onde os anuros eram coletados. A serapilheira era guardada em sacos plásticos e triada no mesmo dia. O processo de triagem ocorria em bandejas brancas com o auxílio de iluminação extra (lanternas de cabeça). O número de pessoas no processo de triagem variava, porém, o tempo foi limitado em 60 minutos por amostra (ex. 2 pessoas = 30 min, 4 pessoas = 15 min). Para amostrarmos a disponibilidade de presas arbóreas coletamos com auxílio de guarda-chuva entomológico oito amostras ao longo da mesma área, sendo que cada amostra correspondia a uma árvore amostrada. Foi padronizado três batidas em cada árvore para promover a queda dos invertebrados no guarda-chuva entomológico. Os invertebrados foram armazenados em tubos Falcon com etanol a 70% para identificação posterior.

2.2.3 Análises de dados

Avaliamos a importância de cada categoria de presa na dieta com base no cálculo Índice de Importância Relativa (IIR), usando a seguinte equação: $IIR = (\%N + \%V) \%FO$, onde %N é a abundância relativa de cada categoria de presa na dieta, %V é a contribuição volumétrica relativa e %FO é a frequência de ocorrência relativa das presas na dieta (Pinkas et al. 1971, Krebs 1999). Quanto maior o valor de IIR, maior é a importância de uma determinada categoria de presa na dieta.

Para avaliar o nível de eletividade na dieta, ou seja, se determinada presa foi ativamente selecionada, calculamos o Índice de Eletividade de Jacobs (D). Este índice avalia a presença de cada categoria de presa encontrada na dieta em relação à sua disponibilidade no ambiente por meio da seguinte fórmula: $D = R_k - P_k / R_k + P_k - 2$.

$R_k \cdot P_k$ (Jacobs 1974). Nessa fórmula, "D" é o índice de eletividade, "Rk" representa a proporção da categoria k no conteúdo alimentar e "Pk" é a proporção da categoria de presa k no ambiente. O valor de D varia de -1 to +1, e nós consideramos valores positivos maiores que 0.5 ($D > 0.5$) como indicação de escolha pelo anuro.

Definimos a dimensão do nicho trófico por meio do cálculo o Índice de Amplitude de Nicho Trófico Padronizado de Levins (B) (Krebs 1999), definido por $B = 1 / \sum p_i^2$, onde p é a proporção individual de um determinado recurso i (táxon) encontrado na dieta. Para facilitar a comparação entre as espécies, calculamos o Índice Padronizado de Levins (Bsta), o qual limita o índice a uma escala de 0 a 1 de acordo com a seguinte equação: $B_{sta} = (B-1) / (n-1)$, onde n representa o número de recursos registrados. Valores próximos de 0 indicam uma dieta especializada (estreita amplitude de nicho), enquanto valores próximos a 1 indicam uma dieta generalista (grande amplitude de nicho).

A sobreposição de nicho trófico foi avaliada a partir do Índice de Sobreposição de Nicho Trófico de Pianka (O_{jk}) (Pianka 1973). Definido pela seguinte expressão:

$O_{jk} = \sum_{i=1}^n p_{ij} \times p_{ik} / \sqrt{\sum_{i=1}^n p_{ij}^2 \times \sum_{i=1}^n p_{ik}^2}$, O_{jk} representa o índice de sobreposição de nicho entre as espécies j e k; p_{ij} equivale à proporção do recurso i em um total de recursos utilizados pela espécie j; p_{ik} a proporção do recurso i em um total de recursos utilizados pela espécie k; n equivale ao número total de categorias de recurso para as espécies j e k. O resultado varia de 0, onde não há sobreposição, a 1 que indica total sobreposição de nicho das espécies (Krebs 1999).

Para avaliar se existe correlação entre a dieta e a morfometria das espécies, foi feita uma regressão linear no programa Past. Foram correlacionadas a massa, CRC e largura da mandíbula com o volume, número e riqueza de presas.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Composição da dieta

No total, foram avaliados os conteúdos gastrointestinais de 250 indivíduos de oito espécies (48 *Rhinella abei*, 44 *Proceratophrys boiei*, 42 *Aplastodiscus albosignatus*, 42 *Scythrophrys sawayae*, 24 *Bokermannohyla circumdata* 19 *Leptodactylus notoaktites*, 16 *Boana semiguttata* e 15 *Ischnocnema henselii*). Apenas um indivíduo de *L. notoaktites*, um de *I. henselii*, quatro de *B. semiguttata* e três de *A. albosignatus* não apresentaram conteúdo alimentar no trato gastrointestinal. A ordem Coleoptera foi uma categoria importante na dieta de várias espécies, sendo a presa mais importante na dieta

dos hilídeos *A. albosignatus* (IIR = 85,7%) e *B. semiguttata* (IIR = 71,4%) e a segunda presa mais importante na dieta de *P. boiei* (IRI = 26,4%), *I. henselii* (IIR = 21,4%), *S. sawayae* (IIR = 17,7%) e *R. abei* (IIR = 14%), (Tabela 1). As formigas foram as presas mais importantes na dieta de *R. abei* (IIR = 83%) e *S. sawayae* (55,8%), e foram a segunda categoria de presa mais importante para *L. notoaktites* (35%), (Tabela 1). As aranhas foram presas importantes somente na dieta de *L. notoaktites* (IIR = 57%), anfípodos somente na dieta de *I. henselii* (IIR = 27,9%) e ortópteros na dieta de *P. boiei* (IIR = 46,8%), configurando as principais presas consumidas por essas espécies. A ordem Blattodea foi a principal presa na dieta de *B. circumdata* (IIR = 61,2%) e a terceira presa mais importante de *I. henselii* (IIR = 20,5%). Larvas de lepidópteros foram a segunda presa mais consumida por *B. semiguttata* (IIR = 22%). Ácaros foram a terceira categoria de presas mais importante para *S. sawayae* (IIR = 12%), não sendo uma presa importante para as demais espécies. A ordem Ostracoda também foi importante somente para uma espécie, *B. circumdata*, sendo a segunda principal categoria de presa consumida. As informações sobre frequência de ocorrência, volume e número de presas consumidas para cada espécie estão detalhadas no material suplementar (S1 – S8).

2.3.2 Amplitude e sobreposição de nicho trófico

A amplitude dos nichos das espécies avaliadas variou desde um nicho muito estreito, como em *R. abei* ($B_{sta} = 0,01$) até um nicho amplo, como *I. henselii* ($B_{sta} = 0,62$), (Tabela 1). Em ordem crescente, *L. notoaktites* teve uma amplitude de 0,26, *S. sawayae* de 0,34, *A. albosignatus* de 0,36, *B. circumdata* de 0,46, *P. boiei* de 0,50 e *B. semiguttata* de 0,59 (Tabela 1). As espécies com as maiores sobreposições entre seus nichos foram *R. abei* e *S. sawayae* ($O_{jk} = 0,96$) além de *A. albosignatus* e *B. semiguttata* ($O_{jk} = 0,95$), (Tabela 4). As espécies *B. circumdata* e *B. semiguttata* tiveram uma baixa sobreposição de nicho ($O_{jk} = 0,09$). *Ischnocnema henselii* teve uma sobreposição de cerca de 50% com as espécies de hábito arbóreo, *B. circumdata*, *B. semiguttata* e *A. albosignatus*. *Proceratophrys boiei* teve uma sobreposição de nicho baixa com as espécies de hábito terrestre *R. abei*, *L. notoaktites*, *S. sawayae* e ($O_{jk} = 0,08$, 0,11 e 0,14, respectivamente), e uma sobreposição mais alta com *I. henselii* ($O_{jk} = 0,37$).

2.3.3 Seletividade de presas

Segundo o índice de eletividade de Jacobs, todas as espécies selecionaram alguma categoria de presa ($D > 0,50$) (Tabela 2 e 3). Contudo, esses resultados devem ser

vistos com cautela, levando em consideração possíveis problemas na amostragem da disponibilidade ou dos indivíduos coletados, os quais serão abordados na discussão do trabalho.

2.3.4 Relação morfometria e dieta

Para as espécies *I. henselii* e *R. abei* o volume das presas consumidas teve correlação positiva e significativa com a largura da mandíbula ($p = 0,0001$; $R^2 = 0,83$; $p = 0,001$; $R^2 = 0,22$, respectivamente), CRC ($p = 0,0001$; $R^2 = 0,83$; $p = 0,003$; $R^2 = 0,19$) e massa dos indivíduos ($p = 0,001$; $R^2 = 0,83$; $p = 0,001$; $R^2 = 0,23$). Para *P. boiei*, o volume teve correlação somente com CRC ($p = 0,04$; $R^2 = 0,10$) e peso ($p = 0,02$; $R^2 = 0,11$). A riqueza de presas teve correlação positiva com o tamanho da mandíbula somente para *R. abei* ($p = 0,02$; $R^2 = 0,12$). Apesar disso, o valor de R^2 foi alto somente considerando a espécie *I. henselii*. Não houve correlação entre morfometria e a dieta das demais espécies.

Tabela 1: Categorias de presas encontradas no conteúdo gastrointestinal das espécies avaliadas. Legenda: *Ln* = *Leptodactylus notoaktites*, *Pb* = *Proceratophrys boiei*, *Ss* = *Scythrophrys sawayae*, *Ra* = *Rhinella abei*, *Ih* = *Ischnocnema henselii*, *Bc* = *Bokermannohyla circumdata*, *Bs* = *Boana semiguttata*, *Aa* = *Aplastodiscus albosignatus*, IIR% = Índice de Importância Relativa, *Bsta* = amplitude de nicho trófico. Números em vermelho indicam altos valores de IIR. ¹Espécies terrestres; ²espécies arborícolas.

	<i>Ln</i> ¹ IIR%	<i>Pb</i> ¹ IIR%	<i>Ss</i> ¹ IIR%	<i>Ra</i> ¹ IIR%	<i>Ih</i> ¹ IIR%	<i>Bc</i> ² IIR%	<i>Bs</i> ² IIR%	<i>Aa</i> ² IIR%
Hymenoptera								
Formicidae	35,58	0,65	55,83	83,33	2,89	4,7	-	5,32
Apidae	-	-	-	0,21	-	-	-	-
Vespidae	-	0,19	-	0,13	1,71	-	-	-
Araneae	57,15	7,69	1,11	0,35	9,8	-	6,49	3,13
Amphipoda	-	1,36	3,72	0,53	27,87	-	-	-
Lepidoptera (larvae)	0,73	0,35	-	0,37	-	-	22,01	-
Coleoptera	0,62	26,39	17,75	14,07	21,38	6,4	71,39	85,68
Orthoptera	-	46,8	-	0,2	2,7	-	-	0,95
Acarina	-	-	12,09	0,01	1,3	1,17	0,12	0,58
Blattodea	1,26	5,5	0,02	0,01	20,5	61,19	-	1,24
Ostracoda	0,31	-	-	-	-	18,75	-	1,73
Gastropoda	0,30	2,57	0,03	0,01	-	-	-	-
Diplopoda	-	0,17	-	0,19	-	1,49	-	-
Hemiptera	3,39	-	-	0,24	1,53	1,83	-	-
Coleoptera (larvae)	-	-	1,41	0,26	1,62	1,17	-	-

Dermaptera	-	-	-	0,01	-	-	-
Quilopoda	-	5,6	-	0,01	-	-	-
Collembola	-	-	1,91		1,37	-	-
Pseudoscorpionida	-	-	0,03	0,01	-	-	-
Isopoda	-	0,67	5,39	0,04	7,36	-	-
Opilionida	-	0,18		0,04	-	-	-
Diptera	-	0,16	0,65	-	-	-	0,76
Lepidoptera	-	1,7	-	-	-	3,29	0,62
Ephemeroptera	-	-	-	0,01	-	-	-
Mantodea	0,30	-	-	0,01	-	-	-
Diptera (larvae)	-	-	0,03	0,01	-	-	-
Bsta	0,26	0,50	0,34	0,01	0,62	0,46	0,59
							0,36

Tabela 2: Índice de eletividade de presas das espécies de serapilheira *Leptodactylus notoaktites* (*Ln*), *Proceratophrys boiei* (*Pb*), *Scythrophrys sawayae* (*Ss*), *Ra* = *Rhinella abei* (*Ra*), *Ischnocnema henselii* (*Ih*). Legenda: Disp = Disponibilidade de presas do solo, n% = número de presas, D = índice de eletividade de Jacobs. Valores em vermelho indicam seleção de presa.

Categorias de presas	Disp.	<i>Ln</i>		<i>Ss</i>		<i>Ih</i>		<i>Ra</i>		<i>Pb</i>	
		n%	D	n%	D	n%	D	n%	D	n%	D
Hymenoptera											
Formicidae	0,31	0,46	0,30	0,35	0,09	0,08	-0,67	0,84	0,84	0,04	-0,85
Apidae	0	0	-	0	-	0	-	0,01	1,00	0	-
Vespidae	0,01	0	-1	0	-1	0,04	0,85	0,01	0,42	0,02	0,67
Araneae	0,17	0,27	0,30	0,03	-0,69	0,08	-0,37	0,01	-0,91	0,11	-0,25
Amphipoda	0,10	0	-1	0,05	-0,32	0,25	0,51	0,01	-0,76	0,07	-0,16
Isopoda	0,10	0	-1	0,08	-0,13	0,08	-0,11	0,00	-0,94	0,04	-0,51
Coleoptera	0,09	0,03	-0,55	0,16	0,32	0,17	0,35	0,07	-0,09	0,18	0,39
Quilopoda	0,02	0,03	0,10	0	-1	0	-1	0,00	-0,94	0,09	0,62
Acarina	0,02	0	-1	0,17	0,80	0,04	0,31	0,00	-0,94	0	-1
Collembola	0,04	0	-1	0,07	0,36	0,04	0,07	0	-1	0	-1
Gastropoda	0,01	0,03	0,29	0,01	-0,45	0	-1	0,00	-0,84	0,07	0,67
Diplopoda	0,02	0	-1	0	-1	0	-1	0,00	-0,60	0,02	0,06
Hemiptera	0,02	0,08	0,70	0	-1	0,04	0,47	0,01	-0,44	0	-1
Coleoptera (larvae)	0,01	0	-1	0,04	0,63	0,04	0,64	0,01	-0,04	0	-1
Orthoptera	0,01	0	-1	0	-1	0,04	0,69	0,00	-0,33	0,23	0,95
Blatodea	0,02	0,03	0,09	0,01	-0,60	0,08	0,59	0,00	-0,89	0,07	0,54
Dermaptera	0,00	0	-1	0	-1	0	-1	0,00	-0,56	0	-1
Pseudoscorpionida	0,01	0	-1	0,01	-0,27	0	-1	0,00	-0,87	0	-1
Lepidoptera (larvae)	0,001	0,03	0,94	0	-1	0	-1	0,00	-0,82	0,02	0,92
Opilionida	0,001	0	-1	0	-1	0	-1	0,00	-0,19	0,02	0,64
Diptera	0,01	0	-1	0,02	0,35	0	-1	0	-1	0,02	0,37
Ephemeroptera	0	0	-	0	-	0	-	0,001	1,00	0,02	-0,07
Lepidoptera	0,002	0	-1	0,002	-1	0,002	-1	0	-	0,02	0,84

2.4 DISCUSSÃO

Este trabalho traz informações inéditas em relação a ecologia alimentar das espécies *Rhinella abei*, *Scythrophrys sawayae*, *Leptodactylus notoaktites*, *Bokermannohyla circumdata*, *Boana semiguttata* e *Aplastodiscus albosignatus*, além de novas informações acerca da dieta de populações de *Ischnocnema henselii* e *Proceratophrys boiei* dos Mananciais da Serra, estado do Paraná.

De forma geral, os besouros foram presas importantes na maioria das espécies avaliadas, com exceção de *L. notoaktites* e *B. circumdata*. Apesar disso, Coleoptera foi registrada como uma presa frequente na dieta de vários leptodactilídeos (Carvalho et al. 2008, Piatti & Souza 2011, Sugai et al. 2012, Camera et al. 2014, Solé et al. 2019) e como a presa mais importante na dieta de *Bokermannohyla pseudopseudis* (De Magalhães et al. 2016). A ordem Coleoptera é frequentemente relatada como presa importante também na dieta de hilídeos (Muñoz-guerrero et al. 2007a, Barbosa et al. 2014, Pacheco et al. 2017, Moser et al. 2019) e bufonídeos (Batista et al. 2011, De Oliveira et al., 2017, Sabagh et al. 2012). Devido à alta riqueza desse grupo, bem como sua abundância no ambiente, besouros tornam-se presas de fácil encontro e consumo para várias espécies. No presente estudo, a ordem Coleoptera foi a segunda presa mais abundante no estrato arbóreo e a quinta mais abundante na serapilheira. Além disso, segundo o índice de Jacobs, foi registrado uma preferência alimentar de *A. albosignatus* e *B. semiguttata* por coleópteros. Contudo, é necessário que haja um esforço amostral maior para podermos entender melhor essa possível preferência, uma vez que neste estudo apresentamos um número baixo de indivíduos com conteúdo gastrointestinal.

As formigas foram categorias de presas importantes somente na dieta de *Rhinella abei*, *Scythrophrys sawayae* e *Leptodactylus notoaktites*. Aparentemente, *P. boiei* evita o consumo de formigas, já que esse padrão também foi registrado para outras populações no estado de São Paulo (Giaretta et al. 1998), Espírito Santo (Teixeira et al. 2002) e Rio de Janeiro (Klaion et al. 2011). A baixa importância de formigas registrada na dieta de outras espécies de *Proceratophrys* indica que esse padrão possivelmente possa se estender ao gênero de uma forma geral (Moreira & Barreto 1996, Boquimpani-Freitas et al. 2002, Almeida-Santos et al. 2017). Em relação aos hilídeos, neste estudo representados pelas espécies *Bokermannohyla circumdata*, *Boana semiguttata* e *Aplastodiscus albosignatus*, o consumo de formigas também aparenta ser evitado em várias outras espécies (Muñoz-guerrero et al. 2007, De Magalhães et al. 2016, de Oliveira et al. 2017,

Moser et al. 2019). Diferentemente dos resultados encontrados nesse estudo, *I. henselii* já foi caracterizado como predadores preferenciais de formigas (Dietl et al. 2009), as quais já foram registradas como a segunda categoria mais importante na dieta da espécie (Santos-Pereira et al. 2015). Apesar de serem presas geralmente muito abundantes no ambiente, várias espécies de anfíbios evitam o consumo desse tipo de presa devido ao seu exoesqueleto rígido, ácido fórmico e quinonas (Hirai & Matsui 2002). Contudo, é plausível considerar que isso não se aplique à várias espécies, como *R. abei*, *S. sawayae* e *L. notoaktites*, que consumiram formigas com frequência e demonstram ter condições fisiológicas eficientes para digerir e metabolizar essas presas. É interessante observar que ácaros foram presas relevantes somente na dieta de *S sawayae*, sendo possível observar também uma preferência alimentar por essa categoria de presa ($D = 0,80$). É possível que os ácaros sejam itens importantes na dieta de espécies de pequeno porte que forrageiam na serapilheira (Lima & Magnusson 1998, Van Sluys et al. 2001, Martins et al. 2010, Almeida-Santos et al. 2011, Santos-Pereira et al. 2015).

Apesar de aranhas serem frequentemente registradas como presas importantes na dieta de hilídeos (De Magalhães et al. 2016, de Oliveira et al. 2017, Pacheco et al. 2017, Moser et al. 2019), esse padrão não foi encontrado no presente estudo, ainda que as aranhas tenham sido a categoria de presa mais abundante disponível no estrato arbóreo avaliado. A ordem Araneae foi importante somente para *L. notoaktites*, sendo a principal categoria de presa consumida (57%). Não existem informações disponíveis acerca da dieta dessa espécie, contudo, aranhas não foram presas de grande relevância para *L. spixi* (Solé et al. 2019), *L. elenae* (Piatti & Souza 2011) e *L. mystaceus* (Camera et al. 2014), espécies que pertencem ao mesmo grupo que *L. notoaktites*. O alto consumo de aranhas por *L. notoaktites* pode estar relacionado com a abundância delas no ambiente, uma vez que foram a segunda categoria de presas mais registradas na serapilheira.

Em relação aos hilídeos, vários indivíduos das três espécies analisadas apresentaram o estômago e intestino vazio, ou apenas com conteúdo alimentar muito digerido, não sendo possível identificar quais as presas consumidas (indicado como “outros” nas tabelas do material suplementar). Esse padrão foi encontrado também para outros hilídeos (Da Silva & De Britto-Pereira 2006, Duré & Kehr 2004, Menin et al. 2005, Solé & Pelz 2007). Além disso, considerando os indivíduos que apresentaram conteúdo gastrointestinal identificável, a grande maioria possuía apenas uma ou duas presas no estômago e/ou intestino. Parmelee (1999) observou que as espécies pertencentes a família Hylidae tendem a ter uma maior porcentagem de estômagos vazios e consomem um

número menor de presas quando comparado com anfíbios de outras famílias. Existe uma quantidade menor de informações disponíveis acerca da dieta de anfíbios arbóreos em comparação aos anfíbios terrestres (Lima et al., 2010). Isso acontece devido à dificuldade de coleta dessas espécies e por serem encontradas, em sua grande maioria, somente durante a atividade reprodutiva, período em que hílídeos se alimentam menor e priorizam a reprodução (Solé & Pelz 2007).

A amplitude de nicho das espécies avaliadas variou desde um nicho muito estreito ($Bsta = 0,01$), no caso de *R. abei* até um nicho bastante amplo ($Bsta = 0,62$), de *I. henselii*. Essa amplitude de nicho estreita encontrada para *R. abei* já foi registrada também para outras espécies do gênero (Isacch & Barg 2002, Sabagh & Carvalho-e-Silva 2008, Ferreira & Teixeira 2009). Os bufonídeos são caracterizados por terem uma dieta generalista e similar (Duellman & Trueb 1994, Parmelee 1999, Sabagh et al. 2012) ainda que muitas vezes apresentem um nicho estreito (característica de espécies especialistas). Entretanto, devido ao nicho estreito, algumas espécies desse gênero já foram consideradas especialistas em formigas, como *R. arenarum*, *R. dorbignyi* (Isacch & Barg 2002) e *R. granulosa* (Damasceno 2005). Além disso, Ferreira & Teixeira (2009) e da Rosa et al. (2002) caracterizaram *R. crucifer* e *R. gr. granulosa* como especialistas em formiga, ainda que não tenham avaliado a disponibilidade de presas no ambiente. No presente estudo, *R. abei* apresentou uma forte seleção por formigas, as quais compuseram mais de 80% da dieta da espécie. Essa discrepância em relação às demais categorias de presas consumidas resultou em uma amplitude de nicho muito estreita. Segundo (Pianka 2017), a amplitude estreita de nicho trófico é favorecida por um grande número de recursos disponíveis. Em outras palavras, com uma grande abundância de presas disponíveis, as espécies podem optar por se alimentar de presas de sua preferência.

Leptodactylus notoaktites apresentou uma amplitude trófica um pouco mais ampla ($Bsta = 0,26$). As espécies da família Leptodactylidae, em geral, são consideradas generalistas em relação a alimentação devido ao seu forrageio do tipo senta-espera (Solé et al. 2019, Sugai et al. 2012, Toft 1981). Na literatura, o gênero *Leptodactylus* apresenta amplitudes de nicho trófico bastante variadas, tanto estreitas como amplas (França et al. 2004, Araújo et al. 2007, Solé et al. 2009, Schaefer et al. 2015, De Oliveira et al. 2019). Essa grande variação na amplitude dessas espécies pode ter relação com a abundância de presas disponíveis no ambiente. De Oliveira et al. (2019) registrou que *L. latrans* diminuiu a amplitude de nicho durante os meses mais quentes, período em que geralmente

há mais presas disponíveis no ambiente (Yom-Tov and Geffen 2006), demonstrando assim um comportamento oportunista da espécie.

As demais espécies *S. sawayae*, *A. albosignatus*, *B. circumdata*, *P. boiei*, *B. semiguttata* e *I. henselii* tiveram maiores amplitudes de nicho ($B_{sta} = 0,34, 0,36, 0,46, 0,50, 0,59, 0,62$, respectivamente), demonstrando uma dieta generalista. O mesmo padrão generalista foi encontrado também para outras populações de *P. boiei* e *I. henselii* (Teixeira et al. 2002, Dietl et al. 2009, Santos-Pereira et al. 2015) e para outras espécies de hilídeos (Barbosa et al. 2014, De Oliveira et al. 2019, Moser et al. 2019, Sabagh et al. 2010). Em um estudo com *Aplastodiscus perviridis*, o nicho trófico registrado ($B_{sta} = 0,27$) foi mais estreito do que para a espécie congênere neste estudo ($B_{sta} = 0,36$), e foi considerado que a espécie teve uma dieta mais especializada que a maioria dos hilídeos no período estudado (De Oliveira et al. 2017).

O índice de eletividade de Jacobs apontou que todas as espécies selecionam ao menos uma categoria de presa. Apesar do grande esforço amostral investido para reunir dados acerca da disponibilidade de presas, não podemos deixar de considerar que a amostragem tenha sido insuficiente para algumas categorias de presas. Por exemplo, as espécies *P. boiei*, *A. albosignatus* e *B. circumdata* apresentaram seleção por lepidópteros, presas difíceis de amostrar tanto no estrato arbóreo quanto na serapilheira. Da mesma forma, as categorias de presas Blattodea, Quilopoda, Opilionida e larvas de Coleoptera foram pouco representativas na serapilheira (menos de 2%). Isso pode ter acontecido uma vez que essas presas são muito comuns debaixo de troncos ou em cascas de árvores, locais que não foram amostrados. Assim, a seleção dessas categorias de presas por espécies como *P. boiei* (Blattodea, Quilopoda e Opilionida), *L. notoaktites* (larvas de Coleoptera) e *I. henselii* (Blattodea e larvas de Coleoptera) deve ser vista com cautela. Contudo, podemos considerar que a espécie esteja deslocando-se até os locais onde esses invertebrados se encontram (ex. embaixo de troncos) para se alimentar deles, isso configuraria uma seleção. Feito essas ressalvas, é interessante destacar a seleção de *P. boiei* por Orthoptera e de *I. henselii* por Amphipoda, ambas presas que foram importantes na dieta das espécies. Em relação à *P. boiei*, outros trabalhos já registraram a importância dessa presa na dieta de outras populações (Giaretta et al. 1998; Klaion et al. 2011), bem como para outras espécies do mesmo gênero (Moreira & Barreto 1996, Boquimpani-Freitas et al. 2002, Almeida-Santos et al. 2017). Dessa forma, é factível considerar que *P. boiei* esteja selecionando essas presas. Já em relação à *I. henselii*, os demais estudos de dieta com essa espécie não registraram Amphipoda como uma presa importante (Dietl et

al., 2009; Santos-Pereira et al., 2015). Apesar disso, acreditamos que essa espécie esteja sim selecionando anfípodos no ambiente, uma vez que esses invertebrados foram bem amostrados na serapilheira.

De forma geral, a sobreposição de nicho entre as espécies foi baixa, com exceção de *S. sawayae* e *R. abei*, *A. albosignatus* e *B. semiguttata*, que tiveram uma sobreposição de nicho trófico de 96% e 95%, respectivamente. É possível que a alta sobreposição de nicho entre *S. sawayae* esteja relacionada com a grande diferença de tamanho entre as espécies. Dessa forma, apesar de estarem consumindo presas pertencentes a mesma ordem, *S. sawayae* está condicionado a predação somente presas pequenas devido ao seu tamanho diminuto, enquanto *R. abei* consegue predação formigas e besouros maiores. Isso ocorre devido ao tamanho corporal, como a largura da mandíbula, ser um fator limitante no consumo de presas em espécies pequenas (Menzies & Parker 2018, Menin et al. 2005). A alta sobreposição de nicho registrada para *A. albosignatus* e *B. semiguttata* se deve, principalmente, a alta importância da ordem Coleoptera, que foi também uma das presas mais abundantes no estrato arbóreo.

É interessante observar que *P. boiei* e *I. henselii*, espécies terrestres, tiveram uma sobreposição de nicho mediana com as espécies arbóreas (*Bokermannohyla circumdata*, *Boana semiguttata* e *Aplastodiscus albosignatus*). Essa sobreposição se deve, principalmente, ao consumo frequente da ordem Coleoptera por essas espécies. Porém, como Coleoptera é uma ordem de invertebrados muito diversa, é possível que a sobreposição seja menor entre espécies terrestres e arbóreas se as presas forem identificadas em nível de família ou gênero.

A relação entre volume de presas consumidas e tamanho do predador é um padrão já registrado para vários anfíbios (Klaion et al. 2011, Santos-Pereira et al. 2015, Almeida-Santos et al. 2017). Uma vez que os anfíbios são animais que engolem a presa inteira, a largura da mandíbula (e, conseqüentemente, o CRC) seja um fator limitante em relação ao tamanho da presa consumida (Toft 1980). No presente estudo, esse padrão foi encontrado apenas para as espécies de serapilheira *S. sawayae*, *R. abei* e *I. henselii*. Além disso, foi registrado para *R. abei* que a riqueza de presas consumidas aumenta com o tamanho dos indivíduos. Anfíbios maiores, com mandíbulas mais largas, conseguem consumir presas de variados tamanhos, tanto presas pequenas quanto grandes. Isso amplia a quantidade de categorias de presas que esses indivíduos podem se alimentar em relação a indivíduos menores, que estão aptos a consumir somente categorias de presas que sejam pequenas (Batista et al. 2011, Sales et al. 2011). Apesar de termos encontrado esses

padrões, o coeficiente de determinação (R^2) foi alto somente para a espécie *I. henselli*. É possível que este padrão não tenha sido registrado para as outras espécies devido ao número de indivíduos amostrados, bem como a baixa quantidade de alimento consumido principalmente pelas espécies arbóreas.

O presente trabalho contribui com novas informações acerca da ecologia trófica das espécies avaliadas. A baixa sobreposição de nicho trófico observada entre as espécies da comunidade avaliada sugere que a disponibilidade de presas no ambiente é alta, facilitando a partição de recursos e podendo evitar interações competitivas. De forma geral, as espécies demonstraram um comportamento alimentar generalista. Apesar de *R. abei* ter demonstrado uma dieta especializada em formiga na janela temporal avaliada, a riqueza elevada de presas consumidas revela um comportamento generalista, porém, com hábitos oportunistas.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, CNPq e Fundação Araucária, agências de fomento que tornaram este trabalho possível. Agradecemos também ao Instituto Ambiental do Paraná pela permissão para trabalhar no local do estudo. As autorizações para coleta de espécimes e gravações foram expedidas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (licença ICMBio nº 66853-1).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-SANTOS M, SIQUEIRA CC, ANJOS LA, ET AL. 2017. Ecological aspects of the horned leaf-frog *Proceratophrys mantiqueira* (Odontophrynidae) in an atlantic rainforest area of southeastern Brazil. *Salamandra* 53:413–422
- ALMEIDA-SANTOS M, SIQUEIRA CC, VAN SLUYS M, ROCHA CFD. 2011. Ecology of the Brazilian flea frog *Brachycephalus didactylus* (Terrarana: Brachycephalidae). *J Herpetol* 45:251–255. <https://doi.org/10.1670/10-015.1>
- ANDERSON AM, HAUKOS DA, ANDERSON JT. 1999. Diet Composition of Three Anurans from the Playa Wetlands of Northwest Texas Reviewed work (s): Diet Composition of Three Anurans from the Playa Wetlands of Northwest Texas. *Copeia* 1999:515–520
- ARAÚJO MS, REIS SF, GIARETTA AA, BOLNICK DI. 2007. Intrapopulation Diet Variation in Four Frogs (Leptodactylidae) of the Brazilian Savannah. *Copeia* 2007:855–865. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2007\)7](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2007)7)
- BARBOSA AS, DE OLIVEIRA M, LEAL AL, ET AL. 2014. Diet of *Hypsiboas leptolineatus* (Braun and Braun, 1977) (Amphibia: Anura: Hylidae) during the breeding season. *Herpetol Notes* 7:505–508
- BATISTA R DE C, DE-CARVALHO CB, DE FREITAS EB, ET AL. 2011. Diet of *Rhinella schneideri* (Werner, 1894) (Anura: Bufonidae) in the Cerrado, Central Brazil. *Herpetol Notes* 4:17–21
- BOQUIMPANI-FREITAS L, ROCHA CFD, SLUYS M VAN. 2002. Ecology of the Horned Leaf-Frog, *Proceratophrys appendiculata* (Leptodactylidae), in an Insular Atlantic Rain-Forest Area of Southeastern Brazil. *J Herpetol* 36:318. <https://doi.org/10.2307/1566011>
- CAMERA BF, KRINSKI D, CALVO IA. 2014. Diet of the Neotropical frog

- Leptodactylus mystaceus* (Anura: Leptodactylidae). Herpetol Notes 7:31–36
- CARVALHO C, FREITAS E, FARIA R, ET AL. 2008. História natural de *Leptodactylus mystacinus* e *Leptodactylus fuscus* (Anura: Leptodactylidae) no Cerrado do Brasil Central. Biota Neotrop 8:105–115
- CRUMP ML, SCOTT NJ. 1994. Visual encounter surveys. In: Heyer WR, Donnelly MA, McDiarmid RW, Hayek LAC, Foster MS, editors. Measuring and Monitoring Biological Diversity—Standard Methods for Amphibians. Washington, USA: Smithsonian Institution Press. p. 84—83.
- DA ROSA I, CANAVERO A, MANEYRO R, ET AL. 2002. Diet of Four Sympatric Anuran Species in a Temperate Environment. Boletín la Soc Zoológica Uruguay 13:12–20
- DA SILVA HR, DE BRITTO-PEREIRA MC. 2006. How much fruit do fruit-eating frogs eat? An investigation on the diet of *Xenohyla truncata* (Lissamphibia: Anura: Hylidae). J Zool 270:692–698. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00192.x>
- DA SILVA JD, MOSER CF, DUTRA-ARAÚJO D, ET AL. 2018. Diet of *Pseudopaludicola falcipes* (Anura: Leptodactylidae) in southern Brazil. Herpetol Notes 11:911–913
- DE MAGALHÃES RF, GARDA AA, MARQUES NCS, BRANDÃO RA. 2016. Sexual dimorphism and resource utilisation by the Veadeiros waterfall frog *Bokermannohyla pseudopseudis* (Anura: Hylidae). Salamandra 52:171–177
- DE OLIVEIRA EG, HADDAD CFB. 2015. Diet Seasonality and Feeding Preferences of *Brachycephalus pitanga* (Anura: Brachycephalidae). J Herpetol 49:252–256. <https://doi.org/10.1670/13-211>
- DE OLIVEIRA M, DALZUCHIO MS, DA SILVA DOS SANTOS NLP, TOZETTI AM. 2019. Prey Selection by Anurans in Subtemperate Swamps of the Extreme

- South of Brazil. *South Am J Herpetol* 14:204–212. <https://doi.org/10.2994/SAJH-D-17-0005>
- DE OLIVEIRA M, GOTTSCHALK MS, LOEBMANN D, ET AL. 2015. Diet composition and niche overlap in two sympatric species of *Physalaemus* (Anura, Leptodactylidae, Leiuperinae) in coastal subtemperate wetlands. *Herpetol Notes* 8:173–177
- DE OLIVEIRA M, MOSER CF, DE AVILA FR, ET AL. 2017. Dieta de *Aplastodiscus perviridis* Lutz 1950 (Anura, Hylidae) em florestas subtemperadas do sul do Brasil. *Neotrop Biol Conserv* 12:181–184. <https://doi.org/10.4013/nbc.2017.123.03>
- DE OLIVEIRA RM, SCHILLING AC, SOLÉ M. 2018. Trophic ecology of two *Pithecopus* species (Anura: Phyllomedusidae) living in syntopy in southern Bahia, Brazil. *Stud Neotrop Fauna Environ* 54:10–21. <https://doi.org/10.1080/01650521.2018.1485313>
- DIETL J, ENGELS W, SOLÉ M. 2009. Diet and feeding behaviour of the leaf-litter frog *Ischnocnema henselii* (Anura: Brachycephalidae) in Araucaria rain forests on the Serra Geral of Rio Grande do Sul, Brazil. *J Nat Hist* 43:1473–1483. <https://doi.org/10.1080/00222930902898709>
- DUELLMAN WE, TRUEB L. 1994. *Biology of Amphibians*, 2nd edn. The Johns Hopkins University Press, Baltimore
- DURÉ MI, KEHR A. 2001. Differential Exploitation of Trophic Resources by Two *Pseudis* Frogs from. *J Herpetol* 35:340–343. <https://doi.org/10.2307/1566129>
- DURÉ MI, KEHR AI. 2004. Influence of microhabitat on the trophic ecology of two leptodactylids from northeastern Argentina. *Herpetologica* 60:295–303. <https://doi.org/10.1655/03-51>
- FARINA RK, MOSER CF, WITT P, ET AL. 2018. Diet of *Physalaemus henselii*

- (Peters, 1872) (anura, leptodactylidae) in southern Brazil. Herpetol Notes 11:1001–1002
- FERREIRA JCV. 1996. O Paraná e seus municípios. Maringá, Memória Brasileira, 728 p.
- FERREIRA RB, TEIXEIRA RL. 2009. Feeding pattern and use of reproductive habitat of the Striped toad *Rhinella crucifer* (Anura: Bufonidae) from Southeastern Brazil. Acta Herpetol 4:125–134. https://doi.org/10.13128/Acta_Herpetol-3414
- FRANÇA LF, FACURE KG, GIARETTA AA. 2004. Trophic and spatial niches of two large-sized species of *Leptodactylus* (Anura) in southeastern Brazil. Stud Neotrop Fauna Environ 39:243–248. <https://doi.org/10.1080/01650520400007330>
- GIARETTA AA, ARAÚJO MS, MEDEIROS HF DE, FACURE KG. 1998. Food habits and ontogenetic diet shifts of the litter dwelling frog *Proceratophrys boiei* (Wied). Rev Bras Zool 15:385–388. <https://doi.org/10.1590/s0101-81751998000200011>
- GUERRA V, LLUSIA D, GAMBALE PG, ET AL. 2018. The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. PLoS One 13:1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191691>
- HADDAD CFB, SEGALLA MV, BATAUS YS DE L, ET AL. 2018. *Hypsiboas semiguttatus* (A. Lutz, 1925). In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ed) Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume V - Anfíbios, V. ICMBio, Brasília, p 128
- HAYWARD MW, HAYWARD GJ, TAMBLING CJ, KERLEY GIH. 2011. Do lions *Panthera leo* actively select prey or do prey preferences simply reflect chance responses via evolutionary adaptations to optimal foraging? PLoS One 6:1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023607>
- HELLAWELL JM, ABEL R. 1971. A rapid volumetric method for the analysis of the

- food of fishes. *J Fish Biol* 3:29–37. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1971.tb05903.x>
- HIRAI T, MATSUI M. 2002. Feeding ecology of *Bufo japonicus formosus* from the Montane Region of Kyoto, Japan. *J Herpetol* 36:719–723. [https://doi.org/10.1670/0022-1511\(2002\)036\[0719:FEOBJF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1670/0022-1511(2002)036[0719:FEOBJF]2.0.CO;2)
- ISACCH JP, BARG M. 2002. Are bufonid toads specialized ant-feeders? A case test from the Argentinian flooding pampa. *J Nat Hist* 36:2005–2012. <https://doi.org/10.1080/00222930110092153>
- JACOBS J. 1974. Quantitative Measurements. *Oecologia* 14:413–417. <https://doi.org/10.1385/1-59259-055-1:51>
- KLAION T, ALMEIDA-GOMES M, TAVARES LER, ET AL. 2011. Diet and nematode infection in *Proceratophrys boiei* (Anura: Cycloramphidae) from two atlantic rainforest remnants in Southeastern Brazil. *An Acad Bras Cienc* 83:1303–1312. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652011000400017>
- KREBS CL (1999) *Ecological Methodology*. Harper & Row, New York
- LIMA AP, MAGNUSSON WE. 1998. Partitioning seasonal time: Interactions among size, foraging activity and diet in leaf-litter frogs. *Oecologia* 116:259–266. <https://doi.org/10.1007/s004420050587>
- LIMA JE DE P, RÖDDER D, SOLÉ M. 2010. Diet of two sympatric *Phyllomedusa* (Anura: Hylidae) species from a cacao plantation in southern Bahia, Brazil. *North West J Zool* 6:13–24
- LÓPEZ JA, SCARABOTTI PA, MEDRANO MC, GHIRARDI R. 2009. Is the red spotted green frog *Hypsiboas punctatus* (Anura: Hylidae) selecting its preys? The importance of prey availability. *Rev Biol Trop* 57:847–857. <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5497>

- LURÍA-MANZANO R, RAMÍREZ-BAUTISTA A. 2019. Ontogenetic variation in the diet of the anuran community from a semi-arid environment in the southeastern Chihuahuan Desert. PeerJ 1–16. <https://doi.org/10.7717/peerj.7908>
- MARAGNO FP, SOUZA FL. 2011. Diet of *Rhinella scitula* (Anura, Bufonidae) in the Cerrado, Brazil: The importance of seasons and body size. Rev Mex Biodivers 82:879–886. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.693>
- MARTINS ACJS, KIEFER MC, SIQUEIRA CC, ET AL. 2010 Ecology of *Ischnocnema parva* (Anura: Brachycephalidae) at the Atlantic Rainforest of Serra da Concórdia, state of Rio de Janeiro, Brazil. Zoologia 27:201–208. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000200007>
- MCELROY MT, DONOSO DA. 2019. Ant Morphology Mediates Diet Preference in a Neotropical Toad (*Rhinella alata*). Copeia 107:430–438. <https://doi.org/10.1643/CH-18-162>
- MENIN M, ROSSA-FERES D DE C, GIARETTA AA. 2005. Resource use and coexistence of two syntopic hylid frogs (Anura, Hylidae). Rev Bras Zool 22:61–72. <https://doi.org/10.1590/s0101-81752005000100008>
- MENZIES J, PARKER F. 2018. The natural history and head and shoulder anatomy of *Cornufer guentheri* (Anura , Ceratobatrachidae), a casque-headed frog of the Solomon Islands. Alytes 35:17–38
- MOREIRA G, BARRETO L. 1996. Alimentação e variação sazonal na frequência de capturas de anuros em duas localidades do Brasil central. Rev Bras Zool 13:313–320. <https://doi.org/10.1590/s0101-81751996000200002>
- MOSER CF, DE AVILA FR, DE OLIVEIRA M, TOZETTI AM. 2017. Diet composition and trophic niche overlap between two sympatric species of *Physalaemus* (Anura, Leptodactylidae, Leiuperinae) in a subtemperate forest of

- southern Brazil. *Herpetol Notes* 10:9–15
- MOSER CF, DE OLIVEIRA M, TOZETTI AM. 2020. Measuring the volume of prey in anuran trophic ecology studies: accuracy of three methods. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 1-4.
- MOSER CF, DE OLIVEIRA M, DE AVILA FR, ET AL. 2019. Diet and trophic niche overlap of *Boana bischoffi* and *Boana marginata* (Anura: Hylidae) in southern Brazil. *Biota Neotrop* 19:1–6. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0542>
- MUÑOZ-GUERRERO AJ, SERRANO VH, RAMÍREZ-PINILLA MP. 2007. Microhabitat use, diet and time of activity of four sympatric Neotropical hylid frogs (Anura: Hylidae). *Caldasia* 29:413–425
- OLIVEIRA M DE, AVILA FR DE, TOZETTI AM. 2017. Diet of *Rhinella arenarum* (Anura, Bufonidae) in a coastal habitat in southern Brazil. *Herpetol Notes* 10:507–510
- OLIVEIRA M DE, GOTTSCHALK MS, LOEBMANN D, ET AL. 2015. Diet composition and niche overlap in two sympatric species of *Physalaemus* (Anura, Leptodactylidae, Leiuperinae) in coastal subtemperate wetlands. *Herpetol Notes* 8:173–177
- PACHECO EO, FERREIRA VG, DE CARVALHO RMH. 2017. Diet of *Boana albopunctata* (Anura: Hylidae) in an Atlantic Forest fragment of southeastern Brazil. *Phyllomedusa* 16:57–62. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v16i1p57-62>
- PARANÁ. 1987. Atlas do estado do Paraná. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento, Intitutos de Terras, Cartografias e Florestas, Curitiba, IX+486p.
- PARMELEE JR. 1999. Trophic ecology of a tropical anuran assemblage. *Nat Hist Museum Univ Kansas* 11:1–60. <https://doi.org/10.2307/200303>

- PIANKA ER. 1973. The structure of lizard communities. *Annu Rev Ecol Syst* 4:53–74.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- PIANKA ER. 2017. *Ecology and Natural History of Desert Lizards: Analyses of the Ecological Niche and Community Structure*. Princeton University Press
- PIATTI L, SOUZA F. 2011. Diet and resource partitioning among anurans in irrigated rice fields in Pantanal, Brazil. *Brazilian J Biol* 71:653–661.
<https://doi.org/10.1590/s1519-69842011000400009>
- PINKAS L, OLIPHANT MS, IVERSON ILK. 1971. Food habits study. Food habits of albacore bluefin tuna and bonito in California waters. *Fish Bull* 152:1–105
- REBOUÇAS R, SOLÉ M. 2015. Diet of *Adenomera thomei* (Almeida and Angulo, 2006) (Anura: Leptodactylidae) from a rubber tree plantation in southern Bahia, Brazil. *Stud Neotrop Fauna Environ* 50:73–79.
<https://doi.org/10.1080/01650521.2015.1048613>
- REGINATO M, GOLDENBERG R. 2007. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. *Hoehnea* 34:349–360.
<https://doi.org/10.1590/s2236-89062007000300006>
- ROSSA-FERES DDC, GAREY MV, CARAMAS- U, ET AL. 2017. Anfíbios da Mata Atlântica: Lista de espécies, histórico dos estudos, biologia e conservação. In: Monteiro-Filho EL de A, Conte CE (eds) *Revisões em Zoologia*. Editora UFPR, Curitiba, pp 237–314
- SABAGH L, FERREIRA V, ROCHA C. 2010. Living together, sometimes feeding in a similar way: the case of the syntopic hylid frogs *Hypsiboas raniceps* and *Scinax acuminatus* (Anura: Hylidae) in the Pantanal of Miranda, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Brazilian J Biol* 70:955–959. <https://doi.org/10.1590/s1519->

69842010000500006

- SABAGH LT, CARVALHO-E-SILVA AMPT. 2008. Feeding overlap in two sympatric species of *Rhinella* (Anura: Bufonidae) of the Atlantic Rain Forest. *Rev Bras Zool* 25:247–253. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752008000200013>
- SABAGH LT, CARVALHO-E-SILVA AMPT, ROCHA CFD. 2012. Diet of the toad *Rhinella icterica* (Anura: Bufonidae) from Atlantic Forest Highlands of southeastern Brazil. *Biota Neotrop* 12:258–262. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032012000400027>
- SALES RFD, RIBEIRO LB, FREIRE EMX. 2011. Feeding ecology of *Ameiva ameiva* in a caatinga area of northeastern Brazil. *Herpetol J* 21:199–207
- SANTOS-PEREIRA M, ALMEID, A-SANTOS M, ET AL. 2015. Living in a same microhabitat should means eating the same food? Diet and trophic niche of sympatric leaf-litter frogs *Ischnocnema henselii* and *Adenomera marmorata* in a forest of Southern Brazil. *Brazilian J Biol* 75:13–18. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.04913>
- SCHAEFER EF, SCIENTIFIC N, SCIENTIFIC N, ET AL. 2015. Trophic , reproductive and parasitological aspects of the ecology of *Leptodactylus chaquensis* (Anura : Leptodactylidae) in Argentina. *Herpetol J* 16:51–56. [https://doi.org/10.31017/CdH.2018.\(2018-s1\)](https://doi.org/10.31017/CdH.2018.(2018-s1))
- SIH A, CHRISTENSEN B. 2001. Optimal diet theory: When does it work, and when and why does it fail? *Anim Behav* 61:379–390. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1592>
- SOLÉ M, BECKMANN O, PELZ B, ET AL. 2005. Stomach-flushing for diet analysis in anurans: An improved protocol evaluated in a case study in Araucaria forests, southern Brazil. *Stud Neotrop Fauna Environ* 40:23–28.

<https://doi.org/10.1080/01650520400025704>

- SOLÉ M, DIAS IR, RODRIGUES EAS, ET AL. 2019. Diet of *Leptodactylus spixi* (Anura: Leptodactylidae) from a cacao plantation in southern Bahia, Brazil. North West J Zool 15:62–66
- SOLÉ M, DIAS IR, RODRIGUES EAS, ET AL. 2009. Diet of *Leptodactylus ocellatus* (Anura : Leptodactylidae) from a cacao plantation in southern Bahia, Brazil. Herpetol Notes 2:9–15
- SOLÉ M, PELZ B. 2007. Do male tree frogs feed during the breeding season? Stomach flushing of five syntopic hylid species in Rio Grande do Sul, Brazil. J Nat Hist 41:2757–2763. <https://doi.org/10.1080/00222930701661282>
- SOLÉ M, RÖDDER D. 2010. Dietary assessments of adult amphibians. In: C.K. Dodd (ed) Amphibian ecology and conservation amphibians,. Oxford University Press, pp 167–184
- SUGAI JLMM, TERRA J DE S, FERREIRA VL. 2012. Dieta de *Leptodactylus fuscus* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) no Pantanal do rio Miranda, Brasil. Biota Neotrop 12:99–104. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000100008>
- TEIXEIRA RL, TEIXEIRA RL, COUTINHO ES, COUTINHO ES. 2002. Hábito alimentar de *Proceratophrys boiei* (Wied) (Amphibia, Anura, Leptodactylidae) em Santa Teresa, ESpirito Santo, sudeste do Brasil. Bol do Mus Biol Mello Leitão 14:13–20
- TOFT CA. 1981. Feeding ecology of Panamanian litter anurans: patterns in diet and foraging mode. J Herpetol 15:139–144. <https://doi.org/10.2307/1563372>
- TOFT CA. 1980. Feeding ecology of thirteen syntopic species of anurans in a seasonal tropical environment. Oecologia 45:131–141. <https://doi.org/10.1007/BF00346717>
- VAN SLUYS M, ROCHA CFD, SOUZA MB. 2001. Diet, reproduction, and density of

the leptodactylid litter frog *Zachaenus parvulus* in an atlantic rain forest of southeastern Brazil. J Herpetol 35:322–325. <https://doi.org/10.2307/1566124>

YOM-TOV Y, GEFFEN E. 2006. Geographic variation in body size: The effects of ambient temperature and precipitation. Oecologia 148:213–218. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0364-9>

ANEXO 1 – TABELAS COM DADOS GERAIS DA DIETA DE CADA ESPÉCIE

Tabela S1 - Categorias de presas consumidas por *Aplastodiscus albosignatus* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR %
Coleoptera	11	45,83	845	23,40	9	21,43	85,68
Formicidae	3	12,50	14	0,39	3	7,14	5,32
Araneae	2	8,33	110	3,05	2	4,76	3,13
Ostracoda	3	12,50	2	0,06	1	2,38	1,73
Blattodea	1	4,17	175	4,85	1	2,38	1,24
Orthoptera	1	4,17	100	2,77	1	2,38	0,95
Diptera	1	4,17	50	1,38	1	2,38	0,76
Lepidoptera	1	4,17	12	0,33	1	2,38	0,62
Acari	1	4,17	1	0,03	1	2,38	0,58
Material Vegetal	-	-	105	2,91	-	-	-
Outros	-	-	2197	60,84	-	-	-
Total	24	100	3611	100	-	-	100
Bsta	0,36						
Indivíduos analisados	42						
Trato gastrointestinal vazio	3						

Tabela S2 - Categorias de presas consumidas por *Leptodactylus notoaktites* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR %
Araneae	10	27,03	2406	45,47	7	36,84	57,15
Formicidae	17	45,95	355	6,70	6	31,58	35,58
Hemiptera	3	8,11	102	1,92	3	15,79	3,39
Blattodea	1	2,70	450	8,50	1	5,26	1,26
Larva Lepidoptera	1	2,70	200	3,78	1	5,26	0,73
Coleoptera	1	2,70	150	2,83	1	5,26	0,62
Quilopoda	1	2,70	10	0,18	1	5,26	0,32
ostracoda	1	2,70	4	0,07	1	5,26	0,31
Mantodea	1	2,70	2	0,03	1	5,26	0,30
Gastropoda	1	2,70	1	0,01	1	5,26	0,30
Material Vegetal	-	-	172	3,25	-	-	-
Outros	-	-	1439	27,19	-	-	-
Total	37	100	5291	100	-	-	100
Bsta	0,26						
Indivíduos analisados	19						
Trato gastrointestinal vazio	1						

Tabela S3 - Categorias de presas consumidas por *Proceratophrys boiei* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Orthoptera	13	23,21	3612	19,05	13	29,55	46,80
Coleoptera	10	17,86	2488	13,12	10	22,73	26,39
Araneae	6	10,71	820	4,32	6	13,64	7,69
Quilopoda	5	8,93	800	4,22	5	11,36	5,60
Blattodea	4	7,14	1705	8,99	4	9,09	5,50
Gastropoda	4	7,14	79	0,42	4	9,09	2,58
Lepidoptera	1	1,79	3440	18,14	1	2,27	1,70
Amphipoda	4	7,14	160	0,84	2	4,55	1,36
Isopoda	2	3,57	70	0,37	2	4,55	0,67
Formicidae	2	3,57	51	0,27	2	4,55	0,65
larva lepidoptera	1	1,79	450	2,37	1	2,27	0,35
Vespidae	1	1,79	80	0,42	1	2,27	0,19
Opiliona	1	1,79	70	0,37	1	2,27	0,18
Diplopoda	1	1,79	50	0,26	1	2,27	0,17
Diptera	1	1,79	30	0,16	1	2,27	0,17
Material Vegetal	-	-	655	3,45	-	-	-
Outros	-	-	4402	23,21	-	-	-
Total	56	100	18962	100	-	-	100
Bsta	0,5						
Indivíduos analisados	44						
Trato gastrointestinal vazio	0						

Tabela S4 - Categorias de presas consumidas por *Ischnocnema henselii* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Amphipoda	6	25,00	95	5,62	3	21,43	27,88
Coleoptera	4	16,67	115	6,81	3	21,43	21,37
Blattodea	2	8,33	430	25,46	2	14,29	20,51
Araneae	2	8,33	132	7,82	2	14,29	9,80
Isopoda	2	8,33	64	3,79	2	14,29	7,36
Formicidae	2	8,33	20	1,18	1	7,14	2,89
orthoptera	1	4,17	80	4,74	1	7,14	2,70
vespidae	1	4,17	25	1,48	1	7,14	1,71
Larva Coleoptera	1	4,17	20	1,18	1	7,14	1,62
Hemiptera	1	4,17	15	0,89	1	7,14	1,53
Collembola	1	4,17	4	0,24	1	7,14	1,34

acaros	1	4,17	2	0,12	1	7,14	1,30
Material Vegetal	-	-	90	5,33	-	-	-
Outros	-	-	597	35,35	-	-	-
Total	24	100	1689	100	-	-	100
Bsta	0,61						
Indivíduos analisados	15						
Trato gastrointestinal vazio	1						

Tabela S5 - Categorias de presas consumidas por *Bokermannohyla circumdata* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Blattodea	4	19,05	4000	43,22	4	16,67	61,19
Ostracoda	8	38,10	5	0,05	2	8,33	18,75
Coleoptera	2	9,52	325	3,51	2	8,33	6,41
Formicidae	2	9,52	2,25	0,02	2	8,33	4,69
Lepidoptera	1	4,76	800	8,64	1	4,17	3,29
Hemiptera	1	4,76	250	2,70	1	4,17	1,83
Diplopoda	1	4,76	120	1,30	1	4,17	1,49
Larva Coleoptera	1	4,76	1,5	0,02	1	4,17	1,17
Acari	1	4,76	1	0,01	1	4,17	1,17
Material vegetal	-	-	2597	28,06	-	-	-
Outros	-	-	1154	12,47	-	-	-
Total	21	100	9255,75	100	-	-	100
Bsta	0,46						
Indivíduos analisados	24						
Trato gastrointestinal vazio	0						

Tabela S6 - Categorias de presas consumidas por *Boana semiguttata* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Coleoptera	8	53,33	596	25,11	7	58,33	71,38
Larva Lepidoptera	2	13,33	650	27,38	2	16,67	22,02
Araneae	3	20,00	125	5,27	3	25,00	6,48
Acari	2	13,33	1,5	0,06	2	16,67	0,12
Material vegetal	-	-	0	0,00	-	-	-
Outros	-	-	1002	42,21	-	-	-
Total	15	100	2374,5	100	-	-	100
Bsta	0,59						
Indivíduos analisados	16						

Trato gastrointestinal vazio	4
------------------------------	---

Tabela S7 - Categorias de presas consumidas por *Rhinella abei* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Formicidae	1243	84,21	16848	29,67	49	100,00	83,33
Coleoptera	109	7,38	9529	16,78	39	79,59	14,07
Amphipoda	21	1,42	750	1,32	13	26,53	0,53
Larva Lepidoptera	12	0,81	1306	2,30	8	16,33	0,37
Araneae	13	0,88	613	1,08	12	24,49	0,35
Larva Coleoptera	13	0,88	476	0,84	10	20,41	0,26
Hemiptera	9	0,61	960	1,69	7	14,29	0,24
Hymenop. Apidae	9	0,61	2270	4,00	3	6,12	0,21
Orthoptera	6	0,41	1284	2,26	5	10,20	0,20
Diplopoda	6	0,41	1196	2,11	5	10,20	0,19
Hymenop. Vespidae	13	0,88	361	0,64	6	12,24	0,14
Isopoda	5	0,34	184	0,32	4	8,16	0,04
Opilionida	4	0,27	305	0,54	3	6,12	0,04
Blattodea	2	0,14	100	0,18	2	4,08	0,01
Gastropoda	2	0,14	50	0,09	2	4,08	0,01
Mantodea	1	0,07	120	0,21	1	2,04	0,00
Quilopoda	1	0,07	110	0,19	1	2,04	0,00
larva diptera	3	0,20	20	0,04	1	2,04	0,00
dermaptera	1	0,07	50	0,09	1	2,04	0,00
Ephemeroptera	1	0,07	20	0,04	1	2,04	0,00
pseudoescorpiao	1	0,07	12	0,02	1	2,04	0,00
Acarina	1	0,07	2	0,00	1	2,04	0,00
Material Vegetal	-	-	2209	3,89	-	-	-
Outros	-	-	18009	31,71	-	-	-
Total	1476	100	56784	100	-	-	100
Bsta	0,01						
Indivíduos analisados	49						
Trato gastrointestinal vazio	0						

Tabela S8 - Categorias de presas consumidas por *Scythrophrys sawayae* na floresta de Araucária, Paraná, sul do Brasil. FO = frequência de ocorrência de cada categoria de presa; IIR = Índice de importância relativa; N = número de indivíduos; V = volume total de presas (mm³); (%) = porcentagem relacionada ao total; Bsta = amplitude de nicho trófico.

Categorias de presas	N	N%	V	V%	FO	FO %	IIR%
Formicidae	61	35,26	138	14,60	26	61,90	55,83
Coleoptera	27	15,61	96	10,15	16	38,10	17,75

Acarina	29	16,76	18,5	1,96	15	35,71	12,09
Isopoda	14	8,09	55	5,82	9	21,43	5,39
Amphipoda	9	5,20	87	9,20	6	14,29	3,72
Collembola	13	7,51	13	1,37	5	11,90	1,91
Larva Coleoptera	7	4,05	39	4,12	4	9,52	1,41
Araneae	6	3,47	16	1,69	5	11,90	1,11
Diptera	3	1,73	31	3,28	3	7,14	0,65
Pseudoscorpionida	1	0,58	2	0,21	1	2,38	0,03
Gastropoda	1	0,58	2	0,21	1	2,38	0,03
Larva diptera	1	0,58	1	0,11	1	2,38	0,03
Blattodea	1	0,58	1	0,11	1	2,38	0,03
Material Vegetal	0	0	0	0	-	-	-
Outros	-	-	446	47,1708 1	-	-	-
Total	173	100	945,5	100	-	-	100
Bsta	0,34						
Indivíduos analisados	42						
Trato gastrointestinal vazio	0						

3 CAPÍTULO II

VARIAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE UMA ESPÉCIE DE *Aplastodiscus* (ANURA: HYLIDAE) RELACIONADA À MORFOLOGIA E TEMPERATURA²

RESUMO

Nosso objetivo foi (1) descrever o canto de anúncio de *Aplastodiscus albosignatus*, (2) avaliar a influência da temperatura e do tamanho corporal nos parâmetros acústicos e (3) avaliar a variação dos parâmetros acústicos em cada macho e entre os machos. Realizamos o estudo nos Mananciais da Serra (Piraquara-PR), região de transição entre floresta ombrófila mista e densa, entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020. A espécie vocaliza empoleirada em árvores e arbustos. Seu canto de anúncio é composto de uma nota com um pulso e quatro harmônicos. Em geral, a frequência dominante ocorre no terceiro harmônico, porém, em alguns cantos foi registrada na frequência mínima (primeiro harmônico). A duração média dos cantos foi de 0,191 s, intervalo entre cantos de 2,08 s e taxa de repetição de 33 cantos por minuto. Em média, a frequência mínima foi de 550,15 Hz, a frequência máxima de 3531,70 Hz e do terceiro harmônico 2498,9 Hz. A frequência máxima e a frequência do terceiro harmônico tiveram correlação positiva com o tamanho dos indivíduos, ou seja, quanto maior o indivíduo, maiores frequências eram atingidas durante a vocalização. A temperatura do ar teve correlação positiva com a duração, intervalo e taxa de repetição dos cantos. Essa correlação se deve à grande influência da temperatura no metabolismo dos anfíbios, refletindo na quantidade de energia gasta na emissão dos cantos. A frequência máxima e

² Capítulo formatado de acordo com as normas da revista Amphibia-Reptilia.

a frequência do terceiro harmônico tiveram baixa variação, tanto nos cantos de um mesmo macho quanto entre machos. Dessa forma, esses parâmetros foram considerados estáticos, ou seja, tem pouca variabilidade e são importantes no reconhecimento das espécies.

Palavras-chave: Grupo *albosignatus*, frequência dominante, harmônicos, Mata Atlântica

ABSTRACT

Our goal was (1) to describe the advertisement call *Aplastodiscus albosignatus*, (2) evaluate the influence of temperature and body size on acoustic parameters and (3) evaluate the variation of acoustic parameters in within-male and between males. We conducted the study in Mananciais da Serra (Piraquara-PR), a transition region between mixed and dense rain forest, between September 2019 and February 2020. The species calls perched in trees and shrubs. Its advertisement call consists of a note with a pulse and four harmonics. In general, the dominant frequency occurs in the third harmonic, however, in some calls it was registered in the minimum frequency (first harmonic). The average duration of the calls was 0.191 s, the interval between calls was 2.08 s and the repetition rate was 33 calls per minute. On average, the minimum frequency was 550.15 Hz, the maximum frequency was 3531.70 Hz and the third harmonic was 2498.9 Hz. The maximum frequency and the frequency of the third harmonic had a positive correlation with the size of the individuals, that is, the larger the individual, the higher frequencies were reached during vocalization. The air temperature had a positive correlation with the duration, interval and repetition rate of the calls. This correlation is due to the great influence of temperature on the metabolism of amphibians, reflecting the amount of energy spent in the emission of the calls. The maximum frequency and the frequency of the third harmonic had low variation, both in the calls of the same male and between

males. Thus, these parameters were considered static, that is, they have little variability and are important in species recognition.

Keyword: *Albosignatus* group, dominant frequency, harmonics, Atlantic Forest.

3.1 . INTRODUÇÃO

A emissão de sinais acústicos por anfíbios anuros representa a principal forma de comunicação intra e interespecífica, sendo uma característica fundamental da história natural desse grupo, que está associada principalmente à seleção e reprodução sexual. Os cantos de anúncio são as vocalizações mais comumente emitidas pelos machos, as quais são espécie-específicas e funcionam como um mecanismo de isolamento reprodutivo pré-zigótico. Os sinais acústicos podem conter muitas informações importantes para fêmeas e possíveis competidores, indicando a posição do indivíduo, tamanho do corpo, temperatura corporal e condição energética (Wells, 2010; Toledo et al., 2014).

Uma vez que são animais ectotérmicos, os parâmetros acústicos podem ser influenciados por fatores abióticos como a temperatura, resultando em diferenças entre indivíduos (Robertson, 1984; Giacoma, Zugolaro, and Beani, 1997; Navas and Bevier, 2001; Lingnau and Bastos, 2007). Algumas espécies reduzem a duração do canto em temperaturas elevadas, o que pode estar relacionado com uma tentativa de evitar o aumento do metabolismo e gasto energético (Lingnau and Bastos, 2007; Boschetti et al., 2019). O tamanho corporal também é um fator que pode influenciar nos parâmetros acústicos das espécies (Bernal & Guarnizo, 2005; Castellano et al., 2002; Wells, 2010). Em geral, parâmetros espectrais como a frequência dominante são mais influenciados pelo tamanho do indivíduo, enquanto parâmetros temporais tendem a ser mais influenciados pela temperatura do ar (e.g. Bee et al., 2013; Lemes et al., 2012; Morais et al., 2012). Entender como ocorrem essas variações nos cantos de anúncio das espécies contribui para uma melhor delimitação taxonômica e pode gerar embasamento para hipóteses ecológicas sobre a mudança nos traços acústicos ao longo do tempo (Castellano et al., 2002b).

Há uma grande amplitude na variação dos cantos dos anuros, ou seja, há espécies com pouca variação de seus parâmetros acústicos, ao passo que em outras espécies há uma variação muito maior. Aqueles cantos formados por um único tipo de nota são denominados de cantos simples, enquanto cantos formados por diferentes notas são chamados de cantos complexos (Köhler et al., 2017). Cantos simples, são comuns em muitas espécies tais como nos gêneros *Physalaemus* (e.g. Baêta et al., 2007; Gambale & Bastos, 2014) e *Aplastodiscus* (e.g. Abrunhosa et al., 2005; Zina & Haddad, 2006). Cantos complexos, com maior número de notas, e maior variação dessas notas, são encontrados em outras espécies neotropicais tais como *Dendropsophus minutus* e *Bokermannohyla ibitiguara* (Morais et al., 2012; Gambale, Signorelli, and Bastos, 2014).

Entre as espécies que apresentam cantos simples, encontra-se o gênero *Aplastodiscus*, o qual é reconhecido atualmente com 15 espécies descritas (Berneck et al., 2016; Frost, 2020) e todas com cantos de anúncio simples (Abrunhosa et al., 2005; Zina and Haddad, 2006; Berneck et al., 2016; Bezerra et al., 2020).

Aplastodiscus albosignatus (Lutz and Lutz, 1938) é uma espécie da família Hylidae endêmica da Mata Atlântica, associada à riachos em regiões montanhosas (<850 m). A espécie está distribuída desde o estado de Minas Gerais até Santa Catarina. O canto de *A. albosignatus* foi descrito por Abrunhosa et al. (2005) com base em 10 cantos de um indivíduo. Até o momento, não existem outras gravações analisadas da vocalização dessa espécie (Guerra et al., 2018). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi (1) fornecer informações mais robustas sobre a descrição do canto de anúncio de *A. albosignatus*, (2) avaliar a influência dos fatores abióticos (temperatura) e bióticos (massa e tamanho corporal) nos parâmetros acústicos do canto e (3) avaliar a variação intraindividual e interindividual dos cantos.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em ambientes de florestas subtropicais da Mata Atlântica, nos Mananciais da Serra (25°29'46" S 48°58'58" W, 1000 a.n.m), Piraquara, Paraná, sul do Brasil (Figura 1). A região amostrada está localizada em uma área de transição entre as fitofisionomias Floresta Ombrófila Mista, dominada por *Araucaria angustifolia* (Floresta com Araucária) e Floresta Ombrófila Densa (Reginato and Goldenberg, 2007). A precipitação anual varia de 1400 a 1700, com chuvas concentradas de outubro a março (Paraná 1987). A temperatura média é de 22 °C nos meses mais quentes e 18 °C nos meses mais frios (Ferreira 1996).

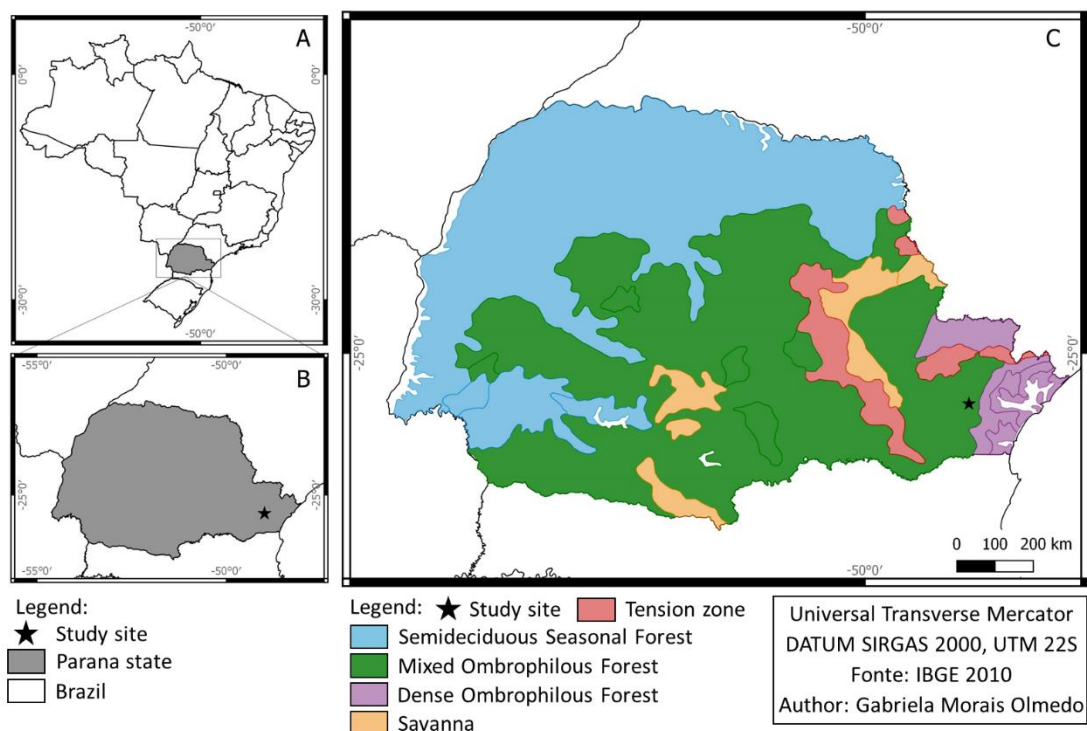


Figura 1 – Localidade da área de estudo. A: Mapa do Brasil ressaltando o estado do Paraná; B: Mapa do Paraná ressaltando a área de estudo; C: Mapa do Paraná ressaltando a fisionomia da vegetação.

3.2.2 Coleta de dados

Realizamos as amostragens entre janeiro de 2019 e fevereiro de 2020 e gravamos um total de 22 machos. Quando localizávamos os indivíduos, primeiramente ocorria a gravação de sua vocalização. A

distância aproximada entre o microfone e o indivíduo era de aproximadamente 50 cm. Após a gravação, capturávamos e individualizávamos o indivíduo e registrávamos a temperatura do ar com um termohigrometro (0.1°C precisão). Gravamos as vocalizações com o microfone unidirecional CSR HT81 – YOGA, acoplado a um gravador modelo tascam DR-40. Após o término das coletas, mensuramos o peso e o comprimento rostro-cloacal (CRC) dos machos gravados com uma balança (0.01 g precisão) e paquímetro digital (0.05 mm precisão). Em seguida, eutanasiamos os indivíduos com xilocaína, fixamos em formalina a 10% e conservamos em etanol 70%. A coleta e eutanásia dos indivíduos, bem como a gravação de sua vocalização, foi autorizada pelo órgão competente (ICMBio license number 66853-1). Os indivíduos coletados foram tombados na Coleção Herpetologica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão (RLUTF 251, 252, 341, 343, 467, 468, 469, 489, 715, 716, 718, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 749, 1218, 1219, 1220 e 1221). Nós depositamos as gravações dos cantos na Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard, os quais podem ser acessados pelos códigos FNJV 45561 - 45582.

3.2.3 Análises de dados

Analisamos 220 cantos de anúncio de 22 machos com o software Raven pro 1.6 para Windows (Cornell Lab of Ornithology – Bioacoustics Research Program 2011), usando FFT (Fast Fourier Transformation) = 256. Não houve necessidade do uso de filtros. Foram analisados os seguintes parâmetros acústicos: frequência mínima (Hz), frequência máxima (Hz), frequência do terceiro harmônico (Hz), duração do canto (s), intervalo entre cantos (s) e taxa de repetição (cantos/min). As medições espectrais foram obtidas selecionando três variáveis na opção “escolher medições” no Raven 1.6: (1) baixa frequência, (2) alta frequência e (3) pico de frequência. Os termos bioacústicos foram utilizados conforme definições propostas por Köhler et al. (2017); com uma adaptação para o cálculo da frequência dominante. Os valores de frequência dominante em *A. albosignatus* podem estar no primeiro ou terceiro harmônico (ver dados abaixo), e, portanto, não poderia ser fornecida uma média dos valores de frequência dominante, que seria um valor pouco informativo. Portanto, informamos os valores de frequência mínima (primeiro harmônico) e do terceiro harmônico que ilustram melhor a localização da frequência dominante.

Nós geramos os oscilogramas e espectogramas no software R (R Development Core Team 2015), com largura da janela de 512 amostras, 90% de sobreposição e DFT de 512 amostras. Nós usamos os pacotes TuneR versão 1.0 (Ligges et al. 2013) e Seewave versão 1.7.3 (Sueur et al. 2008).

Para avaliar o efeito da temperatura do ar, CRC e massa na duração do canto, intervalo entre cantos, frequência fundamental, frequência máxima e pico de frequência do terceiro harmônico foi realizada uma MANOVA no software Systat (versão 13.2), tendo as covariáveis temperatura do ar, CRC e massa como variáveis independentes. A normalidade das variáveis foi testada, sendo que foi constatado que intervalo entre cantos e taxa de canto não tinham distribuição normal. Dessa forma, todas as variáveis foram transformadas em \log_{10} para padronização e atingir distribuição normal.

A variabilidade dos parâmetros acústicos dos cantos de cada macho (intraindividual) e entre os machos (interindividual) foi analisada a partir do coeficiente de variação para cada parâmetro, conforme proposto por Gerhardt (1991), onde $CV = (DP/\bar{x}) \times 100$. O coeficiente de variação intraindividual (CV_{intra}) considera a média e o desvio padrão dos cantos de cada indivíduo. Já o coeficiente de variação interindividual (CV_{inter}), é considerado a média e o desvio padrão dos parâmetros de todos os indivíduos. Quando o coeficiente de variação é igual ou menor que 5%, o parâmetro avaliado é considerado como estático, e quando é maior ou igual a 12%, considerado como dinâmico (Gerhardt, 1991).

Para avaliar se existe variabilidade entre as vocalizações dos machos, foi calculada a relação dos dois coeficientes de variação (CV_{inter}/CV_{intra}). Quando o valor obtido é $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$, o parâmetro acústico avaliado auxilia no reconhecimento individual (Márquez and Eekhout, 2006).

3.3 RESULTADOS

No total, foram gravados e coletados 22 machos de *Aplastodiscus albosignatus*. Os indivíduos tiveram um tamanho médio de $42,6\text{mm} \pm 1,8\text{mm}$ ($39,4\text{ mm} - 45,8\text{ mm}$) e peso médio de $4,66\text{g} \pm 0,5\text{g}$ ($3,8\text{g} - 5,7\text{g}$). A temperatura média registrada durante os campos foi de $16,5\text{ }^\circ\text{C} \pm 1,7\text{ }^\circ\text{C}$ ($13\text{ }^\circ\text{C} - 19\text{ }^\circ\text{C}$).

Os cantos de anúncio de *A. albosignatus* são formados por uma única nota e um único pulso, com quatro harmônicos visíveis. Em geral, a frequência dominante ocorre no terceiro harmônico, porém, em alguns cantos a frequência dominante foi registrada na frequência mínima (primeiro harmônico), (Tabela 1, figura 2). Em um total de 220 cantos analisados, a frequência dominante estava no primeiro harmônico em 75 (34%) e em 145 (66%) a frequência dominante estava no terceiro harmônico. Um mesmo macho gravado

podia apresentar cantos com a frequência dominante no primeiro ou no terceiro harmônico. A média de duração dos cantos foi de $0,191 \pm 0,028$ s (0,12 - 0,25), do intervalo entre cantos de $2,08 \pm 1,20$ s (0,56 - 9,61) e taxa de repetição de $33 \pm 14,73$ cantos por minuto (15 - 66) (Tabela 1). Em média, a frequência mínima foi de $550,15 \pm 42$ Hz (421,09 - 689,06), a frequência máxima $3531,70 \pm 144,20$ Hz (3253,9 - 3828,12) e do terceiro harmônico $2498,9 \pm 100,3$ Hz (2239,45 - 2670,12) (Tabela 1).

A morfologia (CRC e massa) tem grande influência nas vocalizações de *Aplastodiscus albosignatus*. A partir da análise MANOVA, houve correlação negativa nos testes univariados entre CRC e os parâmetros espectrais de frequência máxima (f-ratio = 11,32; p = 0,003) e pico de frequência do terceiro harmônico (f-ratio = 7,64; p = 0,01), (Figura 3, Tabela 2). Com relação à massa houve correlação com os parâmetros espectrais de frequência máxima (f-ratio = 18,64; p = 0,001), pico de frequência do terceiro harmônico (f-ratio = 13; p = 0,002), além da correlação positiva com a duração do canto (f-ratio = 7,95; p = 0,01), (Figura 3, Tabela 2). A temperatura do ar teve correlação com os parâmetros temporais duração do canto (f-ratio = 18,65; p = 0,001), intervalo entre cantos (f-ratio = 8,83; p = 0,008), (Figura 4, Tabela 2) e taxa de emissão de canto (f-ratio = 13,07; p = 0,002). Nos testes multivariados, foi registrado que CRC não tem influência nas seis variáveis acústicas em conjunto (f-ratio = 1,5; p = 0,2), já massa e temperatura influenciaram (f-ratio = 3,02; p = 0,04; f-ratio = 6,57; p = 0,002, respectivamente) (Tabela 2).

O coeficiente de variação indicou que a frequência mínima possui uma variação intermediária. Já a frequência máxima e a frequência do terceiro harmônico foram consideradas parâmetros estáticos (Tabela 3). Em relação aos parâmetros temporais, a duração do canto foi considerada como um parâmetro estático intraindividual e dinâmico interindividual, enquanto o intervalo entre cantos foi dinâmico em ambos os grupos. A

razão entre CVinter e CVintra de todos os parâmetros acústicos analisados foi maior do que 1, indicando que há maior variação entre os machos do que a nível individual (Tabela 3).

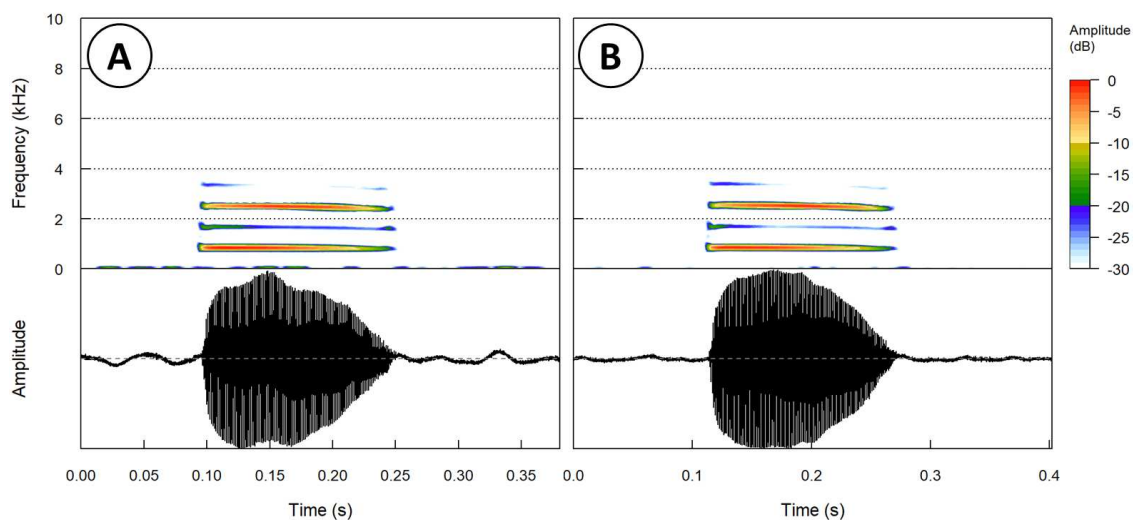


Figura 2 – Espectrograma e oscilograma de dois cantos de anúncio de um mesmo macho de *Aplastodiscus albosignatus*. A = canto com a frequência dominante no primeiro harmônico (=frequência mínima); B = canto com a frequência dominante no terceiro harmônico. Macho gravado dia 14 de janeiro de 2020, voucher do espécime RLUTF 1220, voucher da gravação FNJV 45563 4.7 g, 44.8 mm, 18.1 °C.

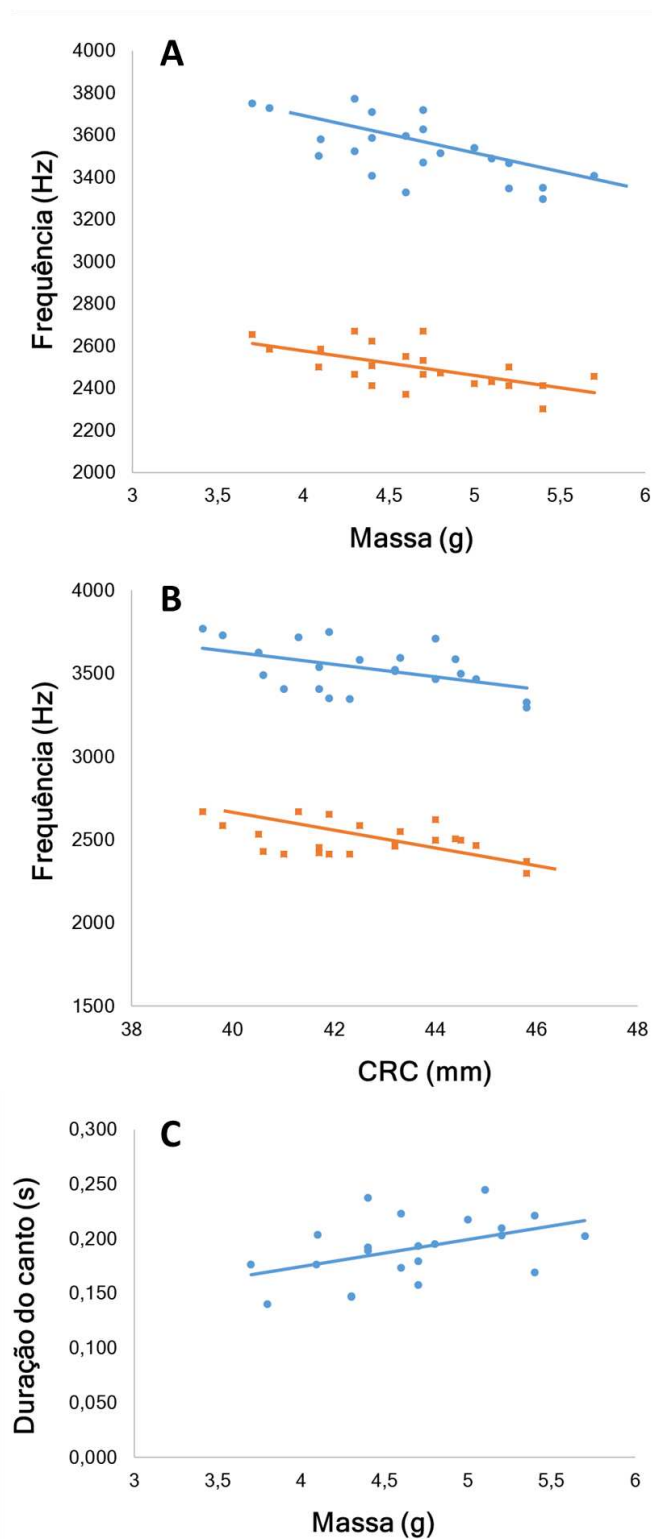


Figura 3 – Relação do tamanho e massa corporal com parâmetros espectrais e temporal. A = Correlação entre massa e frequência máxima (círculos azuis) e o pico de frequência do terceiro harmônico (quadrados laranjas); B = Correlação entre comprimento rostro-cloacal (CRC) frequência máxima (círculos azuis) e o pico de frequência do terceiro harmônico (quadrados laranjas); C = Correlação entre massa e duração do canto.

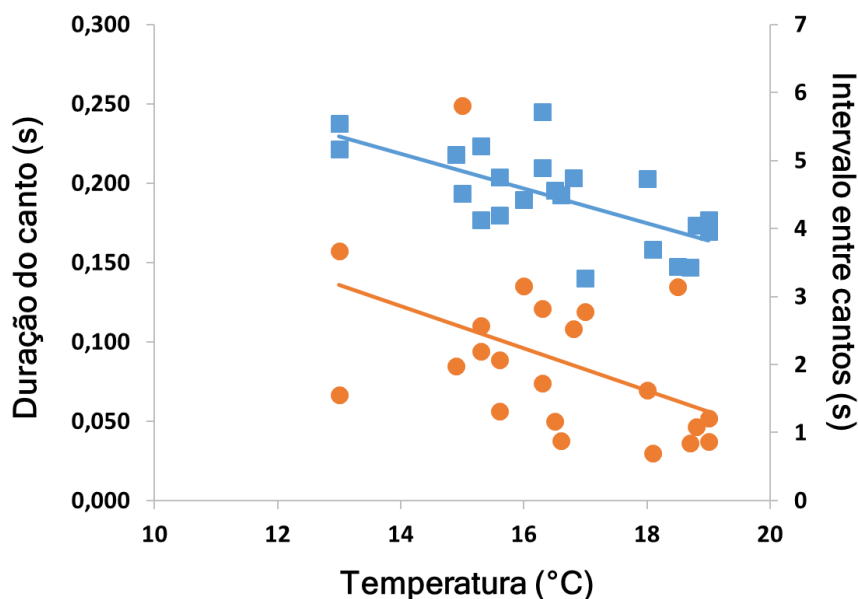


Figura 4 – Relação da temperatura com parâmetros temporais. Círculos laranjas representam a duração do canto e quadrados azuis o intervalo entre cantos.

Tabela 1 – Principais parâmetros acústicos das vocalizações de *Aplastodiscus albosignatus* nos Mananciais da Serra, Paraná, Brasil. Legenda: X = média; \pm SD = desvio padrão; Min = valor mínimo registrado; Max = valor máximo registrado. Todos os dados são referentes à 10 cantos analisados de 22 machos, totalizando 220 cantos analisados.

Parâmetros acústicos	X \pm SD	(Min – Max)
Frequência mínima (Hz)	550,15 \pm 42	421,09 – 689,06
Frequência máxima (Hz)	3531,7 \pm 144,2	3253,9 – 3828,1
Frequência do 3º harmônico (Hz)	2498,9 \pm 100,3	2239,4 – 2670,1
Duração do canto (s)	0,191 \pm 0,028	0,12 – 0,25
Intervalo entre cantos (s)	2,08 \pm 1,20	0,56 – 9,61
Taxa de repetição (canto/min)	33 \pm 14,73	15 – 66

Tabela 2 – Valores de correlação entre as covariáveis e as variáveis acústicas obtidos a partir da análise MANOVA. CRC = comprimento rostro-cloacal. Os valores destacados em vermelho representam $p < 0,05$. As análises foram feitas em dados transformados em logaritmos.

Parâmetros acústicos	CRC		Massa		Temperatura	
	f-ratio	P	f-ratio	p	f-ratio	p
Parâmetros espectrais						
Frequência mínima	1,641	0,216	3,763	0,068	0,171	0,684

Frequência máxima	11,318	0,003	18,64	0,001	1,334	0,263
Frequência 3º harmônico	7,638	0,013	13,005	0,002	2,552	0,128
Parâmetros temporais						
Duração do canto	1,235	0,281	7,95	0,011	18,649	0,001
Intervalo entre cantos	3,65	0,072	0,247	0,625	8,833	0,008
Taxa de emissão de cantos	2,318	0,145	0,018	0,896	13,071	0,002
Teste multivariado	1,505	0,252	3,019	0,045	6,572	0,002

Tabela 3 – Variação dos principais parâmetros acústicos das vocalizações de *Aplastodiscus albosignatus* nos Mananciais da Serra, Paraná, Brasil. Legenda: CV_{INTRA} = coeficiente de variação intraindividual; CV_{INTER} = coeficiente de variação interindividual.

Parâmetros acústicos	CV_{INTRA}	CV_{INTER}	$CV_{INTER}/$ CV_{INTRA}	Estática/ Dinâmica
Frequência mínima (Hz)	6,74	9,93	1,47	Intermediária
Frequência máxima (Hz)	1,26	4,18	3,31	Estática
Frequência do 3º harmônico (Hz)	0,96	4,11	4,28	Estática
Duração do canto (s)	3,94	15,28	3,87	Dinâmica
Intervalo entre cantos (s)	33,75	70,97	2,10	Dinâmica

3.4 . DISCUSSÃO

Durante a estação reprodutiva, o canto de anúncio é a vocalização mais comum emitida pelos anuros (Morais et al., 2012; Gambale and Bastos, 2014; Guerra et al., 2018), bem como observado para *Aplastodiscus albosignatus* neste trabalho. As espécies pertencentes ao grupo de *A. albosignatus* apresentam cantos não pulsionados compostos por uma única nota (Abrunhosa et al., 2005). Uma diferença observada entre a descrição prévia de *A. albosignatus* e a descrição do presente estudo é a frequência dominante, onde Abrunhosa et al. (2005) propõem que a frequência com maior pico de energia ocorre sempre no terceiro harmônico, entre 2,61 e 2,66 kHz. Nas gravações analisadas para a população de Piraquara (PR), observamos que a frequência dominante pode ocorrer tanto no terceiro harmônico quanto no primeiro, entre 0,4 e 0,6 kHz. É provável que essa

diferença esteja relacionada com o fato de Abrunhosa et al. (2005) terem analisado apenas 10 cantos de um único macho, enquanto analisamos uma maior quantidade de cantos de machos. A maioria dos cantos analisados apresentaram frequência dominante no terceiro harmônico (66%), porém, em alguns casos, a frequência dominante foi no primeiro harmônico (34%). Algumas vezes, um mesmo macho apresentava frequências dominantes no terceiro harmônico e, em outro canto, no primeiro harmônico. Esse padrão pode ser observado também em *A. callipygius* (Abrunhosa et al., 2005) e em *A. leucopygius* (Zina and Haddad, 2006).

Aplastodiscus leucopygius possui cantos com três harmônicos e a frequência dominante pode estar presente tanto no primeiro, no segundo e terceiro harmônicos (Zina and Haddad, 2006). Os autores observaram em duas ocasiões que, quando o mesmo macho era gravado sozinho ele emitia a frequência dominante no terceiro harmônico, porém quando gravado em antifonia com outro macho, emitia a frequência dominante no primeiro harmônico (Zina and Haddad, 2006). A frequência dominante pode transmitir informações sobre o tamanho corporal dos machos e, na maioria das espécies, esse parâmetro acústico é inversamente proporcional ao tamanho do macho emissor (Wagner, 1989; Bee, Perrill, and Owen, 1999; Vilaça, dos Santos Silva, and Solé, 2011; Morais et al., 2012). Estudos apontam que machos maiores cantam em frequências dominantes mais baixas (Toledo and Haddad, 2009; Guimarães and Bastos, 2003; Morais et al., 2012), devido a estruturação morfológica dos componentes da laringe (Martin, 1971). A vibração das cordas vocais, as quais dependem do tamanho dos indivíduos, influencia principalmente a frequência mínima dos cantos (Giacoma, Zugolaro, and Beani, 1997). Essa correlação pode fornecer informações sobre o tamanho corporal do macho emissor para outros machos competidores, podendo evitar combates físicos (Bastos et al., 2011). Machos pequenos da espécie *Acris crepitans*, durante um experimento com playback,

diminuíram a frequência dominante de seus cantos (Wagner, 1989). Wagner (1992) propôs a hipótese de que os machos podem alterar a frequência de seus cantos para que seus oponentes recebam uma informação errada sobre a capacidade de luta do macho emissor. Posteriormente, Bee et al. (2000) fez experimentos com playbacks com *Rana clamitans* e seus resultados suportam a teoria de emissão de sinais desonestos por parte dos anuros. Dessa forma, é possível que a variação na frequência dominante no canto de *A. albosignatus* seja socialmente dependente, porém, experimentos com playback são necessários para avaliar essa interação de forma mais precisa.

Em geral, o tamanho dos machos é considerado um fator que exerce influência principalmente nos parâmetros espectrais do canto, como frequência dominante e mínima (Toledo & Haddad, 2009; Vilaça et al., 2011). No presente trabalho, a massa e o CRC dos machos gravados tiveram correlação negativa com a frequência máxima e o pico de frequência do terceiro harmônico. Ou seja, quanto menor o indivíduo, mais altas eram as frequências que ele atingia durante a vocalização. Em outras espécies, como *P. rusticus*, essa correlação não foi encontrada, e os autores sugerem que isso deve ter acontecido devido ao pequeno número de machos gravados (Boschetti et al., 2019). Porém, neste estudo com *A. albosignatus*, observamos que o peso dos machos possui influência também na duração do canto. Essa relação também foi encontrada para *Bokermannohyla ibitiguara* (Turin, Nali, and Prado, 2018) e para *Dendropsophus minutus* na taxa de repetição de cantos (Morais et al., 2012). Esse resultado pode indicar que machos maiores investem mais energia para emitir os cantos de anúncio, uma vez que o custo energético depende também do tamanho dos indivíduos (Gerhardt, 1994; Turin, Nali, and Prado, 2018). Dessa forma, investir em cantos mais longos pode aumentar o sucesso reprodutivo dos machos através da seleção sexual. Outra possível explicação é que machos maiores tem a capacidade de armazenar maiores volumes de ar em seus pulmões, produzindo

correlações positivas com os parâmetros temporais (Bernal, Guarnizo, and Luddecke, 2005).

Os parâmetros acústicos temporais, como a duração e a taxa de cantos, tendem a ser mais dependentes da temperatura do ar, enquanto os parâmetros espectrais são considerados termicamente independentes entre os anuros (Navas and Bevier, 2001). Neste trabalho, a temperatura do ar influenciou em todos os parâmetros temporais na vocalização de *A. albosignatus*. Com o aumento da temperatura, os machos apresentaram cantos mais curtos, taxas maiores de repetição de canto por minuto e intervalo de silêncio entre cantos mais curtos. A influência da temperatura em parâmetros temporais já foi registrada em outros anuros (Lingnau and Bastos, 2007; Moraes et al., 2012; Boschetti et al., 2019). A temperatura possui uma grande influência no metabolismo dos anfíbios, principalmente em parâmetros acústicos afetados pela contração muscular ativa, o que reflete na quantidade de energia gasta na emissão dos cantos (Wells, 2010; Navas and Bevier, 2001).

A frequência máxima e o pico de frequência do terceiro harmônico foram parâmetros acústicos considerados como estáticos, ou seja, possuem pouca variabilidade e afetam principalmente a qualidade do canto (Gerhardt, 1991). Os parâmetros acústicos estáticos são importantes no reconhecimento das espécies, uma vez que eles tendem a se manter constantes entre os machos (Gerhardt, 1991; Márquez and Eekhout, 2006). Os parâmetros temporais geralmente são fatores dinâmicos em relação a variação intraindividual (Zaida Tárano, 2001). Neste estudo, a duração do canto e intervalo entre cantos foram considerados parâmetros dinâmicos. Características do canto com grande variação, consideradas dinâmicas, são importantes na seleção sexual (Gerhardt, 1991). Parâmetros temporais, em geral, variam mais do que parâmetros espectrais porque eles

tendem a ser mais influenciados pela mudança na temperatura do ambiente e pelas condições sociais (Gerhardt and Huber, 2002; Wong et al., 2004).

A razão entre CV_{inter} e CV_{intra} indicou que há maior variação entre os machos do que a própria variação individual, tal como encontrado em outras espécies (Morais et al., 2012; Forti, Lingnau, and Bertoluci, 2017). Existem várias possíveis explicações para a variação entre os machos, como variação genética, variação na morfologia e fisiologia, seleção sexual direcionada, por exemplo (Morais et al., 2012). A frequência do terceiro harmônico e a duração do canto foram os parâmetros acústicos com o maior valor da razão CV_a/CV_w entre os parâmetros analisados. Isso pode sugerir um potencial de identificação dos machos por parte das fêmeas e machos competidores (Morais et al., 2012; Turin, Nali, and Prado, 2018). Parâmetros temporais, como a duração do canto, já foram considerados importantes no reconhecimento de indivíduos (Gambale et al., 2014; Gasser et al., 2009). Uma vez que ambos parâmetros têm correlação com o tamanho do macho, é plausível considerar que a fêmea possa identificar machos maiores a partir dessas particularidades do canto (Turin, Nali, and Prado, 2018).

Com este trabalho, nós ampliamos a descrição do canto de anúncio de *A. albosignatus*, fornecendo informações baseada em um número maior de machos e de cantos do que constava previamente na literatura. Também, registramos que tanto a temperatura como o tamanho corporal são fatores que possuem influência no canto dessa espécie, além de fornecer informações sobre a variação intraespecífica na vocalização. Esses dados são relevantes uma vez que a população estudada pode constituir uma espécie nova (Berneck et al., 2016), e pode contribuir para uma revisão taxonômica do grupo.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, CNPq e Fundação Araucária, agências de fomento que tornaram este trabalho possível. Agradecemos também ao Instituto Ambiental do Paraná pela permissão para trabalhar no local do estudo. As autorizações para coleta de espécimes e gravações foram expedidas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (licença ICMBio nº 66853-1).

REFERÊNCIAS

- Abrunhosa, P.A., Pimenta, B.V.S., Cruz, C.A.G., Haddad, C.F.B. (2005): Advertisement Calls of Species of the *Hyla Albosignata* Group (Amphibia, Anura, Hylidae). *Arq. Do Mus. Nac.* **63**: 275–282.
- Baêta, D., Lourenço, A.C.C., Pezzuti, T.L., Pires, M.R.S. (2007): The tadpole, advertisement call, and geographic distribution of. *Arq. Do Mus. Nac. Rio Janeiro* **65**: 27–32.
- Bastos, R.P., Alcantara, M.B., Morais, A.R., Lingnau, R., Signorell, L. (2011): Vocal behaviour and conspecific call response in *Scinax centralis*. *Herpetol. J.* **21**: 43–50.
- Bee, M.A., Perrill, S.A., Owen, P.C. (1999): Size assessment in simulated territorial encounters between male green frogs (*Rana clamitans*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* **45**: 177–184.
- Bee, M.A., Perrill, S.A., Owen, P.C. (2000): Male green frogs lower the pitch of acoustic signals in defense of territories: A possible dishonest signal of size? *Behav. Ecol.* **11**: 169–177.
- Bee, M.A., Suyesh, R., Biju, S.D. (2013): The vocal repertoire of *Pseudophilautus kani*, a shrub frog (Anura: Rhacophoridae) from the Western Ghats of India. *Bioacoustics* **22**: 67–85.
- Bernal, X.E., Guarnizo, C.E., Luddecke, H. (2005): Geographic variation in advertisement call and genetic structure of *Colostethus palmatus* (Anura , Dendrobatidae) from the Colombian Andes Herpetologists ' League. *Herpetologica* **61**: 395–408.
- Berneck, B.V.M., Haddad, C.F.B., Lyra, M.L., Cruz, C.A.G., Faivovich, J. (2016): The Green Clade grows: A phylogenetic analysis of *Aplastodiscus* (Anura; Hylidae).

- Mol. Phylogenet. Evol. **97**: 213–223.
- Bezerra, A.M., Passos, L.O., Luna-Dias, C. De, Quintanilha, A.S., Carvalho-E-Silva, S.P. De (2020): A missing piece of the puzzle: Re-encounter of *aplastodiscus musicus*, its call, and phylogenetic placement (Anura: Hylidae: Cophomantini). *Herpetologica* **76**: 74–82.
- Boschetti, J.P., Bastiani, V.I.M. De, Lingnau, R., Lucas, E.M. (2019): Bioacoustics of *Pithecopus rusticus* (Anura, Phyllomedusidae): A Rare Species Possibly Threatened with Extinction. *South Am. J. Herpetol.* **14**: 196–203.
- Castellano, S., Cuatto, B., Rinella, R., Rosso, A. (2002a): The advertisement call of the European treefrogs, *Hyla arborea* : a multi-level study of variation. *Ethology* **108**: 75–89.
- Castellano, S., Tontini, L., Giacoma, C., Lattes, A., Balletto, E. (2002b): The evolution of release and advertisement calls in green toads (*Bufo viridis* complex). *Biol. J. Linn. Soc.* **77**: 379–391.
- Ferreira, J.C.V. (1996): O Paraná e seus municípios. Editora Memória Brasileira.
- Forti, L.R., Lingnau, R., Bertoluci, J. (2017): Acoustic variation in the advertisement call of the Lime treefrog *Sphaenorhynchus caramaschii* (Anura: Hylidae). *Vertebr. Zool.* **67**: 197–205.
- Gambale, P., Signorelli, L., Bastos, R. (2014): Individual variation in the advertisement calls of a Neotropical treefrog (*Scinax constrictus*). *Amphibia-Reptilia* **35**: 271–281.
- Gambale, P.G., Bastos, R.P. (2014): Vocal repertoire and bioacoustic analyses in *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) from southern Brazil. *Herpetol. J.* **24**: 31–39.
- Gasser, H., Amézquita, A., Hödl, W. (2009): Who is Calling? Intraspecific Call

- variation in the arrobatid frog *Allobates femoralis*. *Ethology* **115**: 596–607.
- Gerhardt, H.C. (1991): Female mate choice in treefrogs: static and dynamic acoustic criteria. *Anim. Behav.* **42**: 615–635.
- Gerhardt, H.C. (1994): *The Evolution of Vocalization in Frogs and Toads* Author. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **25**: 293–324.
- Gerhardt, H.C., Huber, F. (2002): *Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions*. Chicago, The University of Chicago Press.
- Giacoma, C., Zugolaro, C., Beani, L. (1997): The Advertisement Calls of the Green Toad (*Bufo viridis*): Variability and Role in Mate Choice. *Herpetologica* **53**: 454–464.
- Guerra, V., Llusia, D., Gambale, P.G., Morais, A.R. de, Márquez, R., Bastos, R.P. (2018): The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. *PLoS One* **13**: 1–22.
- Guimarães, L. dall'Ara, Bastos, R.P. (2003): Vocalizações e interações acústicas em *Hyla raniceps* (Anura, Hylidae) durante a atividade reprodutiva. *Iheringia. Série Zool.* **93**: 149–158.
- Kentwood David Wells (2010): *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago, University of Chicago Press.
- Köhler, J., Jansen, M., Rodríguez, A., Kok, P.J.R., Toledo, L.F., Emmrich, M., Glaw, F., Haddad, C.F.B., Rödel, M.O., Vences, M. (2017): The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice.
- Lemes, P., Tessarolo, G., Morais, A.R., Bastos, R.P. (2012): Acoustic Repertoire of *Barycholos ternetzi* (Anura: Strabomantidae) in Central Brazil. *South Am. J.*

- Herpetol. **7**: 157–164.
- Ligges, U., Krey, S., Mersmann, O., Schnackenberg, S. (2013): Tuner: Analysis of music. Available from: <http://r-forge.r-project.org/projects/tuner/> (accessed 2 May 2020).
- Lingnau, R., Bastos, R.P. (2007): Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. *J. Nat. Hist.* **41**: 1227–1235.
- Márquez, R., Eekhout, X. (2006): Advertisement calls of six species of anurans from Bali, Republic of Indonesia. *J. Nat. Hist.* **40**: 571–588.
- Martin, W.F. (1971): Mechanics of sound production in toads of the genus *Bufo*: Passive elements. *J. Exp. Zool.* **176**: 273–293.
- Morais, A.R., Batista, V.G., Gambale, P.G., Signorelli, L., Bastos, R.P. (2012): Acoustic communication in a Neotropical frog (*Dendropsophus minutus*): vocal repertoire, variability and individual discrimination. *Herpetol. J.* **22**: 249–257.
- Navas, C.A., Bevier, C.R. (2001): Thermal dependency of calling performance in the eurythermic frog *Colostethus subpunctatus*. *Herpetologica* **57**: 384–395.
- Paraná. (1987): Atlas do estado do Paraná. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento, Intitutos de Terras, Cartografias e Florestas, Curitiba, IX+486p.
- Reginato, M., Goldenberg, R. (2007): Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. *Hoehnea* **34**: 349–360.
- Robertson, G.M. (1984): Acoustic Spacing by Breeding Males of *Uperoleia rugosa* (Anura : Leptodactylidae). *Z. Tierpsychol.* **297**: 283–297.
- Sueur, J., Aubin, T., Simonis, C. (2008): Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, **18**, 213–226.

- Toledo, L.F., Haddad, C.F.B. (2009): Defensive Vocalizations of Neotropical Anurans. *South Am. J. Herpetol.* **4**: 25–42.
- Toledo, L.F., Martins, I.A., Bruschi, D.P., Passos, M.A., Alexandre, C., Haddad, C.F.B. (2014): The anuran calling repertoire in the light of social context. *Acta Ethol.* **18**: 87–99.
- Turin, R.A.F., Nali, R.C., Prado, C.P.A. (2018): Intraspecific call variation in a Neotropical gladiator frog with a complex advertisement call. *Amphib. Reptil.* **39**: 31–39.
- Vilaça, T.R.A., Santos Silva, J.R. dos, Solé, M. (2011): Vocalization and territorial behaviour of *Phyllomedusa nordestina* Caramaschi, 2006 (Anura: Hylidae) from southern Bahia, Brazil. *J. Nat. Hist.* **45**: 1823–1834.
- Wagner, W.E. (1989): Graded aggressive signals in Blanchard's cricket frog: vocal responses to opponent proximity and size. *Anim. Behav.* **38**: 1025–1038.
- Wagner, W.E. (1992): Deceptive or honest signalling of fighting ability? A test of alternative hypotheses for the function of changes in call dominant frequency by male cricket frogs. *Anim. Behav.* **44**: 449–462.
- Wong, B.B.M., Cowling, A.N.N., Cunningham, R.B., Donnelly, C.F., Cooper, P.D. (2004): Do temperature and social environment interact to affect call rate in frogs (*Crinia signifera*)? *Austral Ecol.* **29**: 209–214.
- Zaida Tárano (2001): Variation in Male Advertisement Calls in the Neotropical Frog *Physalaemus enesefae*. *Copeia* **2001**: 1064–1072.
- Zina, J., Haddad, C.F.B. (2006): Acoustic repertoire of *Aplastodiscus arildae* and *A. leucopygius* (Anura: Hylidae) in Serra do Japi, Brazil. *South Am. J. Herpetol.* **1**: 227–236.

4 CAPITULO III

Vocalization of the sullen toad, *Scythrophrys sawayae* (Anura: Leptodactylidae: Paratelmatobiinae) from near its type locality, Paraná, Brazil³

Resumo: *Scythrophrys sawayae* é um pequeno sapo de serapilheira que vocaliza à noite, geralmente sob o folhiço em coro de 10 a 30 ou mais indivíduos. O canto de anúncio desta espécie é composto por uma única nota com pulsos, com duração média de 0,24 s, duração de pulso de 0,007 s e intervalo entre pulsos de 0,04 s. Os cantos de anúncios tinham uma alta taxa de repetição e em um alto tom, com frequência dominante em torno de 4000 Hz e frequência máxima de 5500 Hz. Os cantos agressivos são compostos por uma nota multipulsada com frequências semelhantes ao canto de anúncio.

Palavras-chave: Vocalização; Mata Atlântica; Anfíbio.

Abstract: *Scythrophrys sawayae* is a little leaf litter frog that vocalizes at night, usually under the leaves in choruses of 10 to 30 or more individuals. The advertisement call of this species consists of a single note with pulses, with an average duration of 0.24 s, pulse duration of 0.007 s and inter-pulse interval of 0.04 s. Advertisement calls have a high call rate and a high pitch, with dominant frequency around 4000 Hz and a maximum frequency of 5500 Hz. Aggressive calls consist of a multipulsed note with frequencies that are similar to the advertisement call.

Keywords: Vocalization; Atlantic forest; Amphibian.

³ Capítulo formatado de acordo com as normas da revista Salamandra.

4.1 FULL TEXT

The genus *Scythrophrys* LYNCH, 1971 belongs to the subfamily Paratelmatobiinae within the family Leptodactylidae and is a monotypic genus, composed of a single species, *Scythrophrys sawayae* (COCHRAN, 1953) (FROST 2020). Recently, SANTOS et al. (2020) mentioned a putative second species, *Scythrophrys* sp. from Serra do Tabuleiro, in Santa Catarina, South Brazil. Up to date, *S. sawayae* is known from Serra do Mar in the Brazilian states of Paraná and Santa Catarina (LOURENÇO et al. 2008, FROST 2020, SANTOS et al. 2020).

Scythrophrys sawayae was described from a single specimen collected in Banhado, Paraná, Brazil, in July 1945, apparently by a student (B. HERTEL) of PAULO SAWAYA from University of São Paulo. DORIS COCHRAN, herpetologist at the United States Museum of Natural History, upon receiving some frogs from PAULO SAWAYA, noticed a specimen “apparently new to science” and described and named it *Zachaenus sawayae*. The genus *Scythrophrys* was later proposed to include the only species of the genus (*Scythrophrys sawayae*) (LYNCH 1971). When LYNCH (1971) described the genus, he mentioned that *Scythrophrys* is derived from Greek scythros + phryne, meaning “sullen toad”.

The locality of Banhado, Paraná, mentioned by COCHRAN (1953), corresponds to the railway station close to Marumbi, between Piraquara and Morretes, in the state of Paraná” (BOKERMANN 1966). This railway opened in 1885 is still used today, and connects the city of Curitiba to the port city of Paranaguá. The Banhado station is located at about 860 m a.s.l. (25°26'17" S 48°58'43" W).

In the present work, we describe for the first time the vocalizations of *S. sawayae*, which consist of an advertisement call and an aggressive call. Recordings were done in Mananciais da Serra (25°29'46" S 48°58'58" W, 1000 m a.s.l), municipality of Piraquara, Paraná, six kilometres in a straight line from the type locality at Banhado railway station. Mananciais da Serra is a protected area of Atlantic Forest with a transition of Araucaria Forest and Dense Rain Forest (REGINATO & GOLDENBERG 2007).

Vocalizations were recorded from ten males between September and November 2019 with a digital recorder Tascam DR-40 (sampling rate 44.1 kHz, 16-bit resolution, wav format), coupled to a Yoga CSR HT81 microphone, at about 50 cm from the calling male. We did an effort to locate precisely each male before starting the

recording, and collect the calling male. Recordings that could not be attributed to the respective calling male, we did not use. Eight males were collected as voucher specimens. After each recording session, snout-vent-length (SVL) and mass of collected males were measured with digital calipers (precision ± 0.05 mm) and a digital scale (precision ± 0.01 g), and air temperature was measured with a digital thermo-hygrometer (precision $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Male specimens were killed with 5% xylocaine, fixed in 10% formalin, preserved in 70% ethanol and deposited in the Amphibian Collection of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão (collection numbers: RLUTF 430, 431, 432, 472, 491, 492, 730 and 745). Recordings were deposited in the Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard, Unicamp, Campinas, Brazil (collection numbers: FNJV 45445 – 45454).

We analysed 95 advertisement calls and 10 aggressive calls of *S. sawayae* (Supplementary Table S1). Calls were analysed in Raven Pro 1.6 for Windows (Cornell Lab of Ornithology – Bioacoustics Research Program 2013), using FFT (Fast Fourier Transformation) = 256 window width, without filters. For the advertisement calls, the following call parameters were measured: minimum frequency (Hz), maximum frequency (Hz), dominant frequency (Hz), call duration (s), inter-call interval (s), call rate (calls/min), number of pulses (un), pulse duration (s), pulse rate (pulse/s) and inter-pulse interval (s). For aggressive calls, the same call parameters were measured, except for inter-call interval, call rate and pulse rate. The spectral measurements were obtained by selecting three variables in the “choose measurements” option in Raven 1.6: (1) low frequency, (2) high frequency and (3) peak frequency. Sound figures were obtained using the TuneR version 1.0 (LIGGES et al. 2014) and Seewave version 1.7.3 (SUEUR et al. 2008) of the R platform, version 3.6.3 (R Developmental Core Team, 2016). Oscillogram and spectrogram of advertisement calls were produced with a window size of 512 samples, 90% overlap and DFT of 512 samples. As for the aggressive call, to generate the oscillogram and spectrogram in R with a clear representation of the call structure, it was necessary to use amplification in the original audio (multiplied by two), and a band-pass filter was applied at 1 to 7 kHz to improve the visualization. To assess whether there is a correlation between the acoustic parameters with SVL, mass and air temperature we used Pearson’s correlation test, with level of significance of $p \leq 0.05$, performed at PAST version 4.01. All the acoustic parameters measured for the advertisement call were tested with SLV, mass and air temperature. We used a call-centred approach following terminology and definitions of KÖHLER et al. (2017).

Scythrophrys sawayae is a small, terrestrial leaf litter frog. Mean snout-vent length of recorded males was 14.6 ± 0.7 mm (13.6 – 15.8 mm; N = 8) and mean mass was 0.31 ± 0.07 g (0.2 – 0.4 g; N = 8). The air temperature, measured after each recording, varied from 14.4 to 20.7 °C, with an average of 16.2 ± 2.3 °C.

Advertisement calls were the most frequently emitted calls, and aggressive calls were emitted by males in response to advertisement calls from other males in dense aggregations. Since we do not have more observations on the social context of these aggressive calls, and there are no previous studies on territoriality or physical combat, we abstain from giving a more detailed function of these calls. Further studies should be conducted to confirm the function of the call we here refer to as the aggressive call (compare KÖHLER et al. 2017)

The advertisement call consists of a single pulsed note, with ascending frequency modulation. It is a short call, with duration of 0.24 ± 0.05 s, a high call rate of 68 ± 19 calls/min, and inter-call intervals of 0.80 ± 0.30 s. Each note consists of 7.51 ± 1.78 pulses, pulse duration of 0.007 ± 0.001 s, inter-pulse intervals of 0.04 ± 0.03 s and pulse rate of 10.83 ± 3.9 pulses/s. Regarding the spectral parameters, the call has a high pitch, with a dominant frequency of 4293.20 ± 238.28 Hz, and a bandwidth of 2296 – 5831 Hz (Table 1, Figure 1). None of the measured acoustic parameters correlated with SVL, mass or air temperature ($p > 0.05$).

Only four recorded males emitted aggressive calls sporadically. Aggressive calls consist of a multipulsed note with ascending frequency modulation, ascending amplitude modulation, and a strong terminal increase in amplitude on the last two or three pulses. Duration of the call is 0.29 ± 0.13 s. Each note consists of 58.9 ± 20.78 pulses, with pulse duration of 0.0041 ± 0.0008 and inter-pulse interval of 0.004 ± 0.001 . Inter-call interval, call rate and pulse rate were not measured because calls were emitted sporadically and amid advertisement calls. Dominant frequency was 3807.79 ± 234.47 Hz, bandwidth 1948.96 – 5305.51 Hz.

Males of *Scythrophrys sawayae* were found vocalizing in the leaf litter, usually under the leaves (Figure 3), which can make it difficult to locate them. Males were found vocalizing at night, in choruses of 10 to 30, or more individuals. As mentioned above, advertisement calls have a high call rate, and vocalizations could be heard almost continuously throughout the night.

Temperature information, mass and size of recorded males are relevant information to be added in the descriptions of vocalizations, as these characteristics may

strongly influence various acoustic parameters. (e.g., GUIMARÃES & BASTOS 2003, LINGNAU & BASTOS 2007, TOLEDO & HADDAD 2009, FORTI et al. 2017). Particularly in the case of cryptic species, it is important that a large number of recordings, obtained under different environmental conditions, is available for analysis (e.g., PADIAL et al. 2008, GLAW et al. 2010, MONTEIRO et al. 2014).

Scythrophrys is a monotypic genus in the subfamily Paratelmatoibiinae, limiting the comparisons with calls of related species. In addition to *Scythrophrys*, the subfamily is composed of *Crossodactylodes* (5 species), *Paratelmatoibius* (7 species) and *Rupirana* (1 species) (FROST 2020, SANTOS et al. 2020). Recently, SANTOS et al. (2020) constructed a phylogeny of the subfamily based on three mitochondrial and five nuclear markers, recovering Paratelmatoibiinae and each of its four genera as monophyletic. Our description of the vocalizations of *S. sawayae* may help, in the future, to distinguish it from newly discovered cryptic species.

Acknowledgements

We thank CAPES, CNPq and Fundação Araucária the funding agencies that have made this work possible. We also would like to thank the Instituto Ambiental do Paraná for the permission to work at the study site. Permits to collect the specimens and recordings were issued by Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio license number 66853-1).

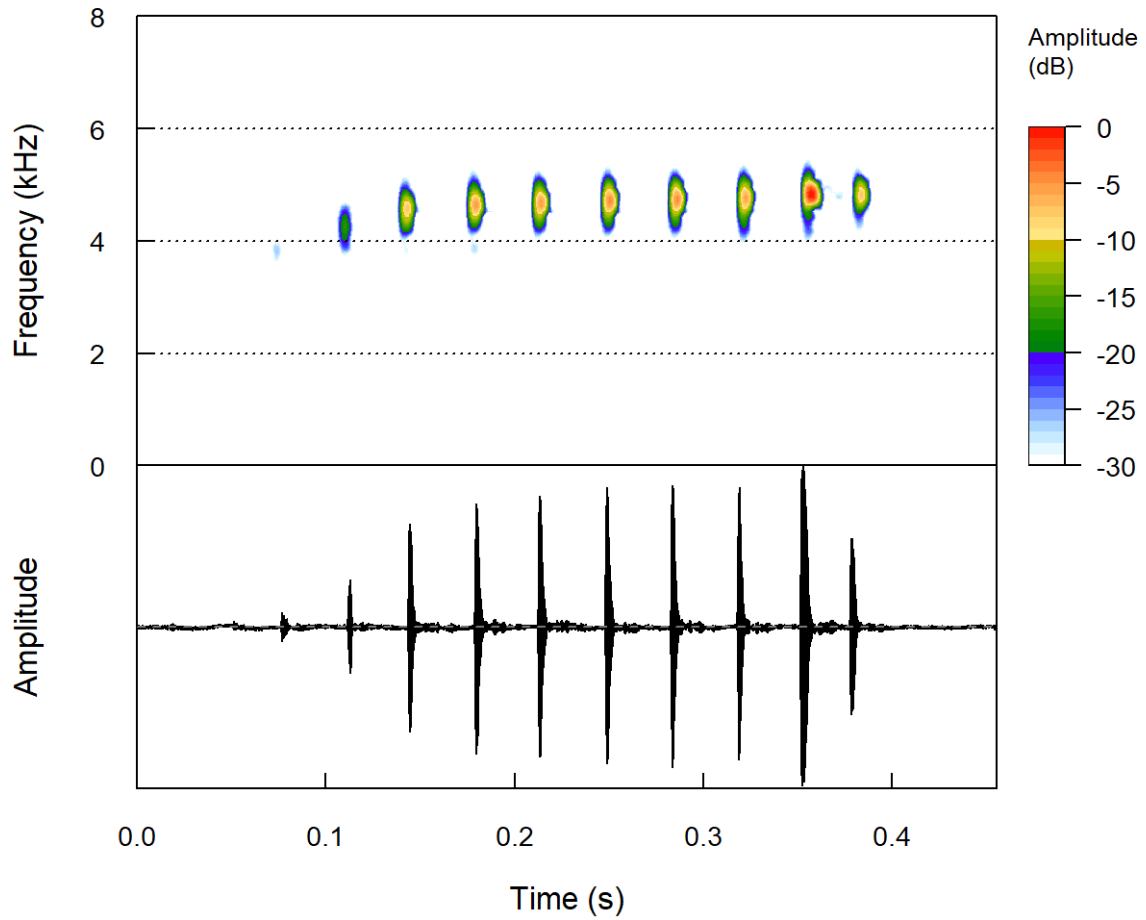


Figure 1 – Spectrogram and oscillogram of advertisement call of *Scythrophrys sawayae*. Male recorded 18 November 2019, voucher RLUTF 730, 0.2 g, 13.7 mm, 23h 25min, 14,9 °C.

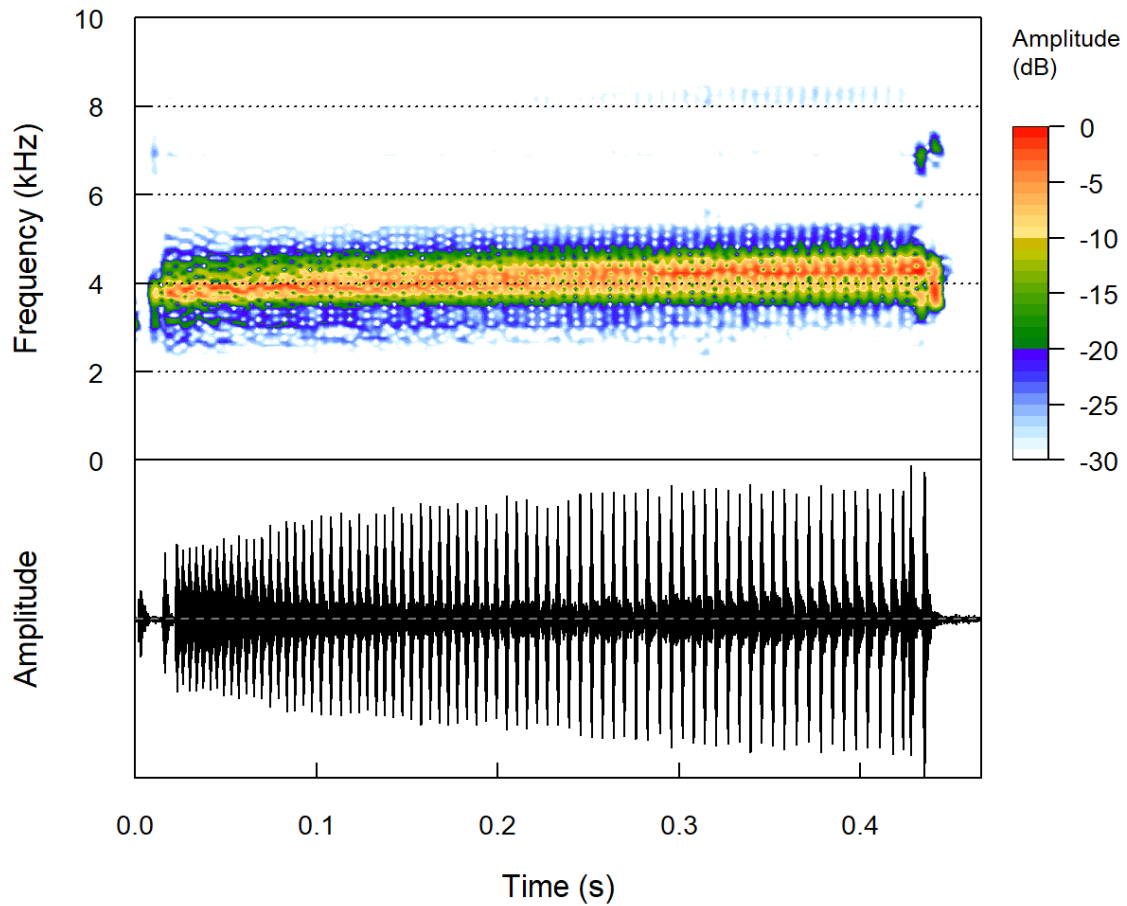


Figure 2 – Spectrogram and oscillogram of aggressive call of *Scythrophrys sawayae*. Male recorded on 25 September 2019, voucher RLUTF 432, 0.3 g, 15.4 mm, 20h39min, 14.4 °C.

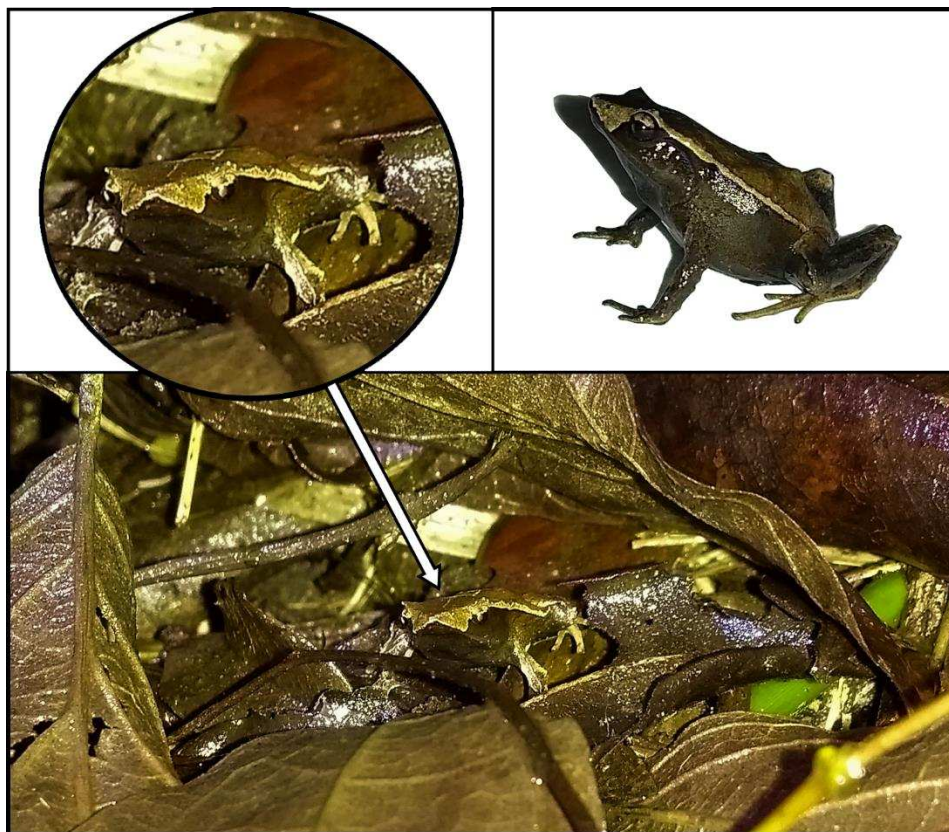


Figura 3 – Adult male *Scythrophrys sawayae* in natural habitat, on the leaf litter.

TABLE 1 – Acoustic parameters of the vocalizations of *Scythrophrys sawayae* at Mananciais da Serra, Paraná, Brazil.

Call parameter	Advertisement call	Aggressive call
	X ± SD	X ± SD
	(Min – Max)	(Min – Max)
	calls / males	calls / males
Minimum frequency (Hz)	3020.45 ± 391.61 (2296.88 – 3701.42) 95 / 10	2424.00 ± 356.82 (1948.96 – 3085.86) 10 / 4
Maximum frequency (Hz)	5245.83 ± 244.30 (4926.55 – 5830.65) 95 / 10	4971.66 ± 301.40 (4168.62 – 5305.51) 10 / 4
Dominant frequency (Hz)	4293.20 ± 238.28 (3979.34 – 4806.21) 95 / 10	3807.79 ± 234.47 (3789.84 – 4306.64) 10 / 4

	0.24 ± 0.05	0.29 ± 0.129
Call duration (s)	(0.15 – 0.30)	(0.162 – 0.492)
	95 / 10	10 / 4
	68 ± 19	
Call rate (calls/min)	(40 – 103)	-
	10	
	0.80 ± 0.30	
Inter-call interval (s)	(0.41 – 1.26)	-
	95 / 10	
	7.51 ± 1.78	58.9 ± 20.78
Pulse number	(3 – 13)	(19 – 80)
	30 / 10	10 / 4
	0.007 ± 0.001	0.0041 ± 0.0008
Pulse duration (s)	(0.004 – 0.008)	(0.002 – 0.006)
	30 / 10	10 / 4
	8.72 ± 3.92	
Pulse rate (pulse/s)	(1.52 – 19.09)	-
	50 / 10	
	0.04 ± 0.03	0.004 ± 0.001
Inter-pulse interval (s)	(0.02 – 0.11)	(0.001 – 0.01)
	30 / 10	10 / 4

REFERENCES

- Bioacoustics Research Program (2013): Raven Pro: Interactive Sound Analysis Program (version 1.5) [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Available at <http://www.birds.cornell.edu/raven>.
- BOKERMANN, W. C. (1966): Lista anotada das localidades tipo de anfíbios brasileiros. Monografia. São Paulo, RUSP, 183p.
- COCHRAN, D. M. (1953): Three new Brazilian frogs. – *Herpetologica*, **8**: 111–120.
- FORTI, L. R., LINGNAU, R. & J. BERTOLUCI (2017): Acoustic variation in the advertisement call of the Lime treefrog *Sphaenorhynchus caramaschii* (Anura: Hylidae). – *Vertebrate Zoology*, **67**: 197–205.
- FROST, D. R. (2020): Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1 (Date of access). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. doi.org/10.5531/db.vz.0001
- GLAW, F., J. KÖHLER, I. DE LA RIVA, D. R. VIEITES & M. VENCES (2010): Integrative taxonomy of Malagasy treefrogs: combination of molecular genetics, bioacoustics and comparative morphology reveals twelve additional species of *Boophis*. – *Zootaxa*, **2383**: 1–82.
- GUIMARÃES, L. D. A. & R. BASTOS (2003): Vocalizações e interações acústicas em *Hyla raniceps* (Anura, Hylidae) durante a atividade reprodutiva. – *Iheringia. Série Zoologia*, **93**: 149–158.
- KÖHLER, J., M. JANSEN, A. RODRÍGUEZ, P. J. R. KOK, L. F. TOLEDO, M. EMMRICH, F. GLAW, C. F. B. HADDAD, M.-O. RÖDEL & M. VENCES (2017): The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. – *Zootaxa*, **4251**: 1–124.
- LIGGES, U., KREY, S., MERSMANN, O. & S. SCHNACKENBERG (2014): Tuner: Analysis of music. Available from: <http://r-forge.r-project.org/projects/tuner/> (accessed 15 June 2020).
- LINGNAU, R. & R. P. BASTOS (2007): Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. – *Journal of Natural History*, **41**: 1227–1235.
- LOURENÇO, L. B., BACCI-JÚNIOR, M., MARTINS, V. G., RECCO-PIMENTEL, S. M. & C. F. B. HADDAD (2008): Molecular phylogeny and karyotype differentiation in

- Paratelmatobius* and *Scythrophrys* (Anura, Leptodactylidae). – *Genetica*, **132**: 255–266.
- LOURENÇO, L. B., DE ANCHIETTA GARCIA, P. C. & S. M. RECCO-PIMENTEL (2003): Intrageneric karyotypic divergence in *Scythrophrys* and new insights into the relationship with *Paratelmatobius* (Anura, Leptodactylidae). – *Italian Journal of Zoology*, **70**: 183–190.
- LYNCH, J. D. (1971): Evolutionary relationships, osteology, and zoogeography of leptodactyloid frogs. – *Miscellaneous Publication*, **53**: 1–238.
- MONTEIRO, J. P. C., COMITTI, E. J. & R. LINGNAU (2014): First record of the torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura, Hylodidae) in Santa Catarina State, south Brazil and acoustic comparison with the cryptic species *Hylodes perplicatus* (Anura, Hylodidae). – *Biotemas*, **27**: 93–99.
- PADIAL, J. M., KÖHLER, J., MUNOZ, A. & I. DE LA RIVA (2008): Assessing the taxonomic status of tropical frogs through bioacoustics: geographical variation in the advertisement calls in the *Eleutherodactylus discoidalis* species group (Anura). – *Zoological Journal of the Linnean Society*, **152**: 353–365.
- R Development Core Team (2016): R: A language and environment for statistical computing, Version 3.3.2. – Available at <http://www.R-project.org>.
- REGINATO, M. & R. GOLDENBERG (2007): Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. – *Hoehnea*, **34**: 349–360.
- SANTOS, M. T. T., MAGALHÃES, R. F., LYRA, M. L., SANTOS, F. R., ZAHER, H., GIASSON, L. O. M., GARCIA, P. C. A., CARNAVAL, A. C. & C. F. B. HADDAD (2020): Multilocus phylogeny of Paratelmatobiinae (Anura: Leptodactylidae) reveals strong spatial structure and previously unknown diversity in the Atlantic Forest hotspot. – *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **148**: 106819.
- SUEUR, J., T. AUBIN & C. SIMONIS (2008): Seewave: a free modular tool for sound analysis and synthesis. – *Bioacoustics*, **18**: 213–226.
- TOLEDO, L. F. & C. F. B. HADDAD (2009): Defensive vocalizations of Neotropical anurans. – *South American Journal of Herpetology*, **4**: 25–42.

5 CAPITULO IV

**VARIAÇÃO DO CANTO DE ANÚNCIO DE *Leptodactylus notoaktites* HEYER,
1978 (ANURA: LEPTODACTYLIDAE) NO ESTADO DO PARANÁ,
BRASIL⁴**

Resumo. Nosso objetivo foi descrever o canto de anúncio de *Leptodactylus notoaktites* com base em um número maior de machos e cantos, além de avaliar a variação do canto entre os machos. Também, comparamos nossas gravações com outras previamente utilizadas para descrever o canto. O canto de anúncio da espécie é formado por uma nota com presença de harmônicos e modulação de frequência ascendente. A duração do canto foi de 0,09 s, o intervalo entre cantos foi de 0,44 s, frequência mínima a 5% de 865,63 Hz, frequência a 95% de 1780,1 Hz e frequência dominante de 1231,70 Hz. Todos os parâmetros espectrais e a duração do canto tiveram baixa variação intraindividual. Entre os machos (interindividual), somente o parâmetro espectral frequência a 95% do canto foi considerada estático, todos os demais parâmetros foram considerados dinâmicos/intermediários. De modo geral nossa descrição se assemelha às descrições prévias, contudo encontramos algumas diferenças provavelmente devido ao maior número de machos e cantos analisados.

Palavras-chave: bioacústica, vocalização, Mata Atlântica

Abstract. Our objective was to describe the advertisement call of *Leptodactylus notoaktites* based on a larger number of males and calls, as well as to evaluate the variation of the call between the males. Also, we compare our recordings with others previously used to describe the call. The advertisement call of the species is formed by a note with the presence of harmonics and rising frequency modulation. The duration of the call was 0.09 s, the interval between calls was 0.44 s, the minimum frequency at 5% was 865.63 Hz, the frequency at 95% was 1780.1 Hz and the dominant frequency was 1231.70 Hz. All spectral parameters and the call duration had low intra-individual variation.

⁴ Capítulo formatado de acordo com as normas da revista Studies on neotropical fauna and environment

Among males (interindividual), only the spectral parameter frequency at 95% of the call was considered static, all other parameters were considered dynamic/intermediate. In general, our description is similar to previous descriptions, however we find some differences probably due to the greater number of males and calls analyzed.

Keywords: bioacoustics, vocalization, Atlantic Forest.

5.1 INTRODUÇÃO

A ecologia acústica é uma importante parte da dimensão da história natural dos anfíbios anuros, a qual engloba a maior parte das informações acerca da comunicação desses animais (Duellman & Trueb 1994). As vocalizações, emitidas pelos machos, possuem funções essenciais na biologia reprodutiva dos anuros, como a atração das fêmeas, identificação sexual dos machos pelas fêmeas e territorialidade (Bastos & Haddad 1996; Roesli & Reyer 2000; Bernarde 2012). Existem diferentes tipos de vocalizações, como canto territorial, agressivo, agonístico, porém o mais comum entre eles é o canto de anúncio, que possui função essencial da biologia reprodutiva dos anuros (Wells 2010; Gambale & Bastos 2014; Guerra et al. 2018). Informações que abordam as vocalizações dos anuros têm sido relevantes em estudos de comportamento, ecologia, evolução e conservação (Cocroft & Ryan 1995; Gerhardt & Huber 2002; Goicoechea et al. 2010; Oseen & Wassersug 2002), além de ter se tornado uma ferramenta muito importante para a identificação e descrição das espécies (Köhler et al. 2017; Padial et al. 2008).

Apesar de sua relevância e diversa aplicabilidade, ainda existe uma grande lacuna acerca das vocalizações dos anfíbios no Brasil. Na Mata Atlântica, por exemplo, cerca de 45% das espécies endêmicas desse bioma não possuem descrição do seu canto de anúncio, e menos de 15% possui mais de uma descrição do canto (Guerra et al. 2018). Possuir mais de um canto descrito, de mais de um indivíduo e até mesmo de diferentes populações, é muito importante uma vez que as vocalizações podem ter variações intraespecíficas (Gerhardt 1991). Além disso, diversos fatores bióticos e abióticos, podem influenciar na vocalização dos anuros, tais como temperatura do ar, tamanho e massa corporal dos indivíduos (Giacoma et al. 1997; Navas & Bevier 2001; Lingnau & Bastos 2007). Dessa forma, uma variedade maior de vocalizações analisadas permite uma

descrição mais precisa dos parâmetros acústicos dos cantos de anúncio, podendo até mesmo auxiliar na identificação e descrição de espécies crípticas (De Carvalho 2012; Glaw et al. 2010; Heyer & Reid 2003).

Leptodactylus notoaktites Heyer, 1978 é uma espécie pertencente à família Leptodactylidae que ocorre no estado de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Figueiredo et al. 2018). O canto de anúncio dessa espécie foi descrito originalmente por Heyer et al. (1996) com base em dois machos gravado no município de Morretes, Paraná. Posteriormente, o canto também foi descrito com base na gravação feita por Heyer, em Morretes (Sá et al. 2014). Além disso, Figueiredo et al. (2018) descrevem o canto de um macho gravado em Santa Mariana, Paraná, de forma sintetizada com o objetivo de confirmar a identificação da espécie. O objetivo desse trabalho foi contribuir com uma descrição mais detalhada do canto de anúncio de *L. notoaktites* em Piraquara (PR – Brasil), comparando com todas as descrições prévias na literatura, e avaliar a variação intraespecífica.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 . ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada nos Mananciais da Serra (25°30'28"S 49°1'30"W), Piraquara, Paraná, sul do Brasil (Figure 1), no bioma Mata Atlântica. A porção do habitat amostrado é caracterizado por ser em uma área de transição entre as fitofisionomias Floresta Ombrófila Mista, dominada por *Araucaria angustifolia* (Floresta com Araucárias) e Floresta Ombrófila Densa (Reginato & Goldenberg, 2007). A precipitação anual varia de 1400 a 1700, com chuvas concentradas de outubro a março (Paraná 1987). A temperatura média é de 22 °C nos meses mais quentes e 18 °C nos meses mais frios (Ferreira 1996).

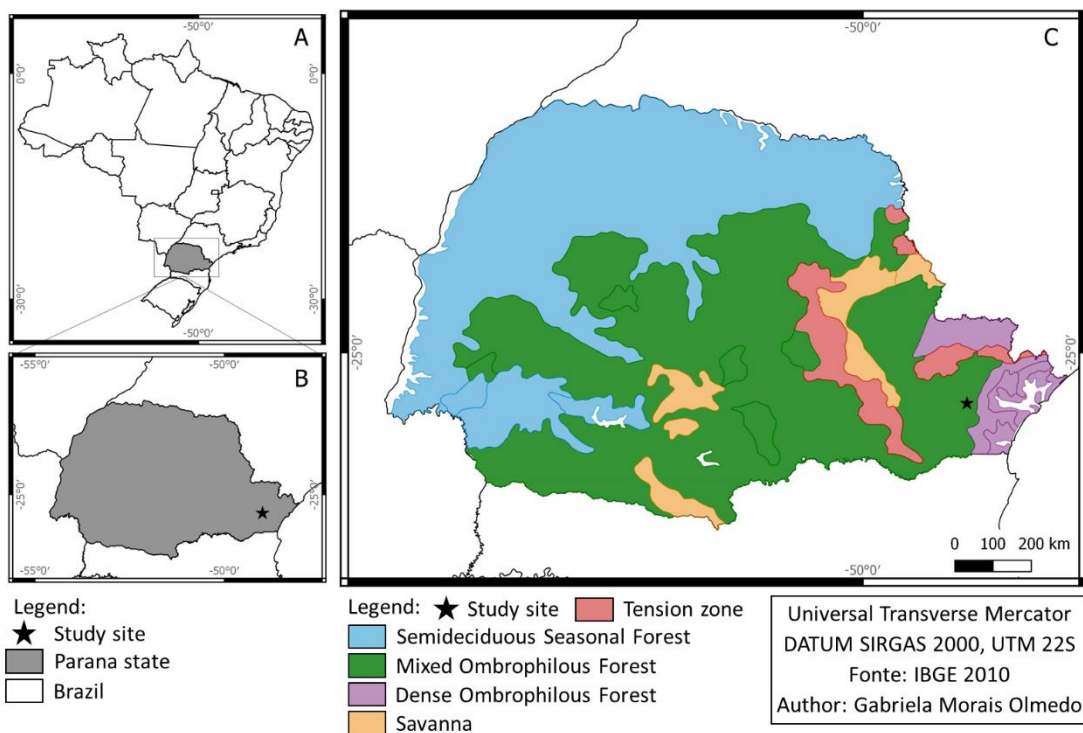


Figura 1 – Localidade da área de estudo. A: Mapa do Brasil ressaltando o estado do Paraná; B: Mapa do Paraná ressaltando a área de estudo; C: Mapa do Paraná ressaltando a fisionomia da vegetação.

5.2.2 . COLETA DE DADOS

As amostragens ocorreram entre novembro de 2019 e janeiro de 2020 e um total de seis machos de *Leptodactylus notoaktites* foram gravados. A vocalização dos indivíduos foi gravada com microfone unidirecional CSR HT81 – YOGA, acoplado a um gravador modelo tascam DR-40, a uma distância aproximada de 50 cm, dos quais dois foram coletados e serão posteriormente tombados em coleção científica. Após a gravação, mensuramos a temperatura do ar com um termohigrômetro (0,1°C precisão), e registramos o peso e o comprimento rostro-cloacal dos machos capturados com uma balança (0,01 g precisão) e paquímetro digital (0,05 mm precisão). Em seguida, os indivíduos foram eutanasiados com xilocaína, fixados em formol 10% e preservados em álcool 70%. A coleta e eutanásia dos indivíduos, bem como a gravação de sua vocalização, foi autorizada pelo órgão competente (ICMBio número da licença 66853-1).

Os dois indivíduos capturados foram tombados na Coleção de Anfíbios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão (números da coleção: RLUTF 1216 e 1217). As gravações foram depositadas na Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard, Unicamp, Campinas, Brasil (vouchers: FNJV 45554 – 45560).

Para comparar os parâmetros acústicos dos indivíduos coletados em Piraquara, solicitamos as gravações de *L. notoaktites* feitas em Santa Mariana e Morretes, depositadas na Fonoteca Neotropical Jacques Vielliard da Universidade Estadual de Campinas (FNJV-33018 - 33021, FNJV-31043). Também, solicitamos uma gravação depositada na Macaulay Library da Cornell University (ML Audio 199910). As descrições dos cantos contidos nessas gravações estão disponíveis nos seguintes artigos: Heyer et al. (1996), De Sá et al. (2014) e Figueiredo et al. (2018). Contudo, solicitamos as gravações para podermos analisar da mesma forma que os cantos gravados em Piraquara, tornando os dados mais comparáveis.

5.2.3 . ANÁLISES DE DADOS

Foram analisados 60 cantos de seis machos de *L. notoaktites* gravados em Piraquara. Além disso, analisamos 24 cantos gravados em São João da Graciosa (Morretes), 20 gravados na Usina Lange (Morretes) e 18 gravados em Santa Mariana, todos de um único macho. O programa utilizado para realizar as medidas dos cantos foi o software Raven pro 1.6 para Windows (Cornell Lab of Ornithology – Bioacoustics Research Program 2011), usando FFT (Fast Fourier Transformation) = 512. Não houve necessidade do uso de filtros. Foram analisados os seguintes parâmetros acústicos: frequência dominante (Hz), frequência mínima a 5% de energia, frequência máxima a 95% de energia, duração da do canto (s), intervalo entre cantos (s) e taxa de repetição de canto (call/min). Nós mensuramos os parâmetros espectrais selecionando três medidas na

opção “choose measurements” no Raven 1.6: (1) peak frequency, (2) freq. 5% e (3) freq. 95%. Para os parâmetros temporais, utilizamos a medida “delta time” no mesmo software.

A variabilidade dos parâmetros acústicos dos cantos de cada macho (intraindividual) e entre os machos (interindividual) foi analisada a partir do coeficiente de variação para cada parâmetro, proposto por Gerhardt (1991), onde $CV = (DP/\bar{x}) \times 100$. O coeficiente de variação intraindividual (CV_{intra}) considera a média e o desvio padrão dos cantos de cada indivíduo. Já o coeficiente de variação interindividual (CV_{inter}), é considerado a média e o desvio padrão dos parâmetros de todos os indivíduos. Quando o coeficiente de variação é igual ou menor que 5%, o parâmetro avaliado é considerado como estático, e quando é maior ou igual a 12%, considerado como dinâmico (Gerhardt, 1991).

Para avaliar se existe variabilidade entre os machos, calculamos a relação dos dois coeficientes de variação (CV_{inter}/CV_{intra}). Quando o valor obtido é $CV_{inter}/CV_{intra} > 1$, o parâmetro acústico avaliado auxilia no reconhecimento individual (Márquez & Eekhout, 2006).

Para determinar a existência de diferenças entre as médias de variáveis dos cantos de *L. notoaktites* entre as amostras colhidas em cada localidade, realizamos uma Pillai's Trace One-way Multivariate Analysis Of Variance (MANOVA) e one-way anovas como post-hoc através do pacote *car* (Fox & Weisberg, 2019) no ambiente R 4.0.2 (R Core Team, 2019).

Os oscilogramas e espectrogramas foram gerados através dos pacotes *tuneR* 1.33 (Ligges et al., 2018) e *Seewave* 2.14 (Sueur et al., 2008) com uma largura de janela de 512 amostras, 90% de sobreposição e DFT de 1024 amostras.

5.3 . RESULTADOS

Gravamos o canto de anúncio de seis machos de *Leptodactylus notoaktites* em Piraquara e analisamos 10 cantos de cada macho. O canto de anúncio dessa espécie é composto por uma única nota não pulsionada, sendo um canto simples, com presença de estrutura harmônica (Figura 1A). A frequência dominante possui uma amplitude entre 689,1 Hz e 1981,06 Hz, demonstrando que o canto possui uma modulação de frequência ascendente. Em todos os cantos analisados, é possível ver uma breve modulação de frequência descendente no final do canto (Figura 1A). A duração do canto foi de $0,09 \text{ s} \pm 0,01 \text{ s}$ ($0,08 \text{ s} - 0,1 \text{ s}$), o intervalo de silêncio entre os cantos foi de $0,44 \text{ s} \pm 0,06 \text{ s}$ ($0,33 \text{ s} - 0,49 \text{ s}$) e frequência dominante de $1231,70 \text{ Hz} \pm 229,05 \text{ Hz}$ ($947,46 \text{ Hz} - 1498,71$) (Tabela 1). Todos os parâmetros espectrais e a duração do canto tiveram baixa variação em cada macho ($<5\%$), portanto podem ser considerados estáticos (Tabela 1). Intervalo de silêncio entre cantos teve uma variação intermediária ($CV_{\text{intra}} = 18,22$). Entre os machos, somente o parâmetro espectral frequência a 95% do canto pode ser considerado estático, todos os demais parâmetros foram considerados dinâmicos (Tabela 2). A razão entre CV_{inter} e CV_{intra} de todos os parâmetros acústicos analisados foi maior do que 1, indicando que a variação é maior entre os machos do que em cada macho. Os parâmetros acústicos das populações avaliadas diferiram entre si (MANOVA; $p < 0,0001$; $F = 28,6$). Os valores da comparação par a par entre a população de Piraquara e as demais estão representados na Tabela 3.

Tabela 1 – Principais parâmetros acústicos das vocalizações de *Leptodactylus notoaktites* gravados no estado do Paraná.

Parâmetros acústicos	<i>L. notoaktites</i> ¹ (FNJV 0033018 - 0033021) Santa Mariana - PR	<i>L. notoaktites</i> ² (ML 199910) São João da Graciosa, Morretes - PR	<i>L. notoaktites</i> ³ (FNJV 0031043) Usina Lange, Morretes - PR	<i>L. notoaktites</i> ⁴ (Presente estudo) Mananciais da Serra, Piraquara - PR
Duração do canto (s)	0,079 ± 0,004 (0,073 - 0,085)	0,047 ± 0,003 (0,041 – 0,052)	0,09 ± 0,01 (0,08 – 0,10)	0,094 ± 0,011 (0,078 – 0,12)
Intervalo entre cantos (s)	0,65 ± 0,018 (0,45 - 0,90)	0,53 ± 0,17 (0,33 – 0,87)	0,59 ± 0,14 (0,46 – 1,03)	0,436 ± 0,065 (0,27 – 0,84)
Frequência dominante (Hz)	961,82 ± 215,49 (775,19 – 1205,9)	1181,25 ± 88,15 (1125 – 1312,5)	1478,61 ± 197,83 (1033,6 – 1636,5)	1231,70 ± 229,05 (947,46–1550,40)
Frequência a 5% (Hz)	689,062 ± 0	649,87 ± 95,7 (562,5 – 750)	685,47 ± 17,58 (602,93 – 689,06)	865,635 ± 151,63 (689,06 - 1119,73)
Frequência a 95% (Hz)	1646,09 ± 121,41 (1464,26 - 1808,79)	1490,62 ± 41,93 (1312,5 – 1500)	1729,83 ± 24,32 (1722,66 – 1808,79)	1780,08 ± 78,76 (1636,52 - 1981,06)
Taxa de repetição (canto/s)	1,37	1,61	1,53	1,85 ± 0,27 (1,4 – 2,26)

Tabela 2 – Variação dos principais parâmetros acústicos das vocalizações de *Leptodactylus notoaktites* nos Mananciais da Serra, Paraná, Brasil. Legenda: CV_{INTRA} = coeficiente de variação intraindividual; CV_{INTER} = coeficiente de variação interindividual.

Parâmetros acústicos	CV_{INTRA}		CV_{INTER}		$\frac{CV_{INTER}}{CV_{INTRA}}$
Duração do canto (s)	4,80	Estático	11,90	Intermediário	2,48
Intervalo entre cantos (s)	18,22	Dinâmico	23,88	Dinâmico	1,31
Frequência dominante (Hz)	3,50	Estático	17,57	Dinâmico	5,02
Frequência 5% (Hz)	1,42	Estático	17,52	Dinâmico	12,34
Frequência 95% (Hz)	2,89	Estático	4,42	Estático	1,52

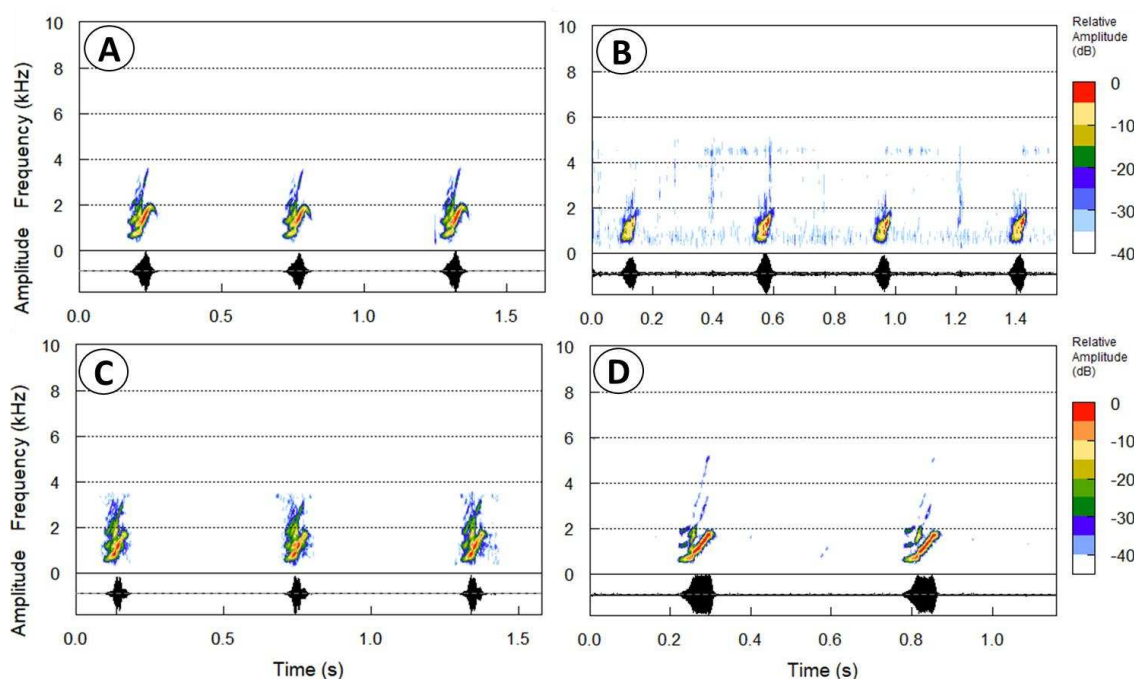


Figura 1 – Espectrograma e oscilograma do canto de anúncio de *Leptodactylus nototaktites*. A = macho gravado em Piraquara (PR) dia 14 de janeiro de 2020, voucher FNJV 45560, 23h30, 17,3°. B = macho gravado por Adão Cardoso em Morretes (localidade usina Lange), dia 03 de janeiro de 1982, voucher FNJV 0031043, 18h, 24 °C. C = macho gravado por Guilherme Figueiredo em Santa Mariana (PR) dia 14 de novembro de 2010, voucher FNJV 0033018, 20h30, 26 °C. D = macho gravado por W.

Ronald Heyer em Morretes (localidade São João da Graciosa), dia 26 de dezembro de 1978, voucher ML 199910, 20h45, 16,9 °C.

Tabela 3 – Valores da pairwise comparison entre a população de *Leptodactylus notoaktites* de Piraquara (presente estudo) e as demais gravações analisadas. Legenda: NS = não significativo; ¹ = Santa Mariana – PR (Parque Estadual Mata São Francisco); ² = Morretes – PR (São João da Graciosa); ³ = Morretes – PR (Usina Lange).

Parâmetros acústicos	<i>L. notoaktites</i> ¹ (FNJV 0033018 - 0033021)	<i>L. notoaktites</i> ² (ML 199910)	<i>L. notoaktites</i> ³ (FNJV 0031043)
Duração do canto (s)	P < 0,0001	NS	P < 0,0001
Intervalo entre cantos (s)	P < 0,01	P < 0,0001	NS
Frequência dominante (Hz)	P < 0,01	P < 0,0001	NS
Frequência a 5% (Hz)	P < 0,0001	P < 0,0001	P < 0,0001
Frequência a 95% (Hz)	P < 0,05	NS	P < 0,0001

5.4 . DISCUSSÃO

O canto de *Leptodactylus notoaktites* é composto por uma única nota, possui presença de estrutura harmônica e modulação de frequência ascendente. De modo geral nossa descrição se assemelha às descrições prévias, contudo há algumas diferenças, que vêm à tona agora com um maior conhecimento da variação do canto de anúncio desta espécie.

A frequência dominante possui uma grande amplitude de frequência, começando, em média, em 690 Hz, e atingindo valores cerca de 1900 Hz. Esses valores abrangem a maior parte da amplitude de frequência total do canto, demonstrando que a espécie possui uma modulação de frequência bem visível. De Sá et al. (2014) descrevem o canto como “parcialmente pulsionado”. Desconhecemos o conceito de cantos “parcialmente pulsionados”. Os cantos devem ser considerados pulsionados ou não-pulsionados. Outras formas de caracterização do canto como pseudo pulsos não é recomendada (Köhler et al. 2017). Assim, consideramos o

canto de *L. notoaktites* como não pulsionado (Bilate et al. 2006). Outro aspecto importante a ser destacado é que Heyer et al. (1996) comentam que em *L. notoaktites* não há a modulação descendente ao final do canto (*terminal drop in frequency*), que havia sido encontrada em outras espécies. Com as nossas gravações foi possível verificar agora que a porção final do canto de *L. notoaktites* também pode apresentar essa breve modulação descendente na frequência. Além disso, registramos que a frequência a 95% pode chegar até 1981,1 Hz, valor mais alto do que o registrado pelas outras gravações (1808,8 Hz e 1500 Hz).

Nós encontramos diferença significativa entre os parâmetros acústicos das gravações do presente estudo e das gravações feitas previamente por outros pesquisadores. As diferenças ocorreram tanto nos parâmetros espectrais quanto temporais. É provável que essa diferença entre as populações esteja associada com o número de machos e cantos analisados. Tanto as gravações feitas em Santa Mariana quanto as gravações feitas nas duas localidades de Morretes correspondem a um único macho, e possuem cerca de 20 cantos apenas. Várias espécies possuem variação intraespecíficas em seus cantos, além da possibilidade de serem influenciados pela temperatura e tamanho corporal (Guerra et al. 2018; Lingnau & Bastos 2007). No presente estudo, nós avaliamos 60 cantos de seis machos, o que pode ter contribuído para um maior entendimento sobre a variação do canto dessa espécie. Também, é possível que o tamanho corporal dos indivíduos e os diferentes locais/microambientes onde os mesmos foram gravados tenham influenciado nas diferenças dos cantos (Goutte et al. 2018; Lingnau & Bastos 2007). Por exemplo, Narins & Smith (1986) encontraram correlação entre o tamanho corporal e frequências do canto com a altitude dos locais de cada população. Machos da espécie *Eleutherodactylus coqui* gravados em locais mais altos eram maiores e emitiam menores frequências do que machos gravados em locais mais baixos (Narins & Smith 1986). Essa relação também foi encontrada em *Hyloxalus subpunctatus*, porém, de forma oposta. Machos

de *H. subpunctatus* gravados em locais mais altos eram menores e emitiam frequências mais altas (Navas & Bevier 2001), o que sugere que a relação tamanho corporal e altitude possa variar entre espécies. Dessa forma, é possível que essa relação também ocorra entre as populações de Piraquara e de Santa Mariana, por exemplo, cuja as localidades possuem uma diferença de cerca de 400 m de altitude.

Nós registramos baixa variação em cada macho e entre os machos na frequência do canto a 95%, indicando que é um parâmetro estático. Os parâmetros estáticos afetam principalmente a qualidade do canto (Gerhardt 1991) e são importantes no reconhecimento das espécies, uma vez que eles tendem a se manter constantes entre os machos (Gerhardt 1991; Márquez & Eekhout 2006). Já os parâmetros espectrais frequência dominante, frequência a 5% e o parâmetro temporal duração do canto foram considerados estáticos em cada macho (CV_{intra}) e intermediários/dinâmicos entre os machos (CV_{inter}). Esses valores resultaram em uma razão de coeficiente alta, principalmente para a frequência dominante e a 5%, indicando que esses parâmetros possuem potencial de discriminação entre os machos (Forti et al. 2017; Morais et al. 2012).

De forma geral, todas as razões entre coeficientes demonstraram potencial de discriminação entre machos, em especial a frequência dominante e frequência a 5%. Esses parâmetros espectrais aparentam ter variação suficiente entre machos para que possa ocorrer a seleção sexual. Outros estudos já demonstraram que a frequência dominante é um parâmetro importante para a discriminação dos machos (Bee et al. 2001; Bee & Gerhardt 2001; Guerra et al. 2017; Morais et al. 2012) e que também informam sobre a condição corporal do macho emissor (Gambale et al. 2014; Morais et al. 2012).

Certamente a variação das vocalizações de muitas espécies de anfíbios está longe de estar completamente conhecida, tal como em *Leptodactylus notaktites*. Em uma outra espécie de

Leptodactylus do grupo *fuscus*, *L. mystacinus*, recentemente foi mostrada uma grande variação de parâmetros do seu canto de anúncio, como duração do canto e frequência dominante, ao longo de uma mesma noite. Essas variações não puderam ser explicadas tampouco pela variação da temperatura ou da massa do macho cantor (Jansen et al. 2016). Sendo o grupo de *L. fuscus* ainda com algumas discussões acerca de suas relações filogenéticas (Sá et al. 2014), certamente um maior conhecimento da variação intraespecífica nas vocalizações é de grande importância na definição de alguns desses complexos de espécies.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES, CNPq e Fundação Araucária, agências de fomento que tornaram este trabalho possível. Agradecemos também ao Instituto Ambiental do Paraná pela permissão para trabalhar no local do estudo. As autorizações para coleta de espécimes e gravações foram expedidas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (licença ICMBio nº 66853-1).

REFERÊNCIAS

- Bastos RP, & Haddad CFB. 1996. Breeding Activity of the Neotropical Treefrog *Hyla elegans* (Anura, Hylidae). *J Herpetol*, 30(3), 355–360.
- Bee MA, & Gerhardt HC. 2001. Neighbour-stranger discrimination by territorial male bullfrogs (*Rana catesbeiana*): I. Acoustic basis. *Anim Behav*, 62(6), 1129–1140.
<https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1851>
- Bee MA, Kozich CE, Blackwell KJ, Gerhardt CH. 2001. Individual variation in advertisement calls of territorial male green frogs, *Rana clamitans*: Implications for individual discrimination. *Ethology*, 107(1), 65–84. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2001.00640.x>
- Bilate M, Wogel H, Weber LN, Abrunhosa PA. 2006. Vocalizações e girino de *Leptodactylus spixi* Heyer, 1983 (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). *Arquivos Do Museu Nacional, Rio de Janeiro*, 64(3), 235–245.
- Cocroft RB, Ryan MJ. 1995. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Anim Behav*, 49(2), 283–303. <https://doi.org/10.1006/anbe.1995.0043>
- De Carvalho TR. 2012. A new species of *Pseudopaludicola* Miranda-Ribeiro (Leiuperinae: Leptodactylidae: Anura) from the Cerrado of southeastern Brazil. *Zootaxa*, 3328, 47–54.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3608.5.7>
- Duellman WE, Trueb L. 1994. *Biology of Amphibians* (2nd ed.). The Johns Hopkins University Press.
- Figueiredo GT., Santana DJ, Storti LF, dos Anjos L. 2018. Ecological niche modeling and an updated geographical distribution map of *Leptodactylus notoaktites* heyer, 1978 (Anura, leptodactylidae) with a new occurrence record. *Oecologia Australis*, 22(1), 41–54.
<https://doi.org/10.4257/oeco.2018.2201.04>

- Fox J, Weisberg S. 2019. An R companion to applied regression (Third). Thousand Oaks CA: Sage.
- Forti LR, Lingnau R, Bertoluci J. 2017. Acoustic variation in the advertisement call of the Lime treefrog *Sphaenorhynchus caramaschii* (Anura: Hylidae). *Vertebr Zool*, 67(2), 197–205.
- Gambale PG, Bastos RP. 2014. Vocal repertoire and bioacoustic analyses in *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) from southern Brazil. *Herpetol J*, 24(1), 31–39.
- Gambale P, Signorelli L, Bastos R. 2014. Individual variation in the advertisement calls of a Neotropical treefrog (*Scinax constrictus*). *Amphibia-Reptilia*, 35, 271–281.
<https://doi.org/10.1163/15685381>
- Gerhardt HC. 1991. Female mate choice in treefrogs: static and dynamic acoustic criteria. *Anim Behav*, 42(4), 615–635. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80245-3](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80245-3)
- Gerhardt HC, Huber F. 2002. *Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions*. The University of Chicago Press.
<https://doi.org/10.1121/1.1591773>
- Glaw F, Köhler J, De La Riva I, Vieites DR, Vences M. 2010. Integrative taxonomy of malagasy treefrogs: Combination of molecular genetics, bioacoustics and comparative morphology reveals twelve additional species of *Boophis*. *Zootaxa* (Issue 2383).
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.2383.1.1>
- Goicoechea N, De La Riva I, Padial JM. 2010. Recovering phylogenetic signal from frog mating calls. *Zool Scr*, 39(2), 141–154. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.2009.00413.x>
- Goutte S, Dubois A, Howard SD, Márquez R, Rowley JLL, Dehling JM, Grandcolas P, Xiong RC, Legendre F. 2018. How the environment shapes animal signals: a test of the acoustic adaptation hypothesis in frogs. *J Evol Biol*, 31(1), 148–158.
<https://doi.org/10.1111/jeb.13210>

- Guerra V, de Morais AR, Gambale PG, Oda FH, Bastos RP. 2017. Variation of the advertisement call of *Physalaemus centralis* Bokermann, 1962 (Anura: Leptodactylidae) in the Cerrado of central Brazil. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.*, 52(2), 103–111. <https://doi.org/10.1080/01650521.2017.1294414>
- Guerra V, Lingnau R, Barreto BS, Kwet A, Bastos RP. 2018. Vocalizations of *Limnomedusa macroglossa* (Amphibia: Anura: Alsodidae). *Salamandra*, 54(1), 97–100.
- Guerra V, Llusia D, Gambale PG, de Morais AR, Márquez R, Bastos RP. 2018. The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. *PLoS ONE*, 13(1), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191691>
- Heyer WR, García-Lopez JM, Cardoso AJ. 1996. Advertisement call variation in the *Leptodactylus mystaceus* species complex (Amphibia: Leptodactylidae) with a description of a new sibling species. *Amphibia Reptilia*, 17(1), 7–31. <https://doi.org/10.1163/156853896X00252>
- Heyer WR, Reid YR. 2003. Does advertisement call variation coincide with genetic variation in the genetically diverse frog taxon currently known as *Leptodactylus fuscus* (Amphibia: Leptodactylidae)? *An Acad Bras Cienc*, 75(1), 39–54. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652003000100006>
- Jansen M, Masurowa A, O'Hara RB. 2016. Temporal variation, duty cycle, and absolute calling effort during sustained calling of *Leptodactylus mystacinus* (Anura: Leptodactylidae). *Salamandra*, 52(4), 328–336.
- Köhler J, Jansen M, Rodríguez A, Kok PJR, Toledo LF, Emmrich M, Glaw F, Haddad CFB, Rödel MO, Vences M. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* (Vol. 4251, Issue 1). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4251.1.1>

- Ligges U, Krey S, Mersmann O, Schnackenberg S. 2018. tuneR: analysis of music and speech. R package version, 1(3).
- Lingnau R, Bastos RP. 2007. Vocalizations of the Brazilian torrent frog *Hylodes heyeri* (Anura: Hylodidae): Repertoire and influence of air temperature on advertisement call variation. J Nat Hist, 41(17–20), 1227–1235. <https://doi.org/10.1080/00222930701395626>
- Márquez R, Eekhout X. 2006. Advertisement calls of six species of anurans from Bali, Republic of Indonesia. J Nat Hist, 40(9–10), 571–588. <https://doi.org/10.1080/00222930600712129>
- Morais AR, Batista VG, Gambale PG, Signorelli L, Bastos RP. 2012. Acoustic communication in a Neotropical frog (*Dendropsophus minutus*): vocal repertoire, variability and individual discrimination. Herpetol J, 22(1), 249–257.
- Narins PM, Smith SL. 1986. Clinal variation in anuran advertisement calls: basis for acoustic isolation? Behav Ecol Sociobiol, 19(2), 135–141. <https://doi.org/10.1007/BF00299948>
- Navas CA, Bevier CR. 2001. Thermal dependency of calling performance in the eurythermic frog *Colostethus subpunctatus*. Herpetologica, 57(3), 384–395.
- Oseen KL, Wassersug RJ. 2002. Environmental factors influencing calling in sympatric anurans. Oecologia, 133(4), 616–625. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1067-5>
- Padial JM, Köhler J, Muñoz A, De La Riva I. 2008. Assessing the taxonomic status of tropical frogs through bioacoustics: Geographical variation in the advertisement calls in the *Eleutherodactylus discoidalis* species group (Anura). Zool J Linn Soc, 152(2), 353–365. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2007.00341.x>
- Bernarde PS. (2012). *Anfíbios e Répteis - Introdução ao estudo da Herpetofauna Brasileira* (1st ed.). Anolis.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation

for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Reginato M, Goldenberg R. 2007. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. *Hoehnea*, 34(3), 349–360. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062007000300006>

Roesli M, Reyer HU. 2000. Male vocalization and female choice in the hybridogenetic *Rana lessonae/Rana esculenta* complex. *Anim Behav*, 60(6), 745–755. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1519>

Sá ROD, Grant T, Camargo A, Heyer WR, Ponssa ML, Stanley E. 2014. Systematics of the Neotropical Genus *Leptodactylus* Fitzinger, 1826 (Anura: Leptodactylidae): Phylogeny, the Relevance of Non-molecular Evidence, and Species Accounts. *South Am J Herpetol*, 9(1), 1–128. <https://doi.org/10.2994/SAJH-D-13-00022.1>

Sueur J, Aubin T, Simonis C. 2008. Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213-226.

Wells DK. (2010). *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press.