



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE

LEONARDO MARQUES DE ABREU

INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS SOBRE
AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE *PHYLLODYTES*
***LUTEOLUS* (ANURA, HYLIDAE)**

ILHÉUS - BAHIA

2022

LEONARDO MARQUES DE ABREU

**INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE
RODOVIAS SOBRE AS PROPRIEDADES DO CANTO DE
ANÚNCIO DE *PHYLLODYTES LUTEOLUS* (ANURA, HYLIDAE).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade da Universidade Estadual de Santa Cruz para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Mirco Solé

Co-orientador: Dr. Vinicius Guerra

ILHÉUS - BAHIA

ABRIL 2022

LEONARDO MARQUES DE ABREU

**INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS
SOBRE AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE
PHYLLODYTES LUTEOLUS (ANURA, HYLIDAE)**

Dra. Priscila Guedes Gambale (Membro externo)

União do Ensino Superior de São Miguel do Iguaçu - UNIGUAÇU

Dr. Iuri Ribeiro Dias (Membro interno)

Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

Prof. Dr. Alessandro Ribeiro Morais (Suplente externo)

Instituto Federal Goiano - IFG

Prof. Dr. Yvonnick Le Pendu (Suplente interno)

Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC

A162

Abreu, Leonardo Marques de.

Influência dos ruídos de coespecíficos e de rodovias sobre as propriedades do canto de anúncio de *Phyllodytes luteolus* (Anura, hylidae) / Leonardo Marques de Abreu. – Ilhéus, BA: UESC, 2022.
38f. : il.

Orientador: Mirco Solé

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade – PPGECB

Inclui referências.

1. Poluição sonora. 2. Comunicação animal. 3. Acústica. 4. Anuros. 5. Atração sexual. I. Título.

CDD 363.74

*"Faça como o velho marinheiro, que durante o
nevoeiro, põe seu barco devagar"*

Paulinho da Viola

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família por sempre ter me apoiado nas minhas escolhas e que sempre fizeram o possível para que eu conseguisse alcançar meus objetivos e meus sonhos. Se cheguei aqui, tudo devo a eles. Obrigado por me apoiarem nessa trajetória e que sempre me incentivam a seguir em frente.

Agradeço ao PPG ecologia e conservação da biodiversidade pelo conhecimento compartilhado a nós discentes no qual pude ter a oportunidade de desfrutar ao máximo e que foram aprendizados valiosos no qual tive ao longo deste tempo, obrigado pela confiança. Agradeço a FAPESB por ter me concedido uma bolsa de estudos que permitiu minha dedicação exclusiva e também a CAPES por disponibilizar verbas para PROAP UESC, que auxiliou os trabalhos de campo deste projeto.

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Mirco Solé no qual tive a oportunidade de ser seu aluno e de fazer parte do seu laboratório, me acolhendo de braços abertos nessa fase na Bahia e que pode me guiar a novas vivências e experiências bastante engrandecedoras que somaram muito na minha autonomia como pesquisador, fico sem palavras por tanta admiração que tenho por você professor, sou imensamente grato. Também agradeço ao meu co-orientador Vinicius Guerra por ter aceitado a co-orientação, um grande amigo e parceiro que sempre me acompanhou desde quando ingressei na pesquisa, que me ajudou de várias maneiras ao longo da trajetória, muitas dúvidas vão surgindo e sempre se manteve disposto em me ajudar, dou muito valor para essas atitudes, obrigado por tudo Vini. Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Rogério Pereira Bastos um grande homem que tenho total admiração pela grande pessoa, engajamento e profissionalismo que pude vivenciar e perceber todas essas qualidades em uma só pessoa.

O mesmo me deu a oportunidade de iniciar na pesquisa, principalmente na área de bioacústica de anuros na qual me encontrei. Se hoje fui capaz de chegar até aqui foi graças a uma semente que o senhor plantou em mim.

Agradeço também a todos os amigos do PPG e do laboratório de herpetologia tropical que fiz amizade ao longo desses anos, mesmo que nos conhecemos de forma online, da minha parte sempre foi sincera.

Agradeço ao Arthur, Marcos (Catita) e o Wallace Carvalho (Teco) por terem me ajudado na fase inicial do projeto, vocês disponibilizaram tempo e transporte para que fosse possível concluir esta etapa, meus sinceros muito obrigado. Agradeço em particular o Teco por toda ajuda e companhia em campo quando estava sozinho. Ele foi a primeira pessoa que me guiou na minha primeira oportunidade em conhecer a Mata Atlântica. Por ter raízes Tupinambás, seu vasto conhecimento do manejo dos recursos naturais me fascinou. Devido as suas vivências, foi um grande guerreiro que me fez ter mais certeza de aspectos que sempre busquei em minha vida, a simplicidade, humildade e honestidade. Agradeço ao Maurivan um grande amigo, pela disponibilização de seu transporte e tempo para que fosse possível a realização da coleta dos dados. Além dele ter disponibilizado seu carro, foi um privilégio de fazer os campos em um fuscão ano 74 tornando as campanhas mais agradáveis.

Agradeço também a todos os amigos que fiz no Surf (praia do Backdoor), obrigado por sempre me incentivarem, pela companhia nos mares pequenos e pela diversão nos mares grandes. Não podia deixar de mencionar esta parte, pois em tempos difíceis de pandemia foi este esporte e todo os amigos surfistas que me ajudaram e me fizeram a ter forças para sempre seguir em frente nessa fase da vida e pós graduação.

Foram tantos amigos que fiz na Bahia que é difícil mencionar todos. Sou muito grato por cada momento compartilhado, por cada conversa, com toda certeza em qualquer

situação em que estivemos juntos, somou alguma coisa em meu viver.

Agradeço muito a oportunidade de poder cursar o mestrado, chance concedida pela primeira vez na minha família. Ressalto a importância do ensino público de qualidade no Brasil na qual tive acesso, sem dúvida a educação é a melhor via.

Em cenários pandêmicos com pouco ruído pude perceber e vivenciar diariamente a exuberância da natureza do Sul da Bahia, uma riqueza que sempre vai fazer parte da minha história de vida.

**INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS SOBRE
AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE *Phyllodytes luteolus*
(ANURA, HYLIDAE)**

RESUMO

A comunicação acústica em animais pode ser afetada por múltiplos ruídos naturais bióticos (intra e interespecíficos) e abióticos (e.g., vento e chuva). Além disso, o ser humano produz novas fontes de ruídos, que podem reduzir ou inibir a recepção dos sinais acústicos por coespecíficos, provocando mudanças comportamentais. Neste estudo, investigamos se ruídos de coespecíficos e de rodovias afetam aditivamente os parâmetros acústicos do canto de anúncio de machos de um anuro bromelígena (*Phyllodytes luteolus*). Hipotetizamos que machos que vocalizam em coros maiores (muitos machos) e em áreas próximas de rodovias (ruído antrópico) vão alterar seus parâmetros acústicos para evitar o mascaramento do sinal acústico. Gravamos as vocalizações de 38 machos em ambientes próximos (N=18) e distantes (N=20) de rodovias em diferentes contextos sociais (muitos e poucos indivíduos no coro). Contrário à nossa expectativa, nossos resultados indicaram que os indivíduos expostos aos ruídos de rodovias apresentaram a frequência dominante dos cantos menor do que aqueles de áreas naturais, e que a densidade de machos no coro não influencia qualquer alteração nos parâmetros acústicos do canto. Além disso, encontramos uma relação positiva entre tamanho do corpo e intensidade, indicando que indivíduos maiores podem emitir cantos que podem alcançar maiores distâncias. *Phyllodytes luteolus* é uma espécie que pode ser encontrada em bromélias de áreas urbanizadas e a frequência dominante é alta, apresentando pouca sobreposição com a frequência de ruídos antrópicos (rodovia), o que pode explicar sua presença e sucesso reprodutivo nessas áreas.

Palavras-Chaves: Poluição sonora, comunicação acústica, anuros, atração de parceiros, bromelígena.

**INFLUENCE OF CONSPECIFIC AND ROAD NOISE ON THE
ADVERTISEMENT CALL PROPERTIES OF *Phyllodytes luteolus* (ANURA,
HYLIDAE)**

ABSTRACT

Acoustic communication in animals can be affected by multiple natural biotic (intra and interspecific) and abiotic (e.g. wind and rain) natural noises. In addition, human beings produce new sources of noise, which can reduce or inhibit the reception of acoustic signals by conspecifics, causing behavioral changes. In this study, we investigated whether conspecifics and road noise additively affect the acoustic parameters of the advertisement call of males of a bromeliad anuran (*Phyllodytes luteolus*). We hypothesized that males that vocalize in larger choruses (many males) and in areas close to highways (anthropic noise) will change their acoustic parameters to avoid masking the acoustic signal. We recorded the vocalizations of 38 males in environments close (N=18) and distant (N=20) from highways in different social contexts (many and few individuals in the chorus). Contrary to our expectation, our results indicated that individuals exposed to road noise had a lower dominant frequency of songs than those from natural areas, and that the density of males in the chorus does not influence any change in the acoustic parameters of the song. Furthermore, we found a positive relationship between body size and intensity, indicating that larger individuals can emit calls that can reach greater distances. *Phyllodytes luteolus* is a species that can be found in bromeliads in urbanized areas and the dominant frequency is high, with little overlap with the frequency of anthropic noises (road), which may explain its presence and reproductive success in these areas.

Palavras-Chaves: Noise pollution, acoustic communication, anurans, partner attraction bromeligenous.

SUMÁRIO

INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS SOBRE AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE *PHYLLODYTES LUTEOLUS* (ANURA, HYLIDAE).

Resumo.....	15
Introdução	16
Materiais e Métodos.....	19
Resultados	23
Discussão.....	29
Conclusão.....	31
Agradecimentos.....	32
Referências bibliográficas	32

**INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS SOBRE
AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE *PHYLLODYTES*
LUTEOLUS (ANURA, HYLIDAE)**

Leonardo Marques de Abreu, Vinicius Guerra, Mirco Solé.



Manuscrito a ser submetido no periódico Acta oecologica



INFLUÊNCIA DOS RUÍDOS DE COESPECÍFICOS E DE RODOVIAS SOBRE AS PROPRIEDADES DO CANTO DE ANÚNCIO DE *PHYLLODYTES LUTEOLUS* (ANURA, HYLIDAE).

Leonardo Marques de Abreu ^{a,c,*}, Vinicius Guerra ^b, Mirco Solé ^{c,d}.

^a Programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil.

^b Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil

^c Laboratório de Herpetologia Tropical, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil.

^d Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado, Km 16, 45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil.

Resumo

A comunicação acústica em animais pode ser afetada por múltiplos ruídos naturais bióticos (intra e interespecíficos) e abióticos (e.g., vento e chuva). Além disso, o ser humano produz novas fontes de ruídos, que podem reduzir ou inibir a recepção dos sinais acústicos por coespecíficos, provocando mudanças comportamentais. Neste estudo, investigamos se ruídos de coespecíficos e de rodovias afetam aditivamente os parâmetros acústicos do canto de anúncio de machos de um anuro bromelígena (*Phyllodytes luteolus*). Hipotetizamos que machos que vocalizam em coros maiores (muitos machos) e em áreas próximas de rodovias (ruído antrópico) vão alterar seus parâmetros acústicos para evitar o mascaramento do sinal acústico. Gravamos as vocalizações de 38 machos em ambientes próximos (N=18) e distantes (N=20) de rodovias em diferentes contextos sociais (muitos e poucos indivíduos no coro). Contrário à nossa expectativa, nossos resultados indicaram que os indivíduos expostos aos ruídos de rodovias apresentaram a frequência dominante dos cantos menor do que aqueles de áreas naturais, e que a densidade de machos no coro não influencia qualquer alteração nos parâmetros acústicos do canto. Além disso, encontramos uma relação positiva entre tamanho do corpo e intensidade, indicando que indivíduos maiores podem emitir cantos que podem alcançar maiores distâncias. *Phyllodytes luteolus* é uma espécie que pode ser encontrada em bromélias de áreas urbanizadas e a frequência dominante é alta, apresentando pouca sobreposição com a frequência de ruídos antrópicos (rodovia), o que pode explicar sua presença e sucesso reprodutivo nessas áreas.

Palavras-Chaves: Poluição sonora, comunicação acústica, anuros, atração de parceiros, bromeligena.

Introdução

A comunicação acústica é amplamente utilizada pelos animais para transmitir alguma informação através de sons. Esses sons são produzidos por um emissor (fonte) e são propagados no ambiente, causando alguma resposta nos receptores (Kime, 2000; Wells, 2000). Nos ambientes em que os sinais acústicos se propagam existe a presença de ruídos sonoros, que são sons que prejudicam a comunicação, podendo causar stress, irritabilidade, redução do fitness, além de estarem associados a outras situações de risco (Grenat et al. 2019; Leon, et al., 2019; Troianowski et al., 2017). Existem três tipos principais de ruídos sonoros que interferem na transmissão e detecção do sinal acústico das espécies: ruídos abióticos (ambiental), tais como a presença de ventos, chuvas, córregos e marés dos oceanos (Caldart et al. 2016); ruídos bióticos, produzidos por indivíduos intra e interespecíficos que formam densos grupos sociais (Lengagne, 2008); e ruídos antrópicos, que estão relacionados a poluição sonora causada pelo ser humano, tais como o fluxo de automóveis em rodovias, maquinários para construções civis, transportes aéreos, navios e barcos (Cunnington e Fahrig 2010, 2013). A interferência causada por esses ruídos pode influenciar negativamente a aptidão dos indivíduos, e conseqüentemente, afetar as populações e comunidades (Hanna et al. 2014; Hoskin e Goosem, 2016). No decorrer das últimas décadas houve um aumento de estudos sobre os efeitos dos ruídos sobre a comunicação acústica dos organismos (Gomes et al. 2022; Grenat et al. 2019). Um dos grupos de animais mais afetados pelos ruídos antrópicos são os anfíbios anuros, que utilizam os sinais acústicos como principal forma de comunicação (Gomes et al., 2022; Wells, 2007).

Durante o período reprodutivo os anuros formam densas agregações nos corpos d'água (Wells, 2007). A comunicação entre anuros ocorre principalmente através da emissão de diferentes tipos de vocalizações (Toledo et al. 2015), porém, o sinal acústico mais emitido é o canto de anúncio, que tem a principal função de atração de parceiros reprodutivos e delimitação de territórios (Guerra et al. 2018; Toledo et al. 2015; Wells, 2007). Os cantos de indivíduos coespecíficos (e também de outras espécies) podem representar ruídos sonoros bióticos que interferem no espaço acústico local. Assim, os machos em atividade de vocalização devem evitar a sobreposição desses sinais acústicos

(e.g., parâmetros temporais e espectrais) de alguma forma (Bittencourt et al., 2016; Herrera-Montes e Aide, 2011). Coros densos de machos em atividade de vocalização também podem conduzir limitações na habilidade de escolha das fêmeas por parceiros reprodutivos (Wollerman e Wiley, 2002).

Além dos ruídos bióticos, recentemente, uma maior atenção tem sido direcionada para os ruídos antrópicos. Esse tipo de ruído é capaz de alterar as condições do ambiente acústico de muitos habitats, criando novas pressões ambientais que afetam diretamente vários grupos de animais que se comunicam acusticamente, incluindo os anuros (Barber et al. 2010; Desrochers e Proulx, 2017; Kight e Swaddle, 2011; Sabah et al., 2017), aves (Bermúdez-Cuamatzin et al., 2009; Herrera-Montes e Aide, 2011; Slabbekoorn e Ripmeester, 2008) e mamíferos marinhos (Melcón et al., 2012; Moore e Clarke, 2002; Stocker 2002). Dentre os ruídos antrópicos, as rodovias são consideradas a maior fonte de poluição sonora, emitindo sons com altas energias concentradas em baixas frequências (<5 kHz) (Warren et al., 2006). A expansão de urbana, e conseqüentemente da malha rodoviária, não apenas diminui a disponibilidade de habitats mas também aumenta a quantidade de ruído antrópico, causando efeitos negativos na transmissão e recepção do som entre coespecíficos (Bittencourt et al., 2016; Sun e Narins, 2005), podendo inclusive reduzir as chances de sobrevivência dos indivíduos (Gomes et al., 2022; Herrera-Montes e Aide, 2011). Porém, as espécies apresentam várias soluções para resolver os problemas na limitação da comunicação imposta pelos ruídos, como por exemplo, mudando parâmetros acústicos temporais e espectrais dos cantos para reduzir o efeito do mascaramento causado pelo ruído (Cunnington e Fahrig, 2010, 2013; Grenat et al., 2019).

Dentre as estratégias utilizadas pelos anuros para reduzir ou evitar a sobreposição entre os ruídos bióticos e antrópicos e seus cantos, já foram encontradas alterações na amplitude (Halfwerk et al., 2016; Parris et al. 2009; Yi e Sheridan, 2019), frequência (Caorsi et al., 2017; Cunnington e Fahrig, 2010), duração (Zhao et al. 2021) e taxa de emissão (Hanna et al., 2014; Kaiser e Hammers, 2009; Legett et al., 2020). Essas mudanças nos parâmetros dos cantos podem ser vantajosas quando os indivíduos estão sob influências externas, uma vez que os sinais acústicos indicam a condição física dos indivíduos. Portanto, eles devem ser transmitidos da melhor maneira possível pelo ambiente (Cunnington e Fahrig, 2010; Kime, 2000), assim como prediz a hipótese da adaptação acústica (Goutte et al., 2018; Morton, 1975). Neste sentido, alterações nos parâmetros dos cantos podem indicar uma adaptação em resposta aos ruídos, porém eles

podem gerar custos adicionais ao fitness, afetando negativamente a sobrevivência e sucesso reprodutivo (Herrera-Montes e Aide, 2011). Muitas vezes é difícil encontrar evidências que sugiram que mudanças nos cantos de indivíduos observados na natureza sejam causados devido a um único fator (Grenat et al., 2019), pois variações e/ou ajustes nos parâmetros acústicos podem ser influenciadas pelo ambiente (fatores abióticos; (Kime et al., 2000)), tamanho dos coros (fatores sociais; (Gambale e Bastos, 2014; Morais et al., 2012) e/ou nível de ruídos antrópicos (Caorsi et al., 2017). Portanto, pode haver fatores de confusão ao tentar explicar mudanças de comportamento caso o estudo não considere os múltiplos aspectos biológicos e ambientais em que os indivíduos estão expostos.

Fatores bióticos (tamanho do corpo, peso, predação e abundância de machos em atividade de vocalização) e abióticos (temperatura, umidade e heterogeneidade da vegetação) influenciam de diferentes formas as vocalizações dos anuros. Por exemplo, o tamanho do corpo influencia a estrutura espectral (frequência) do canto, de modo que indivíduos maiores apresentam cantos com baixas frequências (Kohler et al., 2017). Assim, o canto fornece informações fidedignas sobre o tamanho corporal dos machos (Bastos et al., 2011; Morais et al., 2012). O número de indivíduos no coro influencia a intensidade do canto pois os machos aumentam a pressão do som para promover uma maior atratividade (Bastos e Haddad, 2002; Morais et al., 2012). Como os anuros são animais ectotérmicos, a temperatura influencia a taxa metabólica, refletindo em alterações nos parâmetros temporais dos cantos, tais como a duração e a taxa de emissão (Bastos e Haddad, 2002; Furtado et al. 2016). Todos esses aspectos devem ser considerados em estudos de bioacústica para evitar vieses na interpretação dos resultados.

Uma vez que as atividades antrópicas têm impactado de diferentes formas o comportamento dos anfíbios, neste trabalho nós avaliamos se os cantos de uma espécie de anuro bromelígena são afetados pela poluição sonora produzida pelo tráfego de automóveis nas rodovias e pelo ruído do canto de coespecíficos no coro. Hipotetizamos que (1) machos expostos aos ruídos antrópicos (tráfego de rodovia) irão apresentar maior frequência dominante do canto de anúncio para diminuir ou evitar o mascaramento do sinal, e que (2) machos que vocalizam em coros coespecíficos com maior densidade de indivíduos irão apresentar maiores valores nos parâmetros temporais do canto (e.g., maior duração e intensidade) para aumentar a eficiência na transmissão do sinal (e diminuir ou evitar a sobreposição dos cantos) no ambiente. Para isso, comparamos os parâmetros acústicos dos cantos de anúncio de machos de *Phyllodytes luteolus* (Wied-Neuwied,

1821) de ambientes naturais e urbanos e na presença de cores muito e pouco ruidosos. *Phyllodytes luteolus* é um excelente organismo modelo para testarmos estas hipóteses pois é uma espécie abundante, forma cores reprodutivos, utilizam sinais acústicos como principal forma de comunicação e são encontrados em bromélias de ambientes naturais e urbanos (Forti et al., 2017; Salles e Silva-Soares, 2010).

Material e Métodos

Phyllodytes luteolus (Wied-Neuwied, 1821) (Figura 1) é uma espécie de anfíbio anuro pertencente à família Hylidae. Esta espécie passa todo seu ciclo de vida dentro de bromélias, sendo considerada de hábito bromelígena (Peixoto, 1995). Têm preferência por bromélias com maior complexidade de estruturas e quando as mesmas formam uma rede conectada por vários indivíduos de uma mesma espécie de bromélia (Ferreira et al., 2012; Mageski et al., 2016). A reprodução é do tipo prolongada, ocorrendo ao longo de todo o ano (Ferreira et al., 2012).

O canto de anuncio de *P. luteolus* consiste em um canto pulsado, com uma série de notas sem modulação de frequência contendo uma duração média de 5 segundos, e frequências dominantes variando entre 2 e 4 kHz (Cruz et al., 2014; Simon e Gasparini, 2003). Os girinos de *P. luteolus* podem preda de larvas de mosquitos vetores de doenças atuando no controle biológico de possíveis doenças transmitidas por esses organismos (Salinas et al., 2018). Além disso, essa espécie têm uma dieta especializada em formigas apresentando potencial farmacológico (Solé e Loebmann, 2017).



Figura 1. Indivíduo macho de *Phyllodytes luteolus* (Wied-Neuwied, 1821) sobre as folhas da bromélia *Aechmea blanchetiana*. Vila do Acuípe, município de Ilhéus, estado da Bahia, Brasil.

As atividades de campo foram realizadas durante o mês de outubro de 2021 em cinco sítios amostrais no município de Ilhéus, Bahia, Brasil. Todas as áreas possuem bromélias utilizadas como sítios reprodutivos por *Phyllodytes luteolus*. Três sítios com a presença de ruído do tráfego de veículos estavam localizados ao lado da rodovia BA-001 (entre 3 e 10 metros de distância da rodovia), nos trechos entre a vilas Olivença e Acuípe, município de Ilhéus. A rodovia BA-001 percorre o litoral do estado da Bahia e sua extremidade sul inicia-se na cidade de Mucuri enquanto a extremidade norte localiza-se na Ilha de Itaparica, na Baía de Todos-os-Santos da capital Salvador. Outros dois sítios amostrais sem a presença de ruídos de tráfego de veículos foram definidos a uma distância mínima de dois quilômetros da rodovia BA-001 (Carr e Fahrig, 2001) (Figura 2).



Figura 2. Sítios reprodutivos amostrados no município de Ilhéus, estado Bahia, nordeste do Brasil. Os sítios A (15.4964°S , 39.0375°O) e B (15.4909°S , 39.0807°O) estavam distantes de rodovias com tráfego de carros (ambientes naturais e sem ruído antrópico), enquanto os sítios C (14.55889°S , 39.0973°O), D (14.55683°S , 39.1067°O) e E (15.5208°S , 38.59916°O) estavam próximos a rodovias com tráfego intenso de veículos (poluição sonora).

Os sítios amostrais foram definidos como Naturais (sem ruído de tráfego) ou Rodovias (com ruído de tráfego). Para cada indivíduo gravado, nós registramos a situação social em que o macho estava inserido, sendo: com coro (mais de quatro indivíduos

coespecíficos em atividade de vocalização em um raio de três metros – CC) ou sem coro (menos de quatro indivíduos coespecíficos vocalizando em um raio de três metros – SC)

Machos de *Phyllodytes luteolus* em atividade de vocalização foram encontrados através de buscas visuais e auditivas entre as 19:00 e 24:00hrs. Após a visualização do macho, os cantos de anúncio foram gravados utilizando um microfone direcional Sennheiser ME66 acoplado a um gravador manual Marantz PMD660 a uma distância de 0.5 metros do macho vocalizante. Como os machos de *P. luteolus* possuem um longo intervalo de silêncio entre os cantos, cada macho foi gravado por dez minutos, afim de obter o máximo de cantos possível. As gravações foram obtidas em formato WAV, taxa de amostragem de 44 kHz e resolução de 16 bits. As análises bioacústicas foram realizadas através do *software* Raven Pro 1.6, utilizando seguinte a configuração para o espectrograma: tipo = *hann*, FFT = 512, overlap = 50%. Foram analisados de três a cinco cantos de anúncio para cada indivíduo. Os parâmetros acústicos extraídos foram: duração do canto (s), número de notas, número de pulsos por canto, duração do pulso (s), rise time (s), intervalo entre cantos (s), taxa de repetição (cantos/min.) e frequência dominante (Hz). As terminologias acústicas seguiram a proposta de Köhler (2017). Também foi registrado o nível de pressão sonora (SPL; intensidade) de 3 a 7 cantos por indivíduo, utilizando um decibelímetro Minipa MSL-1301 (range: 30-130dB; 125ms, fast) posicionado diretamente na frente e a 0.5 metros de distância do macho em atividade de vocalização. Fizemos um média a partir dos valores mais altos apresentado pelo decibelímetro para cada indivíduo gravado.

Logo após o término das gravações, os machos foram capturados para medição do comprimento rostro-cloacal (CRC) com um paquímetro Western (precisão de 0,1 mm). A temperatura e umidade do ar foi registrada através de um termo-higrômetro (TechnoLine WS 9440, precisão de 0°C). As variáveis foram obtidas para todos os indivíduos gravados.

O nível de ruído presente no ambiente foi medido a partir do sítio de canto de cada macho gravado utilizando um decibelímetro Minipa MSL-1301 (range: 30-130dB; 125ms, fast), posicionado a 1,5 m de altura a partir do solo. O decibelímetro foi posicionado nas quatro direções cardinais (norte, sul, leste, oeste), e para cada direção foram obtidos três valores de nível de pressão sonora (SPL; intensidade), registrando sempre os valores mais altos em um intervalo de um minuto para cada direção.

Posteriormente, foi extraído uma média de todos os valores registrados para representar o ruído ambiental sentido por cada macho.

Para verificar se os ambientes próximos da rodovia apresentam maior ruído ambiental que ambientes naturais, fizemos um teste t utilizando o SPL médio obtido a partir do sítio de canto de cada macho. Para testar se os ruídos antrópicos (hipótese 1) e de coespecíficos (hipótese 2) alteram os parâmetros acústicos (variáveis resposta) dos cantos de anúncio de *Phyllodytes luteolus*, fizemos regressões múltiplas utilizando o tipo de ambiente (com e sem ruído de tráfego) e situação (com e sem coro) como variáveis explicativas. Uma vez que o tamanho corporal e a temperatura do ar podem influenciar os cantos dos anuros (Gambale e Bastos, 2014; Morais et al., 2012; Wells, 2007), esses dois fatores foram usados como covariáveis nos modelos. Testamos a multicolinearidade das variáveis independentes do modelo através de um teste de fator da inflação da variância (VIF). Consideramos colineares as variáveis com valores de VIF maior que 3. O VIF não indicou colinearidade entre as variáveis (ambiente=2.680, situação=1.063, CRC=2.520, e temperatura=1.088). Avaliamos os pressupostos de distribuição normal dos resíduos e homogeneidade de variâncias por gráficos de quantis e dos resíduos em função dos valores ajustados (Zuur et al., 2009), respectivamente. Os parâmetros acústicos que não atenderam aos pressupostos (duração dos cantos, número de pulsos, e intervalo entre os cantos) foram logaritmizados.

Para testar diferenças significativas no conjunto de parâmetros acústicos entre os ambientes (com e sem ruído de tráfego), foi utilizada uma análise multivariada de variância permutacional (PERMANOVA, Anderson, 2001) baseada em uma matriz de distância euclidiana. Antes desta análise, fizemos uma correlação de Pearson entre os parâmetros acústicos e retiramos aqueles altamente correlacionados (número de notas, número de pulsos, rise time e intervalo entre cantos). Para verificar homogeneidade das variâncias usamos a PERMDISP (Homogeneity of Multivariate Dispersion) (Anderson, 2004). Para todos os testes atribuímos um nível de significância menor que 5%. As análises foram realizadas utilizando os pacotes "vegan", "lme4" e "car" no software R versão 4.1.1 (R Core Team, 2021).

Resultados

Foram obtidas gravações de 38 machos de *Phyllodytes luteolus*, sendo 18 em ambientes de rodovias (9 indivíduos em situação com coros; e 9 indivíduos em situação sem coros) e 20 em ambientes naturais (6 indivíduos em situação com coros e; 14 indivíduos na situação sem coros). A estrutura do canto de anúncio está representada na figura 3. Os valores médios e desvio padrão de cada parâmetro acústico do canto de anúncio de *P. luteolus* entre cada ambiente e situação estão representados na tabela 1. O ruído ambiental diferiu significativamente entre os dois ambientes ($t = -9.45$, $gl = 37$, $p < 0.05$). Maiores níveis de ruído foram encontrados nos sítios próximos a rodovias (média = 56.2 dB) em comparação com áreas naturais (45.6 dB) (Figura 4).

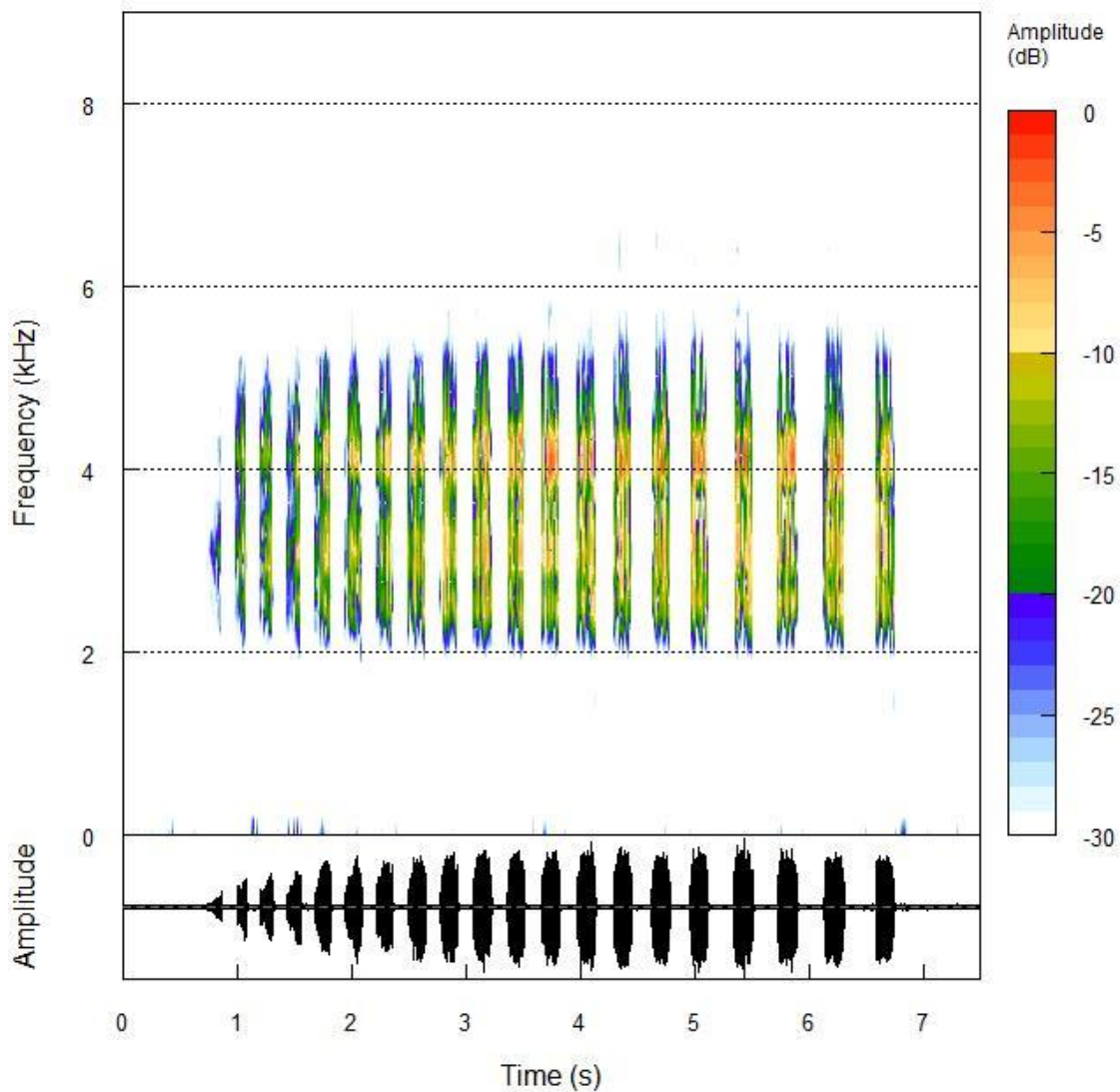


Figura 3. Estrutura do canto de anúncio de *Phyllodytes luteolus* (Wied-Neuwied, 1821), espectrograma (acima) e oscilograma (abaixo) (temperatura do ar = 25°C; tamanho do corpo = 23.7mm), em uma área de ambiente natural no município de Ilhéus, Bahia.

Tabela 1. Valores da média e desvio padrão de cada parâmetro acústico do canto de anúncio de *Phyllodytes luteolus* entre os ambientes e as situações em que os machos estavam expostos.

Parâmetros acústicos	Ambientes			
	Rodovia		Natural	
	Com cores	Sem cores	Com cores	Sem cores
Frequência Dominante (kHz)	3473.3 – 345.7	3460.4 – 389.8	3874.5 – 298	3889.9 – 314.1
Duração do canto (s)	5.554 – 0.803	5.713 – 1.712	5.751 – 1.736	5.127 – 0.719
Rise Time (s)	3.020 – 0.630	3.162 – 1.170	2.902 – 0.822	3.365 – 0.881
Intervalo entre cantos (s)	75 – 31.7	69.3 – 18.4	79.9 – 15	78.8 – 27.9
Número de notas	18.7 – 2.948	17.9 – 2.514	19.3 – 2.658	18.2 – 3.445
Número de pulsos	806.9 – 239.3	1016.7 – 483.7	884.6 – 71.2	771.5 – 154.9
Duração do pulso (s)	0.0028 – 0.0005	0.0026 – 0.0007	0.0024 – 0.0001	0.0025 – 0.0004
Intensidade (dB)	71.1 – 4.22	69.9 – 4.06	71.7 – 7.20	70.8 – 6.14
Taxa de emissão de canto de anúncio (cantos/5min)	3.6 – 1.414	3.9 – 1.100	3.3 – 1.032	3.7 – 1.138
Emissão canto de anúncio total	7.5 – 3.16	7.1 – 1.72	6.6 – 1.21	7.1 – 2.21

A frequência dominante do canto de anúncio diferiu significativamente entre os dois ambientes ($E = -358.4$, $gl = 33$, $p = 0.048$), de modo que machos dos sítios das áreas naturais (sem ruído de rodovia) apresentaram valores mais altos da frequência dominante

(Figura 5). Nenhum outro parâmetro acústico apresentou diferença significativa entre os ambientes em relação a presença de tráfego ou situação (com ou sem coro) (Tabela 2). Adicionalmente, encontramos uma relação positiva significativa entre a intensidade dos cantos e o comprimento rostro-cloacal ($E = 3.302$, $gl = 33$, $p = 0.003$) (Tabela 2), ou seja, quanto maior o indivíduo mais alta é a intensidade do sinal emitido (Figura 6). Considerando o conjunto de todos os parâmetros acústicos medidos, não houve influência do ambiente ou da situação sobre o comportamento acústico de *P. luteolus* ($F = 0.005$, $gl = 36$, $p = 0.942$).

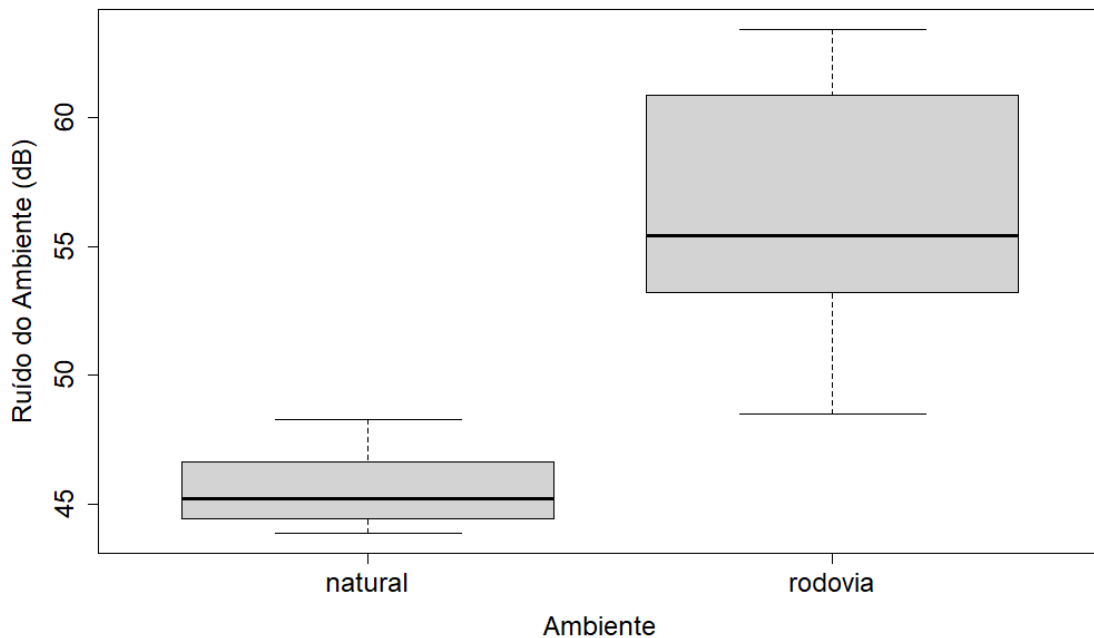


Figura 2. Boxplot representando as diferenças dos níveis de pressão sonora (dB; intensidades) registrados entre os ambientes (Natural e Rodovia), no município de Ilhéus, Bahia, Brasil. Os boxplots mostram a mediana (linha do meio), primeiro e terceiro quartis (limites superiores e inferiores da caixa) e as linhas extremas indicam o intervalo não-outlier.

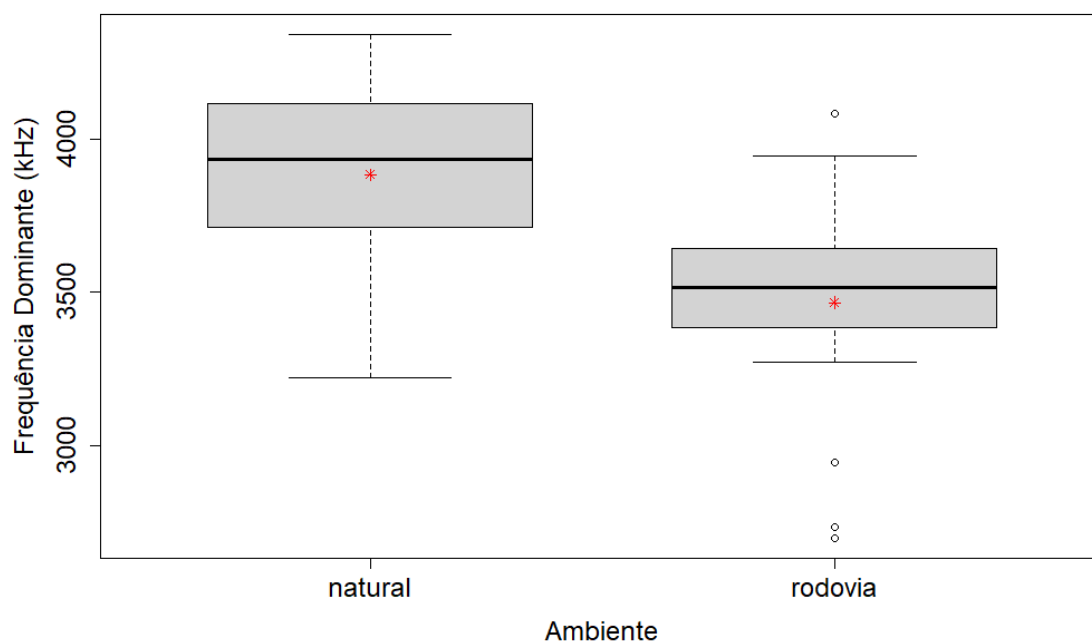


Figura 3. Boxplot representando as diferenças da frequência dominante do canto de anúncio de *Phyllodytes luteolus* entre os ambientes (Natural e Rodovia) gravados no município de Ilhéus, Bahia, Brasil. Os boxplots mostram a mediana (linha do meio), primeiro e terceiro quartis (limites superiores e inferiores da caixa) e as linhas extremas indicam o intervalo não-outlier. O ponto vermelho representa os valores médios.

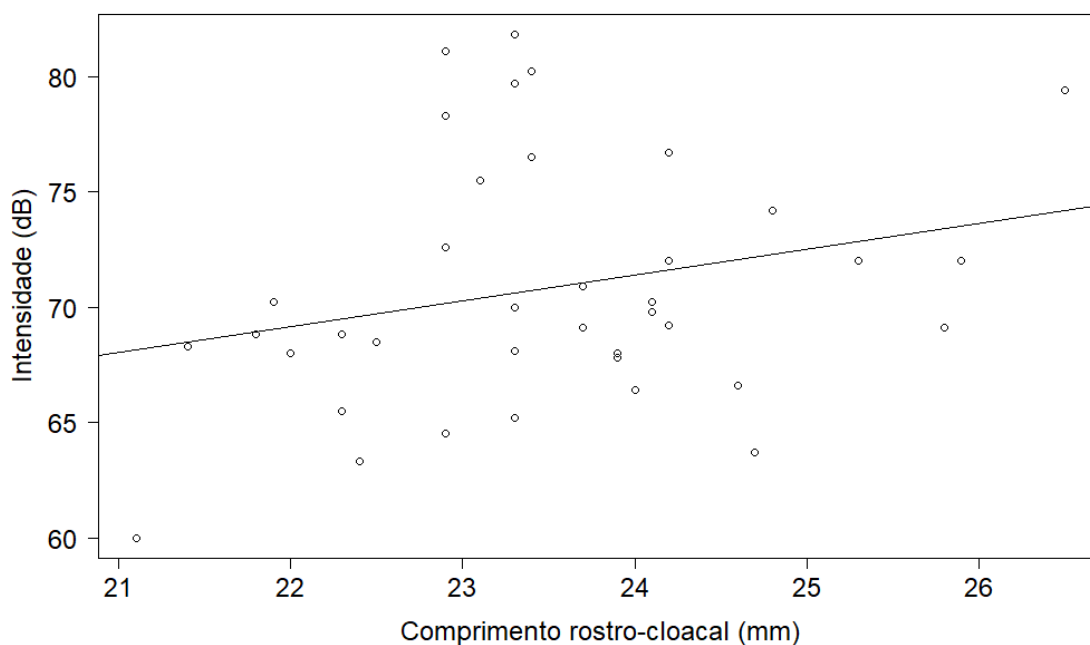


Figura 4. Relação positiva entre a intensidade do canto de anúncio e o tamanho do corpo dos machos de *Phyllodytes luteolus*. A linha representa o valor estimado a partir da análise de regressão linear.

Tabela 2. Resultados da análise de regressão múltipla entre os parâmetros acústicos do canto de anúncio de *Phyllodytes luteolus* sobre as variáveis independentes gravadas no município de Ilhéus, Bahia, Brasil. Em negrito, os valores de p significativos (<0.05).

Parâmetros acústicos	Variáveis independentes	Coefficientes	Erro padrão	P
Frequência dominante (kHz)	Ambiente	-358.458	174.900	0.048
	Situação	-7.457	119.583	0.950
	CRC	-33.771	74.628	0.653
	Temperatura	-2.960	49.657	0.952
Duração do canto (s)	Ambiente	0.469	0.635	0.465
	Situação	-0.170	0.434	0.698
	CRC	-0.114	0.271	0.675

Parâmetros acústicos	Variáveis independentes	Coefficientes	Erro padrão	P
	Temperatura	-0.170	0.180	0.352
Rise Time (s)	Ambiente	-0.207	0.459	0.655
	Situação	0.249	0.314	0.432
	CRC	0.079	0.196	0.686
	Temperatura	0.169	0.130	0.203
Intervalo entre cantos (s)	Ambiente	-16.908	12.708	0.192
	Situação	-1.433	8.688	0.870
	CRC	4.442	5.422	0.419
	Temperatura	-0.028	3.608	0.994
Número de notas	Ambiente	-0.013	0.116	0.906
	Situação	-0.056	0.079	0.477
	CRC	-0.004	0.049	0.922
	Temperatura	0.005	0.033	0.856
Número de pulsos	Ambiente	86.76	0.597	0.554
	Situação	45.42	99.43	0.650
	CRC	15.09	62.05	0.809
	Temperatura	74.40	41.29	0.080
Duração do pulso (s)	Ambiente	1.077	2.761	0.416
	Situação	-1.824	1.888	0.924
	CRC	6.487	1.178	0.586
	Temperatura	-8.021	7.838	0.314
Intensidade (dB)	Ambiente	-27.156	34.011	0.430
	Situação	-0.453	1.685	0.789
	CRC	3.302	1.051	0.003
	Temperatura	0.722	0.700	0.309
Taxa de emissão canto de anúncio (cantos/5min)	Ambiente	0.299	0.266	0.261
	Situação	0.061	0.179	0.731
	CRC	-0.123	0.114	0.282
	Temperatura	-0.062	0.073	0.393
	Ambiente	1.194	1.074	0.274

Parâmetros acústicos	Variáveis independentes	Coefficientes	Erro padrão	P
Emissão canto de anúncio total	Situação	-0.110	0.734	0.881
	CRC	-0.403	0.458	0.385
	Temperatura	-0.443	0.305	0.155

Discussão

Phyllodytes luteolus apresentou maior frequência dominante em ambientes naturais, quando comparado com ambientes com ruído de rodovia, e não encontramos evidências de que o ruído do coro altera os parâmetros acústicos dessa espécie. Portanto, *P. luteolus* não parece ser afetada pelo ruído do tráfego, o que pode explicar a sua presença em áreas antropizadas. Além disso, encontramos uma relação positiva entre a intensidade do canto de anúncio e o tamanho do corpo dos machos.

Ao contrário do esperado pela nossa hipótese (1), machos de *Phyllodytes luteolus* de áreas naturais apresentaram maiores frequências dominantes do canto de anúncio comparados com os indivíduos de ambientes com ruídos de rodovias. Embora algumas espécies de anuros sejam capazes de aumentar a frequência dominante dos cantos para evitar a sobreposição com a frequência do ruído (e.g., *Scinax nasicus*, Leon et al. (2019); *Litoria ewingii*, Parris et al. (2009); *Rana clamitans* e *Rana pipiens*, Cunnington e Fahrig (2010); e *Amolops torrentes*, Zhao et al. (2018), outras podem diminuir a frequência dominante *Boana bischoffi*, Caorsi et al. (2017). Em um estudo experimental, Caorsi et al. (2017) observaram que *Boana leptolineata* não alterou a frequência dominante quando exposta a diferentes níveis de ruído antrópico. Assim como *B. leptolineata*, machos de *Phyllodytes luteolus* possuem cantos com frequência dominante média (3.46 kHz) acima da concentração de energia média do ruído de estradas (abaixo de 1 kHz) (Cunnington e Fahrig, 2010; Warren et al., 2006). Portanto, espécies que possuem cantos com frequências mais altas apresentam pouca ou nenhuma sobreposição acústica com ruídos antrópicos. Além disso, o canto de anúncio de *P. luteolus* apresenta uma largura de banda estreita no qual as distribuições de energia em torno da frequência dominante são curtas, uma vez que sinais com larguras de bandas mais amplas podem ser menos detectável contra os ruídos (Parris et al., 2009; Warren et al., 2006). A frequência dominante é um parâmetro do canto que possui pouca variação dentro e entre os indivíduos de uma espécie (Gerhardt, 1991; Kohler et al., 2017), sendo importante durante a comunicação pois

fornece informações sobre características físicas dos indivíduos, tais como tamanho corporal (Morais et al., 2012). Servindo como um indicativo da qualidade dos machos (Bastos et al., 2011; Gingras et al., 2013), além de atuar no reconhecimento individual e específico (Toledo et al., 2015; Wells, 2007). Muitos habitats alterados apresentam um padrão de ruído constante em determinadas faixas de frequências e por um longo período de tempo, atuando como uma pressão de seleção (Warren et al., 2006). Neste sentido, mais estudos precisam ser realizados para avaliar como diferentes tipos de ruídos, ou mesmo de vibrações antrópicas (e.g., Caorsi et al., 2020) podem influenciar o comportamento reprodutivo dos anfíbios anuros.

Não houve influência do ruído de rodovias ou da situação (com ou sem coro) sobre os parâmetros temporais do canto de anúncio de *P. luteolus*. O canto de anúncio de *P. luteolus* possui longa duração (em torno de 5 seg.) e uma série de notas idênticas e sem modulação da frequência. A estrutura temporal do canto pode influenciar no espaço ativo do sinal quando propagado no ambiente, aumentando a fidelidade da informação transmitida, e, portanto, diminui a probabilidade de sobreposição acústica (Ey e Fischer, 2009; Warren et al., 2006) e atribui vantagens em ambientes sob altos níveis de ruídos. Em geral, o contexto social em que os machos estão inseridos no sítio reprodutivo influencia na mudança dos parâmetros do canto (Bosch e De La Riva, 2004; Toledo et al., 2015). É preciso investigar se outros fatores são mais importantes para determinar mudanças nos parâmetros acústicos de *P. luteolus*, como por exemplo, a densidade de indivíduos coespecíficos nos coros. Estudos experimentais sobre a resposta imediata dos machos são importantes para uma maior compreensão das estratégias comportamentais adotadas por *P. luteolus* sobre o balanceamento dos custos e benefícios determinados pelas alterações dos parâmetros acústicos quando estão sujeitas a diferentes níveis de ruído.

Encontramos uma relação positiva entre a intensidade do canto de anúncio e o tamanho corporal dos machos. Em geral, características morfológicas dos machos determinam os parâmetros temporais do canto (Kohler et al., 2017; Wells, 2007), e machos maiores apresentam pulmões maiores e, portanto, maiores reservas energéticas, sendo capazes de emitir cantos com maior intensidade (Wells, 2007; Wells e Schwartz, 2006). Possivelmente, mesmo em cenários ruidosos, machos maiores são capazes de aumentar as intensidades dos seus cantos para evitar o mascaramento dos sinais e promover uma maior detecção, localização e discriminação do sinal (Halfwerk et al.,

2016; Yi e Sheridan, 2019). Portanto, a intensidade do canto é um parâmetro importante para a seleção sexual (Gerhardt e Huber, 2002; Wells, 2007) já que os sons com maiores intensidades são capazes de se propagarem a longas distâncias, potencialmente podem atrair um maior número de fêmeas obtendo maior sucesso reprodutivo (Bastos et al., 2011; Kime, 2000; Penna e Solís, 1998).

A conversão de áreas naturais devido ao crescimento urbano tem exposto os organismos a condições ambientais extremas que podem causar redução populacional ou mesmo extinção local de espécies (Eigenbrod et al., 2008; Nelson et al., 2017). A perda de habitat é uma das principais ameaças, no qual a execução das atividades antrópicas próximas as áreas naturais são fontes de altos níveis de ruídos (Eigenbrod et al., 2008; Warren et al., 2006). Embora os efeitos dos ruídos afetem uma combinação de aspectos dos sistemas biológicos, como resultado final podem comprometer o fitness dos indivíduos (Sun e Narins, 2005) e a dinâmica das populações (Kaiser e Hammers, 2009; Leon et al., 2019).

A perereca-de-bromelia (*Phyllodytes luteolus*) apresenta características acústicas vantajosas em condições em que o ruído antropogênico está presente. Portanto, mesmo em ambientes ruidosos os indivíduos desta espécie devem se reconhecer e discriminar no coro coespecífico. Esse fato pode explicar o sucesso de ocupação desta espécie em áreas fora de sua distribuição original, se tornando uma invasora (Forti et al. 2017). Espécies invasoras põe em risco a sobrevivência de outras espécies de anuros que vivem em habitats semelhantes. Por exemplo, machos de *P. luteolus* apresenta canto na mesma faixa de frequência da espécie *Ischnocnema sp.*. O ruído acústico provocado pela vocalização de uma espécie invasora pode prejudicar o sistema acústico de comunicação em espécies nativas uma vez que pode influenciar na habilidade das fêmeas localizarem os machos no ambiente reprodutivo. Este é o primeiro estudo avaliando a influência de um ruído sonoro sobre um anuro bromelígena. Futuros estudos são importantes para aumentar o conhecimento e servir de subsídio para ações de conservação, especialmente aqueles voltados para o monitoramento acústico em ambientes ruidosos.

Conclusão

Este trabalho investigou aspectos da condição ambiental, contexto social e fatores morfológicos sobre os parâmetros acústicos do canto de anúncio da perereca-de-bromélia (*Phyllodytes luteolus*) quando expostas a ruídos de antrópicos de rodovias. Nós encontramos evidências que os machos possuem maior frequência dominante no canto de

anúncio quando expostos a ambientes sem ruído de tráfego de veículos. Além disso, verificamos que machos maiores podem produzir cantos com maior intensidade. Como a emissão dos sinais acústicos é a principal forma de comunicação no grupo dos anuros, nós concluímos que esta espécie de perereca-de-bromélia apresentou características na estrutura do canto de anúncio que apresentam vantagens mesmo quando os machos estão presentes em ambientes antrópicos com diferentes níveis de ruídos. Futuros estudos são importantes para investigar como as diferentes fontes de ruídos podem afetar de diferentes formas a comunicação acústica e as dinâmicas populacionais dos organismos que utilizam a emissão dos sinais acústicos para se comunicarem.

Agradecimentos

Agradecemos a E. Neto e M. Vaz-Ribeiro pela assistência nos trabalhos de campo. A pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) por conceder a bolsa de mestrado a L. Marques; pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico com disponibilização de verbas para execução dos campos; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por disponibilizar a verba PROAP para execução do trabalho de campo; e o SISBio - ICMBio por conceder a licença/autorização de coleta (77736) do material biológico. Agradecemos também os futuros revisores que poderão contribuir com este manuscrito.

Referências bibliográficas

Anderson, MJ, 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral ecology*. 26, 32-46.

Anderson, MJ, 2004. PERMANOVA 2factor: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance using permutation tests. University of Auckland, Auckland.

Barber, JR., Crooks, KR, Fristrup, KM, 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution*. 25, 180–189.

Bastos, RP., Alcantara, B, Morais, AR, Lingnau, R, Signorelli, L, 2011. Vocal behaviour

- and conspecific call response in *Scinax centralis*. *Herpetological Journal*, 21, 43–50.
- Bastos, RP, Haddad CFB, 2002. Acoustic and aggressive interactions in *Scinax rizibilis* (Anura: Hylidae) during the reproductive activity in southeastern Brazil. *Amphibia-Reptilia*. 23, 97–104.
- Bermúdez-Cuamatzin, E, Ríos-Chélen, A, Gil, D, Garcia, CM, 2009. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour*. 146, 1269–1286.
- Bertoluci, J, Brassaloti, RA, Júnior, JWR, Vilela, VMF, Sawakuchi, HO, 2007. Species composition and similarities among anuran assemblages of forest sites in southeastern Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba)*. 64, 364–374.
- Bittencourt, L, Barbosa, M, Secchi, E, Lailson-Brito, J, Azevedo, A, 2016. Acoustic habitat of an oceanic archipelago in the Southwestern Atlantic. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 115, 103–111.
- Bosch, J, De La Riva, I, 2004. Are frog calls modulated by the environment? An analysis with anuran species from Bolivia. *Canadian Journal of Zoology*. 82, 880–888.
- Caldart, VM, Iop, S, Lingnau, R, Cechin, SZ, 2016. Communication in a noisy environment: short-term acoustic adjustments and the underlying acoustic niche of a Neotropical stream-breeding frog. *Acta Ethologica*. 19, 151–162.
- Carr, L.W., Fahrig, L., 2001. Effect of Road Traffic on Two Amphibian Species of Differing Vagility. *Conserv. Biol.* 15, 1071–1078.
- Caorsi, VZ, Both, C, Cechin, S, Antunes, R, Borges-Martins, M, 2017. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. *PLoS ONE*. 12, 1–14.
- Cruz, D., Marciano-jr, E, Napoli, MF, 2014. Advertisement and courtship calls of *Phyllodytes wuchereri* (Peters, 1873) (Anura: Hylidae). *Zootaxa*. 3774, 97–100.
- Cunnington, GM, Fahrig, L, 2010. Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. *Acta Oecologica*. 36, 463–470.
- Desrochers, L, Proulx, R, 2017. Acoustic masking of soniferous species of the St-Lawrence lowlands. *Landscape and Urban Planning*. 168, 31–37.
- Eigenbrod, F, Hecnar, SJ, Fahrig, L, 2008. The relative effects of road traffic and forest

- cover on anuran populations. *Biological Conservation*. 141, 35–46.
- Eterovick, PC, 2008. Use and Sharing of Calling and Retreat Sites by *Phyllodytes luteolus* in a Modified Environment Use and Sharing of Calling and Retreat Sites by *Phyllodytes luteolus* in a Modified Environment. *Journal of Herpetology*. 33, 17–22.
- Ey, E, Fischer, J, 2009. The “Acoustic Adaptation Hypothesis” - A review of the evidence from Birds, Anurans and Mammals. *Journal of Bioacoustics*. February 21–48.
- Ferreira, RB, Schineider, JAP, Teixeira, RL, 2012. Diet, Fecundity, and Use of Bromeliads by *Phyllodytes luteolus* (Anura: Hylidae) in Southeastern Brazil. *Journal of Herpetology*. 46, 19–24.
- Forti, LR, Becker, G, Tacioli, L, Pereira, VR, Santos, AC, Oliveira, I, Haddad, CFB, Toledo, LF, 2017. Perspectives on invasive amphibians in Brazil. *PLoS ONE*. 12, 1–22.
- Furtado, R, Santos, S, Dias, TM, Bastos, RP, Nomura, F, 2016. Vocal Repertoire during Reproductive and Aggressive Contexts of Three Brazilian Tree Frogs: *Bokermannohyla sapiranga*, *Hypsiboas albopunctatus* and *H. Goianus* (Anura: Hylidae). *South American Journal of Herpetology*. 11, 136–147.
- Gambale, PG, Bastos, RP, 2014. Vocal repertoire and bioacoustic analyses in *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) from southern Brazil. *Herpetological Journal*, 24, 31–39.
- Gerhardt, HC, Tanner, SD, Corrigan, CM, Walton, H, 2000. Female preference functions based on call duration in the gray tree frog (*Hyla versicolor*). *Behavioral Ecology*. 11, 663–669.
- Gerhardt, HC, Huber, F, 2002 *Acoustic communication in insects and anurans: common problems and diverse solutions*. 1. ed. Chicago: University Of Chicago Press.
- Gingras, B, Boeckle, M, Herbst, CT, Fitch WT, 2013. Call acoustics reflect body size across four clades of anurans. *Journal of Zoology*. 289, 143–150.
- Gomes, L, Solé, M, Sousa-Lima, RS, Baumgarten, JE, 2022. Influence of Anthropogenic Sounds on Insect , Anuran and Bird Acoustic Signals : A Meta-Analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10, 1–10.
- Goutte, S, Dubois, A, Howard, SD, Márquez, R, Rowley, J.J.L., Dehling, J. M., Grandcolas,

- P., Xiong, R. C., Legendre, F. 2018. How the environment shapes animal signals : a test of the acoustic adaptation hypothesis in frogs. *Journal of Evolutionary Biology*. 31, 148–158.
- Grenat, PR, Pollo, FE, Ferrero, MA, Martino, AL, 2019. Differential and additive effects of natural biotic and anthropogenic noise on call properties of *Odontophrynus americanus* (Anura, Odontophryinidae): Implications for the conservation of anurans inhabiting noisy environments. *Ecological Indicators*. 99, 67–73.
- Guerra, V, Llusia, D, Gambale, PG, Morais, AR, Márquez, R, Bastos, RP, 2018. The advertisement calls of Brazilian anurans: Historical review, current knowledge and future directions. *PLoS ONE*. 13, 1–22.
- Halfwerk, W, Lea, AM, Guerra, MA, Page, RA, Ryan, MJ, 2016. Vocal responses to noise reveal the presence of the Lombard effect in a frog. *Behavioral Ecology*. 27, 669–676.
- Hanna, DEL, Wilson, DR, Blouin-Demers, G, Mennill, DJ, 2014. Spring peepers *Pseudacris crucifer* modify their call structure in response to noise. *Current Zoology*. 60, 438–448.
- Herrera-Montes, MI, Aide, TM, 2011. Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. *Urban Ecosystems*. 4, 15–427.
- Hoskin, CJ, Goosem, MW, 2016. Road Impacts on Abundance, Call Traits, and Body Size of Rainforest Frogs in Northeast Australia. *Ecology and Society*. 15, 15.
- Kaiser, K, Hammers, JL, 2009. The effect of anthropogenic noise on male advertisement call rate in the neotropical treefrog, *Dendropsophus triangulum*. *Behaviour*. 146, 1053–1069.
- Kight, CR, Swaddle, JP, 2011. How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. *Ecology Letters*. 04, 1052–1061.
- Kime, NM, 2000. The transmission of advertisement calls in Central American frogs. *Behavioral Ecology*. 11, 71–83.
- Kime, NM, Turner, WR, Ryan, MJ, 2000. The transmission of advertisement calls in Central American frogs. *Behavioral Ecology*. 11, 1–83.

Köhler, J, Jansen, M, Rodríguez, A, Kok, PJR, Toledo, LF, Emmerich, M, Glaw, F, Haddad, CFB, Rodel, MO, Vences, M, 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa*. 4251, 1-124.

Legett, HD, Madden, RP, Aihara, I, Bernal, XE, 2020. Traffic noise differentially impacts call types in a Japanese treefrog (*Buergeria japonica*). *Ethology*. 126, 76–583.

Lengagne, T, 2008. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. *Biological Conservation*. 141, 2023–2031.

LEON, E., Peltzer, PM, Lorenzon, R, Lajmanovich, RC, Beltzer, AH, 2019. Effect of traffic noise on *Scinax nasicus* advertisement call (Amphibia, Anura). *Ilheringia*. 109, 1–8.

Machado, RA, Bernarde, PS, Morato, SAA, Anjos, L, 1999. Análise comparada da riqueza de anuros entre duas áreas com diferentes estados de conservação no município de Londrina, Paraná, Brasil (Amphibia, Anura). *Revista Brasileira de Zoologia*. 16, 997–1004.

Mageski, MM, Ferreira, RB, Beard, KH, Costa, LC, Jesus, PR, Medeiros, CC, Ferreira, PD, 2016. Bromeliad Selection by *Phyllodytes luteolus* (Anura, Hylidae): The Influence of Plant Structure and Water Quality Factors. *Journal of Herpetology*. 50, 108–112.

Melcón, ML, Cummins, AJ, Kerosky, SM, Roche, LK, Wiggins, SM, Hildebrand, JÁ. 2012. Blue whales respond to anthropogenic noise. *PLoS ONE*. 7, 1–6.

Moore, SE, Clarke, JT, 2002. Potential impact of offshore human activities on gray whales. *J. Cetacean Res. Manage*. 4, 9–25.

Morais, A. R., Batista, VG, Gambale, PG, Signorelli, L, Bastos, RP, 2012. Acoustic communication in a Neotropical frog (*Dendropsophus minutus*): vocal repertoire, variability and individual discrimination. *Herpetological Journal*. 22, 249-257.

Morton, E. S. Ecological Sources of Selection on Avian Sounds. 1975. *The American Naturalist*, 109, 17–34.

Nelson, DV, Klinck, H, Carbaugh-Rutland, A, Mathis, CL, Morzillo, AT, Garcia TS, 2017. Calling at the highway: The spatiotemporal constraint of road noise on Pacific chorus frog communication. *Ecology and Evolution*. 7, 429–440.

- Parris, KM, Velik-Lord, M, North, JMA, 2009. Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society*. 14, 15.
- Penna, M, Solís, R, 1998. Frog call intensities and sound propagation in the South American temperate forest region. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 42, 371–381.
- Peixoto, O. L., 1995. Associação de anuros a bromeliáceas na Mata Atlântica. *Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida. Seropédica* 17: 75-83
- R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/>.
- Sabagh, LT, Ferreira, RB, Rocha, CFD, 2017. Host bromeliads and their associated frog species: Further considerations on the importance of species interactions for conservation. *Symbiosis*. 73, 201–211.
- Salinas, A. S., Costa, RN, Orrico, VGD, Solé, M, 2018. Tadpoles of the bromeliad-dwelling frog *Phyllodytes luteolus* are able to prey on mosquito larvae. *Ethology Ecology & Evolution*. 30, 85–496.
- Salles, ROL, Silva-Soares, T, 2010. *Phyllodytes luteolus* (Anura, Hylidae) as an Alien Species in the Rio de Janeiro municipality, State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. *Herpetology Notes*. 3, 57–258.
- Simon, JE, Gasparini, JL, 2003. Descrição da vocalização de *Phyllodytes kautskyi* Peixoto e Cruz, 1988 (Amphibia, Anura, Hylidae). *Biologia*, 1988, 7–54.
- Slabbekoorn, H, Ripmeester, EAP, 2008. Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*. 17, 72–8.
- Solé, M., Loebmann, D. 2017. Disgusting or delicious? Predatory behavior of the hylid frog *Phyllodytes luteolus* on sympatric ants. n. October.
- Stocker, M. 2002. Fish, mollusks and other sea animals' use of sound, and the impact of anthropogenic noise in the marine acoustic environment. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 112, 2431–2431.
- Sun, JWC, Narins, PM, 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation*. 121, 419–427.

- Toledo, LF, Martins, IA, Bruschi, DP, Passos, MA, Alexandre, C, Haddad, CFB, 2015. The anuran calling repertoire in the light of social context. *Acta Ethologica*, 18, 87–99.
- Toledo, L.F., Carvalho-e-Silva, S.P. de, Sánchez, C., Almeida, M.A. de, Haddad, C.F.B., 2010. A revisão do Código Florestal Brasileiro: impactos negativos para a conservação dos anfíbios. *Biota Neotrop.* 10, 35–38.
- Troïanowski, M, Mondy, N, Dumet, A, Arcanjo, C, Lengnage, T, 2017. Effects of traffic noise on tree frog stress levels, immunity, and color signaling. *Conservation Biology.* 31, 132–1140.
- Warren, P. S., Katti, M, Ermann, M, Brazel, A, 2006. Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour.* 71, 491–502.
- Wells, K. D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*, The University of Chicago Press. Chicago and London.
- Wells, KD, Schwartz, JJ, 2006. The behavioral ecology of Anuran communication. In: Narins, PM. et al. (Eds.). *Hearing and sound communication in Amphibians*. New York: Springer Handbook of Auditory Research, 44–86.
- Wollerman, L, Wiley, RH, 2002. Background noise from a natural chorus alters female discrimination of male calls in a neotropical frog. *Animal Behaviour.* 63, 15–22.
- Yi, YZ, Sheridan, JA, 2019. Effects of traffic noise on vocalisations of the rhacophorid tree frog *Kurixalus chaseni* (Anura: Rhacophoridae) in Borneo. *Raffles Bulletin of Zoology.* 67, 77–8.
- Zhao, L, Sun, X, Chen, Q, Yang, Y, Wang, J, Ran, J, Brauth, SE, Tang, Y, Cui, J, 2018. Males increase call frequency, not intensity, in response to noise, revealing no Lombard effect in the little torrent frog. *Ecology and Evolution.* 8, 11733–11741.
- Zhao, L, Wang, T, Guo, R, Zhai, X, Zhou, L, Cui, J, Wang, J, 2021. Differential effect of aircraft noise on the spectral-temporal acoustic characteristics of frog species. *Animal Behaviour.* 182, 9–18.
- Zuur, AF, Ieno, EN, Walker, NJ, Saveliev, AA, Smith, GM, 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R* (Vol. 574). New York: Springer.

