



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA – PPGZOO

GIOVANNI TANAJURA SILVA

A INFLUÊNCIA DO RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO SOBRE A VOCALIZAÇÃO
DE UM ANURO ENDÊMICO DA MATA ATLÂNTICA NORDESTINA

ILHÉUS – BAHIA

2019

GIOVANNI TANAJURA SILVA

A INFLUÊNCIA DO RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO SOBRE A VOCALIZAÇÃO
DE UM ANURO ENDÊMICO DA MATA ATLÂNTICA NORDESTINA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Zoologia, da Universidade
Estadual de Santa Cruz como requisito para
obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Orientador: Dr. Iuri Ribeiro Dias

ILHÉUS – BAHIA

2019

GIOVANNI TANAJURA SILVA

A INFLUÊNCIA DO RUÍDO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO SOBRE A VOCALIZAÇÃO
DE UM ANURO ENDÊMICO DA MATA ATLÂNTICA NORDESTINA

Ilhéus, 22/03/2019

Dra. Flora Acuna Juncá
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Dr. Caio Vinícius de Mira Mendes
Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

Dr. Iuri Ribeiro Dias (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Mais uma etapa sendo vencida. Mais um sonho conquistado, na carreira profissional e na vida. Novamente, como em todas as minhas conquistas, meu primeiro agradecimento é a Deus, pelas oportunidades que tem me oferecido, sempre me guiando com saúde e proteção para as escolhas certas.

Também, como em tudo e por tudo, agradeço a meus pais Roze e Sérgio, por todo o amor, apoio, carinho, confiança e dedicação em todos os momentos de minha vida.

Agradeço, como sempre a meu irmão Emanuel, pelo companheirismo e amizade que sempre pude e poderei contar.

Agradeço a meus Vôs e Vós pelo amor, carinho e conselhos, bem como aos meus Tios e Tias, que me ajudam e sempre me ajudaram de diferentes formas, contribuindo para cada conquista. Obrigado a meus primos e primas (na verdade irmãos) pela força, amizade e disponibilidade de sempre.

Agradeço a meus amigos da UESB, em especial aos do BEM, que continuaram e sempre continuarão a fazer parte de minha vida, me apoiando nesta em outras conquistas que virão.

A todos meus novos amigos da UESC, que, com seu apoio e companheirismo fizeram desse mestrado, uma aventura inesquecível e muito mais agradável.

Agradeço aos professores da PPGZOO-UESC e também os da UESB (que me prepararam para tudo isso), pelo conhecimento dividido, me mostrando, através de seus olhares, que o mundo é adoravelmente muito mais complexo do que poderia imaginar.

Agradeço a Iuri, meu orientador, por toda a disponibilidade, amizade, pelas conversas e conselhos, essenciais para que esse objetivo fosse alcançado, me preparando para que

me tornasse um profissional cada vez mais completo nessa nossa área tão incrivelmente vasta.

Não poderia deixar de agradecer também a meus antigos (e sempre) orientadores Maria Lúcia Del-Grande e Raymundo Sá-Neto, por terem me encaminhado durante a graduação e mesmo depois, para que isso fosse enfim, possível.

Agradeço a Elcinha, por todo o companheirismo, auxílio e apoio nessa nova e estranha cidade no duro início do mestrado, o que certamente possibilitou que eu seguisse todo esse caminho até o final. A Priscila por me aguentar e, também, por toda a amizade fazendo com que esse ano em Ilhéus fosse muito mais ameno.

A Rubão, parceiro da maioria dos campos e a todos os outros que acompanharam nas noites de trabalho. Aos que leram e deram importantes opiniões. Aos que me auxiliaram a entender as complexas vertentes do desenho amostral e das análises estatísticas. A participação de vocês foi essencial!

A Allisson, pela grande amizade e parceria, pelo conhecimento dividido sobre o fascinante mundo das aves e pela disponibilidade sempre que necessitei.

Obrigado aos fazendeiros e responsáveis pelos locais de coleta, pela hospitalidade, disponibilidade e por tornar o trabalho de campo possível e mais seguro.

À PPGZOO-UESC pela estrutura fornecida e ao CNPq pela bolsa que tornou viável a logística necessária para que essa etapa fosse cumprida.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O ruído gerado pelo tráfego rodoviário, é hoje, um dos grandes problemas para espécies que se comunicam acusticamente no entorno de rodovias, uma vez que esse tipo de som pode mascarar suas vocalizações. A vocalização é um dos aspectos mais importantes para a biologia reprodutiva dos anfíbios anuros, o que faz deste grupo, vulnerável aos efeitos do mascaramento acústico pelo ruído antropogênico. Em resposta, muitas espécies são capazes de modular suas vocalizações, buscando maximizar a propagação de seus sinais. Essa plasticidade pode garantir a recepção dos sinais acústicos pelos parceiros, mas, por vezes, dificultar sua interpretação, favorecendo uma redução na taxa reprodutiva da espécie. Assim, buscamos compreender a influência do ruído do tráfego sobre a comunicação acústica de uma espécie de anuro endêmica da Mata Atlântica nordestina: *Pristimantis paulodutrai*. Para isso, gravamos as vocalizações de indivíduos em ambientes e horários com diferentes níveis de ruído do tráfego, e avaliamos possíveis modulações em seus parâmetros acústicos. Gravamos também, indivíduos submetidos a diferentes situações acústicas (experimentos de *playback*) e com distintos níveis de habituação ao ruído, buscando entender as possíveis respostas acústicas. Apesar da baixa sobreposição espectral de seus cantos pelo ruído do tráfego, *P. paulodutrai* modula alguns de seus parâmetros acústicos em resposta ao ruído. Verificamos que as respostas parecem levar em conta o orçamento energético e os contextos sociais envolvidos e que indivíduos com experiência prévia ao ruído podem responder de maneira diferente de indivíduos ainda não habituados, possivelmente otimizando seu aproveitamento energético. Além de respostas acústicas, a abundância e o tamanho corporal dos machos de *P. paulodutrai* foi menor em locais próximos da estrada, podendo levar a consequências negativas para o sucesso reprodutivo das populações. Assim, observamos como o ruído do tráfego afeta as populações desta espécie, e destacamos a importância de mais trabalhos que visem o aumento do conhecimento de como este impacto se relaciona com nossa fauna.

Palavras chave: Bioacústica; Comunicação animal; Influência antrópica; Poluição sonora; Ecologia de estradas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS	9
2.1. Área de estudo	9
2.1.1. Ambiente tratamento	9
2.1.2. Ambiente controle	9
2.2. Espécie-alvo	10
2.3. Metodologia.....	12
2.3.1. Gravação dos indivíduos	12
2.3.2. O experimento	13
2.3.3. Gravação e edição do ruído do tráfego utilizado no experimento	15
2.3.4. Análises das vocalizações gravadas	15
2.3.5. Análises estatísticas	15
3. RESULTADOS	17
3.1. Influência das variáveis externas.....	18
3.2. Comparação entre ambientes e classes de horário	22
3.3. Experimentos.....	24
4. DISCUSSÃO	29
4.1. <i>Pristimantis paulodutrai</i> e a sobreposição espectral.....	30
4.2. <i>Pristimantis paulodutrai</i> e o ruído do tráfego	31
4.3. Efeitos de variáveis não acústicas.....	33
5. CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A comunicação acústica possui um importante papel nas interações sociais, agonísticas e nas atividades reprodutivas de diversos grupos taxonômicos (DUDZINSKI; THOMAS; GREGG, 2009; PODOS; MOSELEY, 2009; TOLEDO; HADDAD, 2009; NATALE *et al.*, 2011; GREENFELD, 2016). Entretanto, a eficiência dessa comunicação pode ser comprometida pelo mascaramento provocado pelo crescente ruído antropogênico proveniente de rodovias, cidades, portos, aeroportos, entre outros (FAHRIG *et al.*, 1995; SUN; NARINS, 2005; TRESSLER; SMOTHERMAN, 2009; MCGREGOR *et al.*, 2013; LUTHER; PHILLIPS; DERRYBERRY, 2016; CAORSI *et al.*, 2017).

Estudos vêm conseguindo demonstrar o impacto deste tipo de ruído sobre diversos grupos faunísticos, como aves (SLABBEKOORN; PEET, 2003; BRUMM, 2004; SLABBEKOORN; BOER-VISSER, 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006; LUTHER; PHILLIPS; DERRYBERRY, 2016), mamíferos (TERHUNE; STEWART; RONALD, 1979; CROLL *et al.*, 2001; TYACK; GORDON; THOMPSON, 2003; SOUSA-LIMA; CLARK, 2009; TRESSLER; SMOTHERMAN, 2009; HOTCHKIN; PARKS; WEISS, 2013; DUARTE *et al.*, 2017), anfíbios (KAISER; HAMMERS, 2009; CUNNINGTON; FAHRIG, 2013), insetos (SAMARRA *et al.*, 2009) e até peixes (POPPER, 2003; SLABBEKOORN *et al.*, 2010; VOELLMY *et al.*, 2014). Muitas espécies possuem certa plasticidade e conseguem responder à sobreposição de suas vocalizações pelo ruído, alterando parâmetros de seus sinais acústicos (LOPEZ *et al.*, 1988; SLABBEKOORN; PEET, 2003; BRUMM, 2004; CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; HOTCHKIN; PARKS; WEISS, 2013; CAORSI *et al.*, 2017), embora isso possa não ser o bastante para garantir a recepção e correta interpretação dos sinais pelos coespecíficos (FORREST, 1994; BEE; SWANSON, 2007; LUTHER; PHILLIPS; DERRYBERRY, 2016).

A vocalização é um dos aspectos mais importantes para a biologia reprodutiva dos anfíbios anuros, já que na maioria das vezes, é a principal responsável pela atração dos parceiros coespecíficos (LOFTS, 1974; DUELLMAN; TRUEB, 1986), estando, portanto, intimamente ligada a seu sucesso reprodutivo (GERHALDT, 1994). Isso os torna um grupo vulnerável aos efeitos do mascaramento acústico pelo ruído antropogênico (BEE; SWANSON, 2007). Apesar de seus cantos reconhecidamente inatos e estereotipados (GERHALDT; GUTTMAN; KARLIN, 1980; HAUSER, 1996), os anuros podem modular parâmetros acústicos, como a frequência dominante, amplitude, taxa ou duração das chamadas, de modo a evitar o mascaramento, com respostas variáveis de espécie para espécie (e.g. CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; CAORSI *et al.*, 2017). Algumas espécies podem ainda, evitar as fontes de ruído, já que a riqueza e abundância de anuros são correlacionadas negativamente à presença de rodovias (FAHRIG *et al.*, 1995; FORMAN; ALEXANDER, 1998; CARR; FAHRIG, 2001; SUN; NARINS, 2005). Espécies cujos parâmetros de vocalização são sobrepostos pelo ruído tendem a ser mais afetadas, e, portanto, mais propensas a modular suas chamadas (CUNNINGTON; FAHRIG, 2010), apesar de que, mesmo espécies que emitem vocalizações com parâmetros não sobrepostos pelo ruído podem responder

modificando suas características acústicas (CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; CAORSI *et al.*, 2017; MEDEIROS *et al.*, 2017).

Além disso, uma experiência prévia a diferentes estímulos, podem gerar, em uma mesma espécie, diferentes respostas comportamentais e acústicas (DAWSON; RYAN, 2009). Um impacto a longo prazo, então, como o ruído em uma estrada, pode gerar, ao longo de gerações, mudanças consideráveis, podendo levar, inclusive, à especiação alopátrica, com vocalizações com parâmetros diferentes atuando como barreira pré-zigótica (HOSKIN *et al.*, 2005). Alguns estudos demonstram ainda, que ambientes ruidosos podem selecionar caracteres físicos, como o próprio tamanho corporal, onde os espécimes de populações que utilizam habitats com elevados níveis de ruído tendem a ser menores que os indivíduos de ambientes menos ruidosos (VARGAS-SALINAS; AMÉZQUITA, 2013, 2014).

Pelo fato de se reproduzirem, geralmente, em grandes agregações formadas por várias espécies, os anuros, naturalmente, possuem meios comportamentais e acústicos para evitar o mascaramento de suas vocalizações (NARINS, 1982; BRUMM; SLABBEKOORN, 2005). O coro reprodutivo promove uma seleção, moldando a assembleia de anuros local, inclusive, havendo geralmente, um particionamento espectral por parte de cada espécie componente (BOURNE; YORK, 2001; AMÉZQUITA *et al.*, 2006). Um novo tipo de ruído, como o produzido pelo tráfego, pode então, se sobrepor ao nicho acústico de muitas espécies (CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; KAISER *et al.*, 2011; CAORSI *et al.*, 2017), podendo levar, como observado por Kaiser *et al.* (2011), a uma redução da densidade de machos, e, conseqüentemente, do ruído do coro. Uma vez que o coro reprodutivo está associado a uma menor chance individual de predação e a um maior sucesso no acasalamento (RYAN; TUTTLE; TAFT, 1981), o ruído antrópico tem, então, o potencial de contribuir negativamente para a ocupação e sucesso reprodutivo dos anuros, e deve ser levado em consideração durante a implantação de novas fontes de ruído.

Assim, estudos que visam avaliar os efeitos do ruído antropogênico sobre a comunicação acústica de diferentes grupos animais podem vir a acrescentar na tomada de decisões sobre licenciamento ambiental e escolha de locais adequados para a construção de rodovias movimentadas, linhas férreas, portos, aeroportos e indústrias ("Resolução Conama nº 237", 1997), bem como, no manejo de estradas que cortam unidades de conservação ou locais de reprodução e alimentação de determinadas espécies (BERNARDES-FREIRE *et al.*, 2011; FRANCIS; BARBER, 2013; KRUGER; PREEZ, 2016).

Desse modo, buscamos compreender o efeito do ruído do tráfego sobre as vocalizações de *Pristimantis paulodutrai* (BOKERMANN, 1975), uma espécie de desenvolvimento direto endêmica da Mata Atlântica nordestina. Sendo assim, esperamos que (1) em áreas expostas ao ruído do tráfego, mesmo com a baixa sobreposição acústica, os machos de *P. paulodutrai* modulem os parâmetros acústicos das vocalizações; (2) haja uma modulação dos cantos durante a noite, entre o horário de pico do tráfego e o horário após a redução no fluxo rodoviário; (3) os parâmetros acústicos das vocalizações de *P. paulodutrai* variem sob o estímulo do ruído do tráfego (*playback*), bem como depois de cessado o estímulo; (4) os indivíduos apresentem

respostas mais acentuadas em seus parâmetros acústicos quando submetidos a um ruído com maior sobreposição com seus parâmetros espectrais; (5) hajam respostas ao ruído divergentes por parte dos indivíduos já acostumados ou não a este impacto e (6) haja um efeito do ruído do tráfego no tamanho e na abundância dos machos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Ilhéus, sul da Bahia, Brasil, uma região litorânea pertencente ao domínio morfoclimático da Mata Atlântica. Amostramos dois ambientes distintos: (1) as margens da Rodovia Jorge Amado (BR-415), que liga a cidade de Ilhéus à vizinha Itabuna (ambiente tratamento) e (2) locais distantes de ruídos antropogênicos afastados de estradas movimentadas (ambiente controle) (Figura 1). As amostragens foram realizadas em três pontos para cada ambiente. Para minimizar a influência da estrutura ambiental na propagação das vocalizações, realizamos todas as amostragens em áreas de agroflorestas de cacau, conhecidas localmente como "cabruças". As cabruças são sistemas de cultura que consistem na substituição do sub-bosque da floresta pelo cacau e a conservação de grande parte do dossel nativo para o sombreamento dos cultivares (LOBÃO *et al.*, 2011).

2.1.1. Ambiente tratamento

Ladeada por trechos de pastagens, vegetação arbustiva e cultivos de cacau em cabruças, a Rodovia Jorge Amado além de fazer a integração das duas cidades, as comunica também a povoados, universidades e centros de comércio e atua no escoamento de cargas do porto de Ilhéus, possuindo, então, trânsito constante de motos, carros, ônibus e caminhões em ambos os sentidos.

Medimos, com um decibelímetro Minipa MSL-352C, a amplitude do ruído do tráfego em três pontos (Pontos T1, T2 e T3) durante 30 minutos cada, a uma distância de 15 m da rodovia, resultando em uma amplitude média de 72,8 dB em horários de pico (18:00-19:30 horas) e de 66,5 dB após o horário de pico (depois das 20 horas).

2.1.2. Ambiente controle

Com no mínimo 2,8 km de distância (ver CARR; FAHRIG, 2001) da rodovia asfaltada mais próxima e relativamente distantes de centros de habitação, os pontos que compõem o ambiente controle apresentam baixo ruído antropogênico.

Também medimos, com o mesmo decibelímetro, durante 30 minutos, em três pontos (Pontos C1, C2 e C3) e a amplitude do ambiente acústico de fundo alcançou uma média de 51,6 dB.

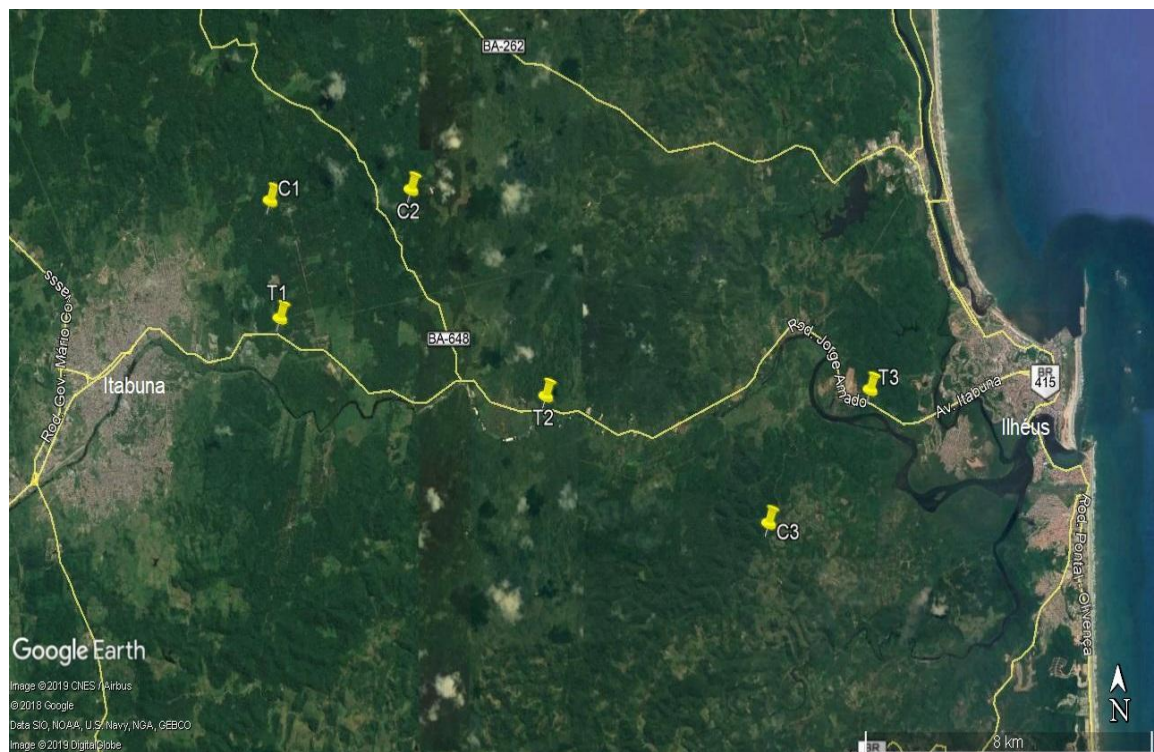


Figura 1: Áreas de amostragem controle (C1, C2 e C3) e tratamento (T1, T2 e T3) ao longo da Rodovia Jorge Amado (BR-415) em Ilhéus, Bahia, Brasil. A BA-648 não é pavimentada.

2.2. Espécie-alvo

Pristimantis paulodutra (BOKERMANN, 1975) (Figura 2) é descrito da região de Ilhéus, Bahia, e ocorre no interior e bordas de matas (SILVA, 2009; GONDIM-SILVA *et al.*, 2016) da porção sul e sudeste do Estado da Bahia (PIMENTA; JUNCA, 2004) até o estado de Alagoas (LIMA; SKUK, 2006). Por possuir dilatações nas extremidades dos dedos adaptadas à ocupação do estrato vertical, distribui-se desde a serapilheira até a vegetação herbácea e arbustiva (SILVA, 2009) e pelo fato de apresentar desenvolvimento direto, depositando os ovos no solo úmido, possui uma menor dependência dos ambientes aquáticos (HEDGES; DUELLMAN; HEINICKE, 2008).

Junto à descrição da espécie, Bokermann (1975) caracterizou o canto de anúncio de *Pristimantis paulodutra* como composto por duas a três notas seguidas, com menos de 0,2 segundos de duração, emitidas em intervalos variáveis e contendo quatro harmônicos principais (Figura 3).

É uma espécie tolerante a ambientes antropizados, sendo comum nas margens das rodovias do sul da Bahia, encontrada, inclusive em fragmentos de vegetação no centro da cidade de Ilhéus (Comunicação pessoal).

Como são abundantes nos locais onde ocorrem (PIMENTA; JUNCA, 2004; SILVA, 2009; Comunicação pessoal) e menos dependentes de corpos d'água (SILVA, 2009), o efeito do coro sobre suas vocalizações é minimizado devido à menor densidade nas agregações, o que torna as espécies do gênero *Pristimantis*, bons modelos para estudos sobre o efeito do ruído antropogênico na comunicação animal.

Além disso, praticamente todos os estudos que avaliam o efeito do ruído sobre os anuros visam famílias como Hylidae, Ranidae, Bufonidae e Microhylidae (e.g. MAZEROLLE; HUOT; GRAVEL, 2005; SUN; NARINS, 2005; KAISER; HAMMERS, 2009; CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; KAISER *et al.*, 2010; CAORSI *et al.*, 2017), mas são raros ou inexistentes os trabalhos que avaliem o efeito do ruído do tráfego com espécies de desenvolvimento direto.

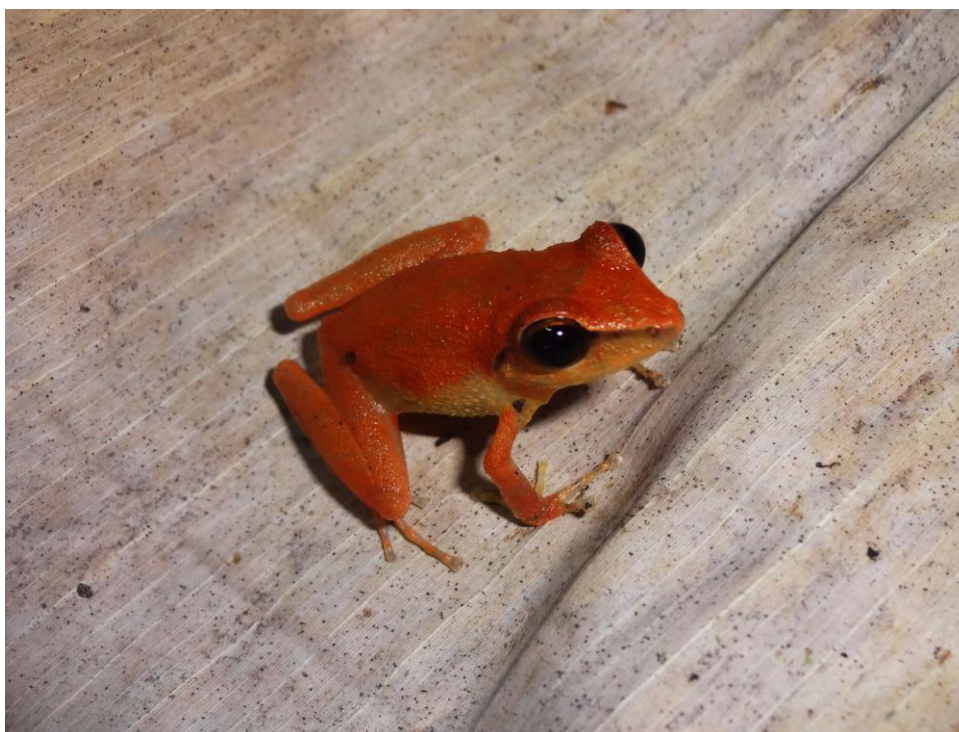


Figura 2: Macho de *Pristimantis paulodutraei* (BOKERMANN, 1975) em seu sítio de canto.

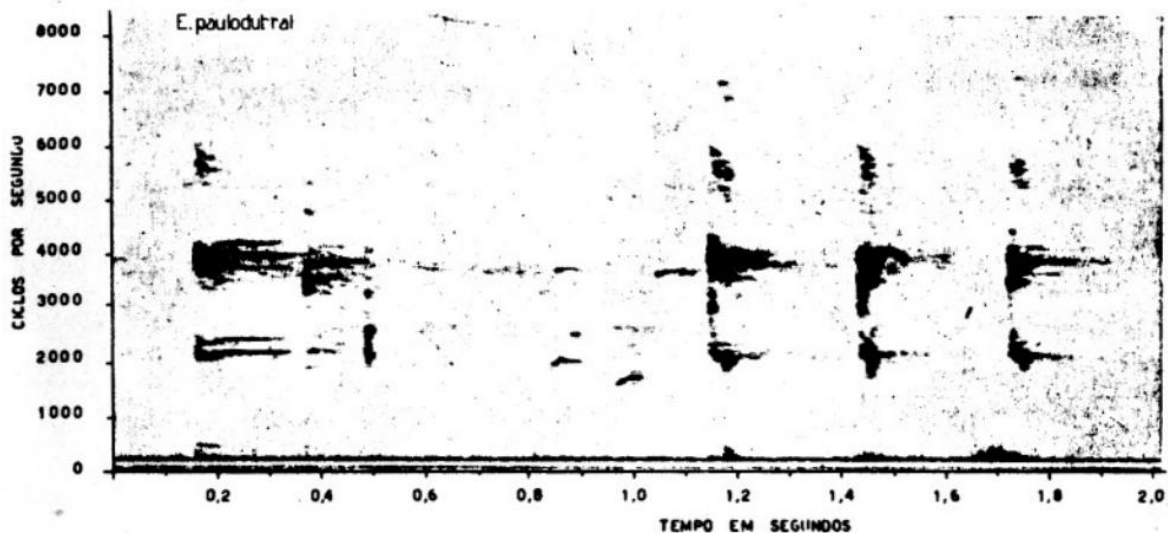


Figura 3: Espectrograma do canto de *Pristimantis paulodutrai* apresentado por Bokermann (1975) na descrição original da espécie.

2.3. Metodologia

2.3.1. Gravação dos indivíduos

As gravações foram realizadas entre maio de 2018 a janeiro de 2019, em 61 noites de amostragem. Tiveram início após o pôr do sol e foram classificadas, em duas etapas temporais: (1) gravações no horário de pico de atividade e/ou do tráfego (17:30 às 20 horas) e (2) gravações após o horário de pico (a partir das 20 horas). O horário de pico das 17:30 às 20 horas é assim classificado por conter um intenso fluxo de carros, motocicletas, ônibus e caminhões na rodovia. Este também é o horário de maior atividade de vocalização de *Pristimantis paulodutrai* (SILVA, 2009). A partir das 20 horas, o trânsito de veículos já é baixo e segundo Silva (2009), há uma significativa redução na atividade de vocalização de *P. paulodutrai*, diminuindo a interferência do ruído da estrada e/ou da influência do coro reprodutivo nas vocalizações.

No ambiente tratamento, os indivíduos foram gravados a uma distância de até 30 m da rodovia. Depois de selecionado o indivíduo vocalizador, foi feito o possível para que outros anuros em atividade de vocalização em um raio de 3 m fossem removidos, para tentar evitar a influência de outros indivíduos nos parâmetros da vocalização e na gravação. Quando o macho selecionado parava de vocalizar devido à preparação dos equipamentos, foi aguardado um tempo suficiente para que este retornasse a sua atividade de vocalização normal para então ser iniciada a gravação.

Todas as gravações foram realizadas com um gravador Marantz Professional PMD661 MK II, e um microfone unidirecional Sennheiser K6, fixado sobre um tripé a

uma distância de 50 cm e posicionado à altura do sítio de canto do indivíduo selecionado.

Buscando avaliar a influência de outras variáveis, que não o efeito do ruído sobre as vocalizações, em cada gravação realizamos uma estimativa auditiva do número de machos coespecíficos que podíamos escutar em atividade de vocalização e tomamos, com um termo-higrômetro digital portátil Instrutherm HT-260, a temperatura e a umidade relativa do ar. Não realizamos gravações em meio à chuva, excluindo assim, o seu efeito sobre a atividade reprodutiva e os efeitos dos ruídos gerados pela mesma. Aferimos também com um paquímetro digital (precisão de 0,1 mm), o comprimento rostro-cloacal (CRC) e com uma balança digital (precisão de 0,1 g), a massa. Tomamos essas variáveis devido à potencial influência que podem exercer nas vocalizações dos indivíduos (CUNNINGTON; FAHRIG, 2013; CAORSI et al., 2017). Os indivíduos gravados foram fixados e serão depositados no Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Santa Cruz. O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Santa Cruz, sob o protocolo nº 019/18 e a coleta dos indivíduos gravados foi prevista pela licença registrada sob o número 9715-1 no Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO).

2.3.2. O experimento

Os experimentos foram realizados em ambos os ambientes (controle e tratamento), em ambas as classes temporais (pico e fora do pico), e seguiram uma adaptação do protocolo proposto por McGregor *et al.* (1992) e utilizado por Both e Grant (2012), Caorsi *et al.* (2017) e Medeiros *et al.* (2017). Foram conduzidos de duas diferentes formas, de acordo com o áudio reproduzido no *playback*.

A primeira (sequência 1) foi composta por cinco minutos de gravação sem qualquer interferência (pré-estímulo), seguidos de cinco minutos de gravação simultânea à reprodução de um *playback* do ruído do tráfego, cuja frequência dominante não sobrepõe à frequência dominante dos cantos de *Pristimantis paulodutrai* (Figuras 4A e 4C) e finalizando com mais cinco minutos de gravação sem interferência (pós-estímulo), totalizando então, 15 minutos de reprodução (P1-E1-P2, onde P1 = Pré-estímulo; E1 = Estímulo do ruído do tráfego; P2 = Pós-estímulo).

A segunda sequência experimental (sequência 2), foi composta por cinco minutos de gravação sem interferência (pré-estímulo), seguidos por cinco minutos de gravação sob o estímulo de um ruído branco (Figuras 4B e 4D) utilizado por Medeiros *et al.* (2017) que possui uma ampla faixa de frequência (de 0 a 8268,8 Hz), sobrepondo-se à frequência das vocalizações de *P. paulodutrai*, e finalizando com mais cinco minutos de gravação sem interferência (pós-estímulo), também totalizando 15 minutos (P1-E2-P2, onde E2 = ruído branco). O ruído branco foi obtido no endereço: <https://simplynoise.com/>.

A Sequência 1 (P1-E1-P2) foi executada em ambas as classes de horário nas áreas controle e somente fora do horário de pico nas áreas tratamento, enquanto a Sequência 2 (P1-E2-P2) foi executada apenas durante o horário de pico no ambiente

tratamento. Essa decisão leva em conta o fato que durante o horário de pico, no ambiente tratamento, o ruído do tráfego já existe, ($P1=E1=P2$) não justificando a execução de um *playback* deste mesmo ruído. O ruído branco, por outro lado, tem uma faixa de frequência maior, e poderemos observar, então, possíveis respostas comportamentais por parte dos machos de *P. paulodutra* submetidos a um ruído que sobrepõe a frequência dominante de suas vocalizações.

Uma caixa de som SME-AFS Saul Mineroff Electronics, foi usada para a reprodução do *playback*, sendo posicionada na direção do animal a 1,5 metros de distância e a 30 cm do chão. De modo que amplitude média do *playback* fosse sempre correspondente à amplitude do ruído do tráfego (~ 72,8 dB), antes dos experimentos, o volume da caixa de som era ajustado utilizando um decibelímetro Minipa MSL-352C posicionado à mesma distância que a caixa se encontraria dos animais (1,5 metros), configurado a ponderação C (para medidas de ruídos de baixa frequência), modo FAST (modo de resposta rápida) e na escala AUTO (30 ~130 dB). Esse volume era então fixado para todos os experimentos naquele dia no mesmo ambiente. O microfone era preferencialmente armado de frente para o indivíduo vocalizador, e no mesmo sentido da caixa de som, minimizando o efeito do *playback* na qualidade da gravação. Cada indivíduo só foi submetido uma vez a cada experimento.

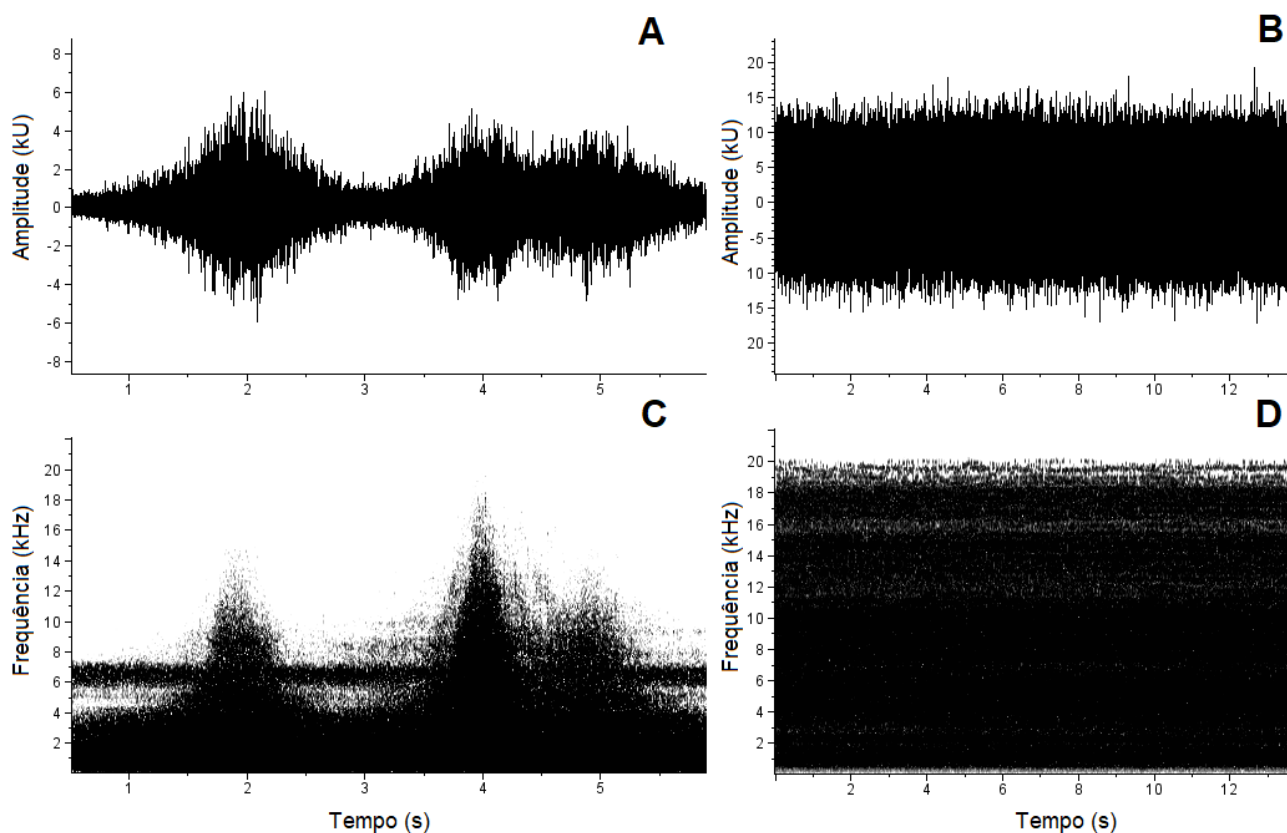


Figura 4: Ruídos utilizados como *playback* durante a etapa E1 (sequência 1) e E2 (sequência 2) do experimento. (A) Oscilograma e (B) espectrograma do ruído do tráfego gravado às margens da Rodovia Jorge Amado e (C) Oscilograma e (D) espectrograma do ruído branco de amplo espectro de frequência utilizado.

2.3.3. Gravação e edição do ruído do tráfego utilizado no experimento

Para construir o *playback* do ruído do tráfego usado nos experimentos (etapa E1), realizamos uma gravação no Km 16 da Rodovia Jorge Amado a cinco metros da borda da rodovia, entre 18:00-18:30 horas (30 minutos), durante o horário de pico. Utilizamos o mesmo equipamento empregado na gravação dos indivíduos de *P. paulodutrai*, com o microfone a 50 cm de altura em relação à rodovia.

Para a edição da gravação do ruído, utilizamos o *software* Raven pro 1.5. Durante os 30 min de gravação a frequência dominante média do ruído foi de $1047,4 \pm 337,14$ Hz. Através de faixas desta gravação, construímos o áudio de cinco minutos emitido no *playback* da etapa E1 do experimento. Utilizamos, para isso, trechos de áudio que apresentavam uma frequência dominante equivalente à frequência dominante média da gravação total. Também cortamos do áudio as eventuais vocalizações de anuros na gravação.

2.3.4. Análises das vocalizações gravadas

Utilizando o *software* Raven pro 1.5, foram verificados os seguintes parâmetros acústicos: frequência dominante (calculada automaticamente com o parâmetro “*Peak Frequency (Hz)*”), duração do canto, e o número de pulsos de cada canto. Calculamos também o número de cantos no período de cinco minutos. Os parâmetros acústicos foram analisados separadamente para os dois tipos de canto predominantemente encontrados nas gravações (padrões A e B). A proporção da emissão dos cantos padrão A ou B foi calculada para cada indivíduo, através da razão entre o número de cantos de cada padrão, pela somatória do número de cantos de ambos os padrões. Foi utilizado para as análises, um FFT igual a 53 (que para os cantos desta espécie, mostra bem os limites dos pulsos e das vocalizações no espectograma). O espectograma foi configurado na janela Hann com sobreposição de 85 %. Os conceitos de cada parâmetro acústico analisado seguem as recomendações de Köhler *et al.* (2017).

As gravações foram divididas em intervalos de cinco minutos, correspondendo aos períodos de pré-estímulo (P1), Estímulo com o ruído do trânsito (E1) ou com o ruído branco (E2) e o pós-estímulo (P2).

2.4. Análises estatísticas

As análises foram feitas separadamente para os cantos padrão A e B. Foram incluídos apenas, os cantos dos indivíduos que vocalizaram mais de uma vez durante as gravações. Por apresentar uma correlação forte e significativa com a duração dos cantos (Correlação de Spearman: $r_s = 0,957$; $p = 2,2 \cdot 10^{-16}$), o parâmetro número de pulsos não foi incluído nas análises.

Assim, variações nos parâmetros acústicos (1 - frequência dominante, 2 - duração do canto, 3 - número de cantos em cinco minutos e 4 - proporção de cantos padrão A em relação aos cantos padrão B) foram avaliadas usando Modelos Lineares Generalizados (GLM - Generalized Linear Model). Para a frequência dominante e duração dos cantos foram utilizados os valores médios por indivíduo ou etapa do experimento por indivíduo.

Com o intuito de avaliar modulações entre os ambientes/classes de horário, foram construídos modelos com os parâmetros acústicos em função das variáveis preditoras fixas: (I) Ambiente (Tratamento ou Controle); (II) Classe de horário (Pico ou Fora do pico); (III) A interação entre Ambiente e Classe de horário. Foi construído também, um modelo nulo, incluindo a probabilidade do efeito do acaso ou de possíveis fatores não avaliados sobre cada parâmetro acústico.

Para avaliar variações entre as etapas do experimento de *playback*, para cada ambiente/classe de horário, separadamente (Tratamento/Pico; Tratamento/Fora do pico; Controle/Pico; Controle/Fora do pico) foram construídos modelos com cada parâmetro acústico em função da variável preditora “Período do experimento” (P1, E1/E2, P2). Também foi construído um modelo nulo, sem a inclusão dessa variável.

Os dados foram analisados no ambiente de programação R Studio v. 1.1.463 (TEAM, 2016). As imagens gráficas foram confeccionadas através do pacote “*sciplot*” (MORALES; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

Os dados referentes aos parâmetros “Duração” e “Frequência dominante” e “Proporção de cantos padrão A ou B” foram ajustados nos modelos seguindo uma distribuição de Gaussian, enquanto para o parâmetro “Número de cantos”, verificamos uma superdispersão dos dados na distribuição de Poisson (quando a variância dos dados é maior que o dobro da média), sendo os modelos ajustados, então, seguindo uma distribuição binomial negativa (ZUUR *et al.*, 2009), através do pacote “MASS” (VENABLES; RIPLEY, 2002).

Para determinar os modelos que melhor se ajustavam aos dados, foi utilizado, através do pacote “*bbmle*” (BOLKER; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017), o Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc). Foi considerado o modelo mais plausível, o que apresentava o menor $\Delta AICc$ (diferença entre o AICc de um modelo e o AICc do melhor modelo) (BURNHAM; ANDERSON, 2003). Quando diferentes modelos possuíam valores próximos de $\Delta AICc$ (uma diferença menor ou igual a dois), foi considerado como mais plausível, o modelo mais simples.

De modo a verificar a existência de possíveis influências das variáveis: (1) abundância de indivíduos coespecíficos vocalizadores, (2) temperatura do ar (°C), (3) umidade relativa do ar (%), (4) comprimento rostro-cloacal (cm) e (5) massa (g) sobre os parâmetros das vocalizações avaliados realizamos, para cada parâmetro acústico,

uma correlação de Spearman ($\alpha = 0,05$). Através de testes t (para CRC e massa corporal) e testes de Wilcoxon (para a estimativa de machos vocalizadores, temperatura ambiente e umidade do ar; em vista da não normalidade dos dados) ($\alpha = 0,05$), avaliamos se existe diferença entre as médias das variáveis analisadas entre os ambientes (controle e tratamento).

3. RESULTADOS

Em 34 das 61 noites de amostragem, foram gravados 72 indivíduos, sendo 36, encontrados no ambiente tratamento (26 em horário de pico e 10 após o horário de pico) e 36, no ambiente controle (29 em horário de pico e sete após o horário de pico).

Os dois principais padrões de cantos de *P. paulodutrai* identificados nas gravações se diferenciavam nos sonogramas, essencialmente, pelo padrão de picos de amplitude. Os cantos padrão A (Figuras 5A e 5C) são compostos por uma única nota multipulsionada, com um maior pico de amplitude nos pulsos iniciais, seguidos de uma sequência mais longa de pulsos com amplitude menor e relativamente uniforme até reduzirem em amplitude de maneira abrupta no final da nota. Possuem frequência dominante média de $4044,32 \pm 272,57$ Hz (mín.: 3750; máx.: 4823,4 Hz), duração média de $0,165 \pm 0,047$ segundos (mín.: 0,046; máx.: 0,39 s) e uma média de $53,64 \pm 14,25$ pulsos (mín.: 14; máx.: 99 pulsos/canto) ($n = 52$ indivíduos). Os cantos padrão B (Figuras 5B e 5D) são mais curtos que os de padrão A e são também formados por uma única nota com poucos pulsos por canto. Apresentam frequência dominante média de $3953,35 \pm 309,09$ Hz (mín.: 3445,3; máx.: 4500 Hz), duração média de $0,021 \pm 0,006$ segundos (mín.: 0,005; máx.: 0,043 s) e uma média de $5,93 \pm 2,17$ pulsos (mín.: 1; máx.: 15 pulso(s)/canto) ($n = 50$ indivíduos). Ambos os padrões de cantos possuem em sua estrutura espectral as chamadas bandas laterais (*sidebands*), que consistem em faixas de energia separadas, visualmente semelhantes à harmônicos, mas que, diferente destes, por não apresentam valores de frequência múltiplos da frequência fundamental (KÖHLER *et al.*, 2017). Os cantos padrão A e B foram analisados separadamente.

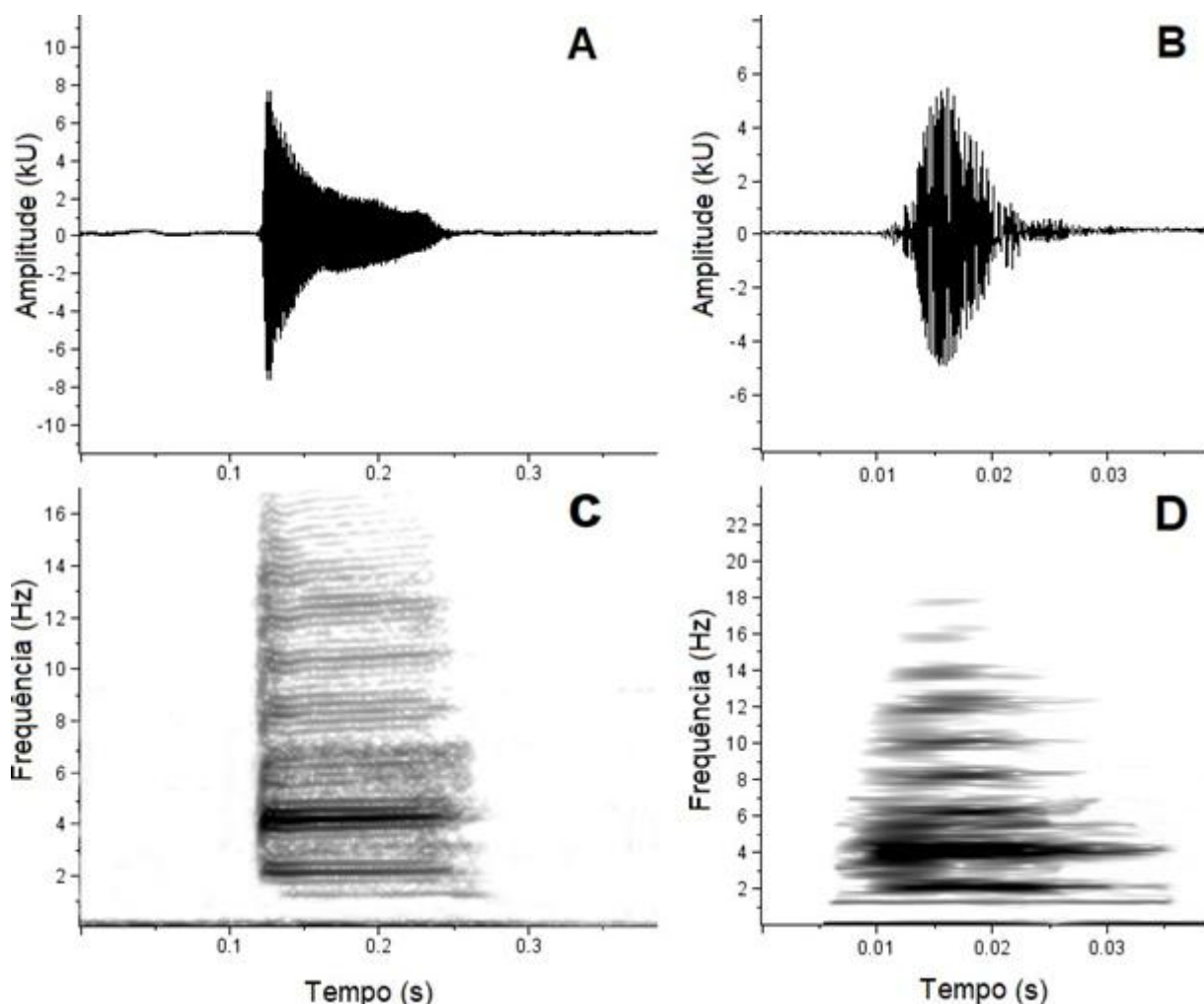


Figura 5: Padrões de cantos encontrados nas gravações das vocalizações de *Pristimantis paulodutraei*: **(A)** oscilograma e **(C)** espectrograma de um canto padrão A e **(B)** oscilograma e **(D)** espectrograma de um canto padrão B. As escalas temporais estão diferentes para uma melhor visualização de cada padrão. FFT = 512; Overlap = 95%; Hann.

3.1. Influência das variáveis externas

Foram encontradas correlações significativas entre algumas variáveis avaliadas e os parâmetros acústicos (Tabela 1). A duração dos cantos padrão A foi significativamente correlacionada ao comprimento-rostro-cloacal (CRC) ($p < 0,05$), enquanto o número de cantos, também dos cantos padrão A, apresentou uma correlação significativa com o número de machos vocalizadores (Figura 6). Verificamos uma diferença significativa para o CRC e para o número de machos vocalizadores entre os ambientes ($t = 6,12$; $p = 2,83 \cdot 10^{-8}$ e $W = 1100,5$; $p = 0,03$, respectivamente; Tabela 2), com indivíduos menores e menos machos vocalizadores no ambiente tratamento em relação ao ambiente controle (Figura 7).

Tabela 1: Resultados dos testes de correlação de Spearman ($\alpha = 0.05$) entre os parâmetros acústicos dos cantos padrão A e B obtidos nas gravações de indivíduos de *Pristimantis paulodutrai* em função de variáveis externas. Parâmetros acústicos: FD = Frequência dominante (Hz); DUR = Duração (s); NC = Número de cantos emitidos em cinco minutos; PROP = Proporção do número de cantos. Variáveis externas: CRC = Comprimento rostro-cloacal (cm); MA = Massa (g); TA = Temperatura do ar (°C); UR = Umidade relativa do ar (%); MACH = Estimativa de machos coespecíficos vocalizadores. (*) indica as correlações significativas.

Padrão	Variáveis	CRC		MA		TA		UR		MACH	
		rs	p	rs	p	rs	p	rs	p	rs	p
A	FD	-0.042	0.787	-0.004	0.985	-0.025	0.864	$9 \cdot 10^{-5}$	0.999	-0.168	0.280
	DUR	0.353	0.018*	0.155	0.501	-0.229	0.120	0.047	0.753	0.274	0.074
	NC	0.208	0.184	0.157	0.495	0.131	0.390	-0.239	0.112	0.310	0.048*
	PROP	0.051	0.688	0.227	0.219	0.112	0.373	-0.038	0.76	0.247	0.056
B	FD	-0.118	0.450	-0.136	0.568	-0.042	0.779	0.208	0.164	0.074	0.640
	DUR	0.259	0.092	0.105	0.658	-0.148	0.324	0.194	0.195	0.242	0.122
	NC	0.055	0.728	-0.078	0.734	0.062	0.683	0.019	0.900	-0.024	0.882
	PROP	-0.051	0.688	-0.227	0.219	-0.112	0.373	0.038	0.76	-0.247	0.056

Tabela 2: Resultados dos testes t e testes de Wilcoxon para variáveis mensuradas entre os ambientes e seus respectivos n amostrais em número de indivíduos; CRC = Comprimento rostro-cloacal (cm); MA = Massa (g); TA = Temperatura do ar (°C); UR = Umidade relativa do ar (%); MACH = Estimativa de machos coespecíficos vocalizadores. Os valores em negrito indicam as correlações significativas.

Variável	Ambiente			
	t	W	p	n
CRC	6,11	-	$2,83 \cdot 10^{-8}$	62
MA	1,66	-	0,1	31
TA	-	1060,5	0,9	65
UR	-	1119	0,75	65
MACH	-	1100,5	0,03	60

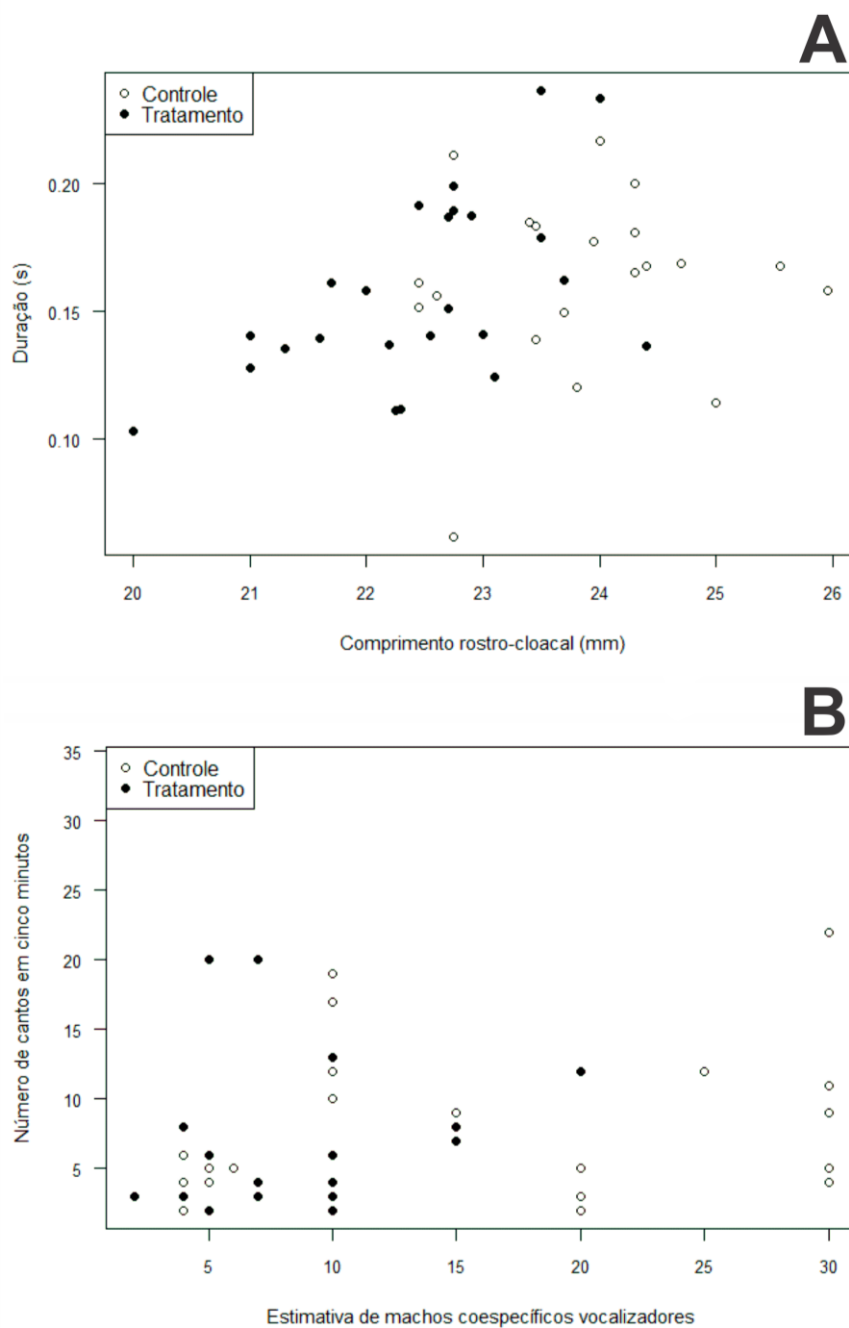


Figura 6: Gráficos de dispersão entre o comprimento-rostro-cloacal (mm) e a duração da nota A (A) e entre a abundância de machos vocalizando e o número de cantos emitidos em cinco minutos para a nota A (B). $p = 0.018$; $r_s = 0.353$ e $p = 0.048$; $r_s = 0.310$, respectivamente.

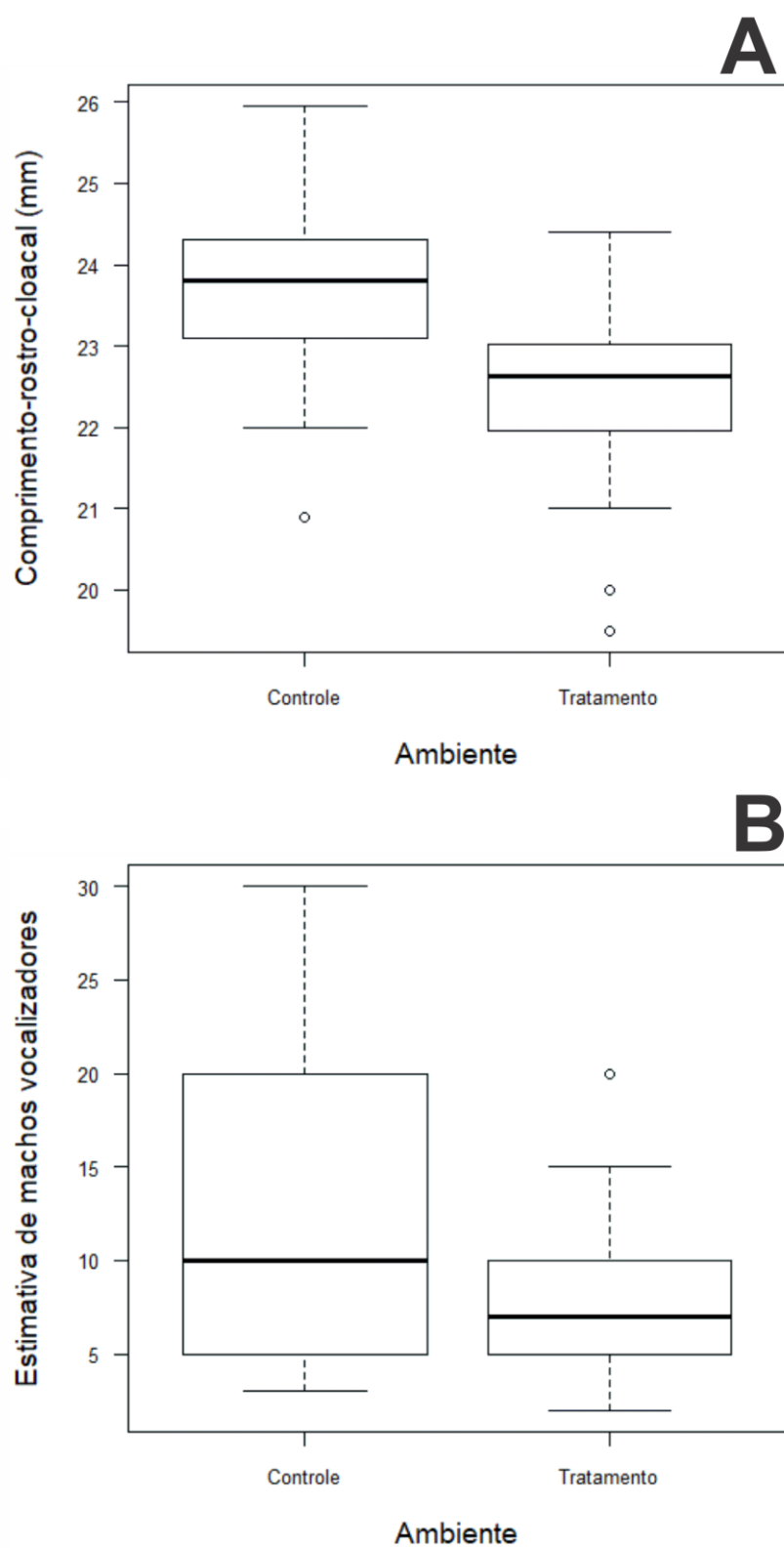


Figura 7: Diferença para o comprimento-rostro-cloacal (mm) (A) e a abundância de machos coespecíficos vocalizando (B) entre os ambientes controle e tratamento. $p = 2,83 \cdot 10^{-8}$; $t = 6,12$ e $p = 0,03$; $W = 1100,5$, respectivamente.

3.2. Comparação entre ambientes e classes de horário

A seleção dos modelos através da comparação entre os $\Delta AICc$ (Tabela 3) associada à análise gráfica (Figuras 8 e 9), mostrou que *Pristimantis paulodutrai* modula a duração de seus cantos padrão B entre as classes de horário ($\Delta AICc = 0$), passando a emitir cantos mais longos após o horário de pico (Figura 9A), especialmente no ambiente tratamento ($\Delta AICc = 2,4$). O restante das análises para a comparação dos parâmetros acústicos em função do ambiente e da classe de horário foi melhor explicado pelos modelos nulos, apesar de haver situações em que modelos que incluíam variáveis de interesse se mostravam também plausíveis. Uma dessas situações inclui a frequência dominante dos cantos padrão A e B ($\Delta AICc = 0$; Figuras 8B e 9B), onde há uma tendência a cantos com maiores frequências no ambiente tratamento, e, para os cantos padrão B, no ambiente tratamento, uma tendência a cantos em frequências mais altas após o horário de pico ($\Delta AICc = 2$; Figura 9B). Em relação ao número de cantos em cada gravação, há uma tendência à emissão de mais cantos padrão A no horário de pico ($\Delta AICc = 1,1$; Figura 8C), especialmente no ambiente controle ($\Delta AICc = 2,3$; Figura 8C) e mais cantos padrão B, após o horário de pico ($\Delta AICc = 1$; Figura 9C). As proporções entre os padrões de cantos seguiram a tendência do número de cantos, onde tende-se a uma maior proporção de cantos padrão A no horário de pico ($\Delta AICc = 0,9$), especialmente no ambiente controle ($\Delta AICc = 2$; Figura 8/9D)

Tabela 3: Valores do $\Delta AICc$ e os respectivos n amostrais utilizados (indivíduos) para cada tipo de canto, cada parâmetro acústico e cada modelo construído para a verificação da influência do ambiente e classe de horário. AMB = Ambiente (Tratamento ou controle); CH = Classe de horário (Pico ou Fora do pico); AMB+CH = Interação entre Ambiente e Classe de horário. Os valores em negrito pertencem aos modelos selecionados como mais plausíveis para a explicação dos dados dos parâmetros acústicos. Os valores de $\Delta AICc$ associados ao asterisco (*) indicam os $\Delta AICc$ dos modelos mais plausíveis que mostraram uma influência das variáveis de interesse.

Padrão	Modelo	Duração		Frequência dominante		Número de cantos		Proporção de cantos	
		$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n
A	Nulo	0	52	1,2	52	0	50	0	72
	AMB	2,2		0		2,3		2.1	
	CH	0,7		3,2		1,1		0.9	
	AMB+CH	2,8		2,3		3,3		2.9	
B	Nulo	3,5	50	0,5	50	0	49	0	72
	AMB	5,7		0		2,2		2.1	
	CH	0*		2,4		1		0.9	
	AMB+CH	2,4		2		3,3		2.9	

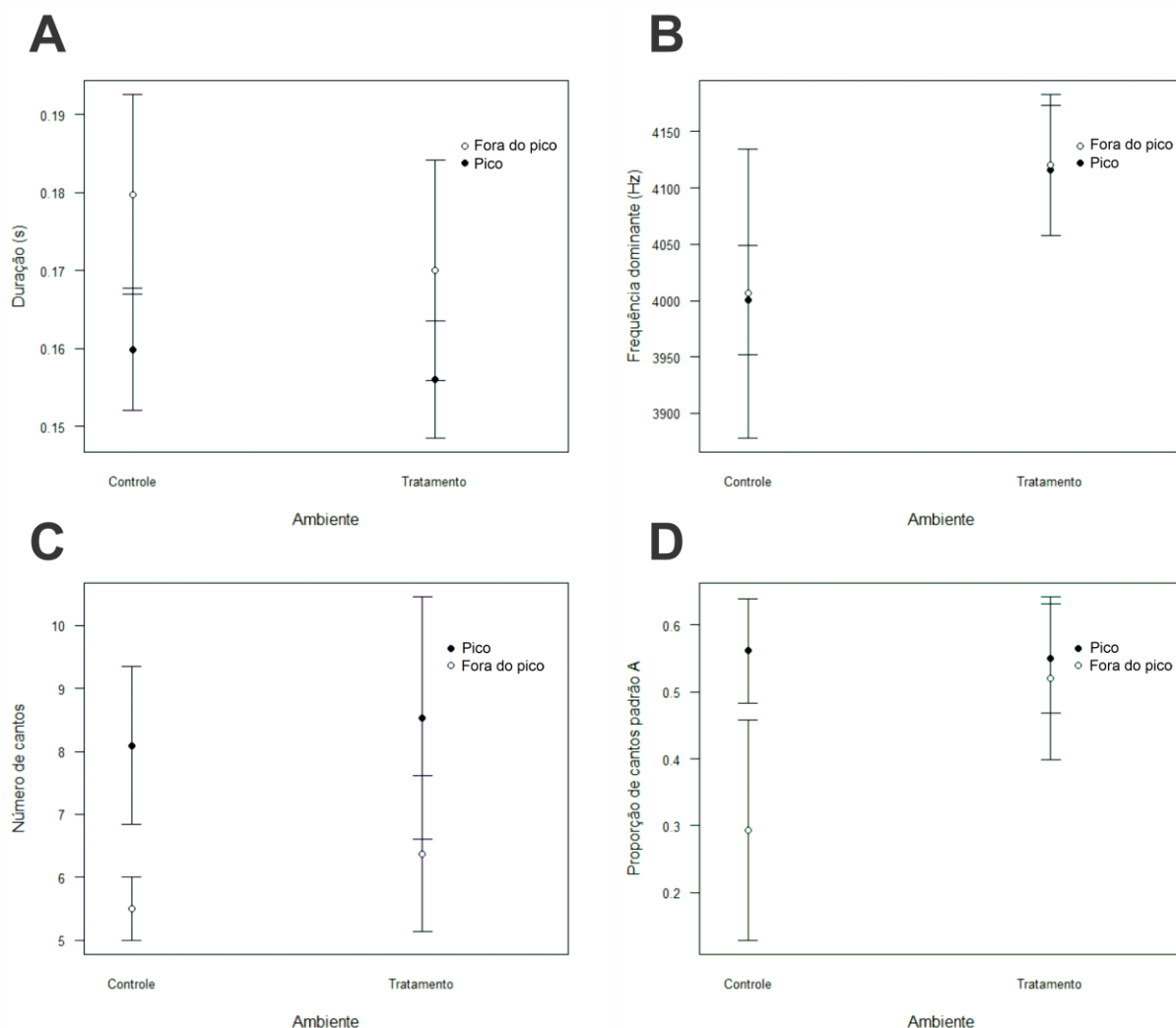


Figura 8: Parâmetros acústicos dos cantos padrão A entre os ambientes (controle e tratamento) e entre as classes de horário (pico e fora do pico), sendo A) para o parâmetro Duração do canto (s), B) para a frequência dominante (Hz), C) para o número de cantos em cinco minutos e D) para a proporção de cantos padrão A em relação aos cantos padrão B nas gravações ($N \text{ cantos padrão A} / (N \text{ cantos padrão A} + N \text{ cantos padrão B})$ por indivíduo). Os pontos (abertos ou fechados) representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

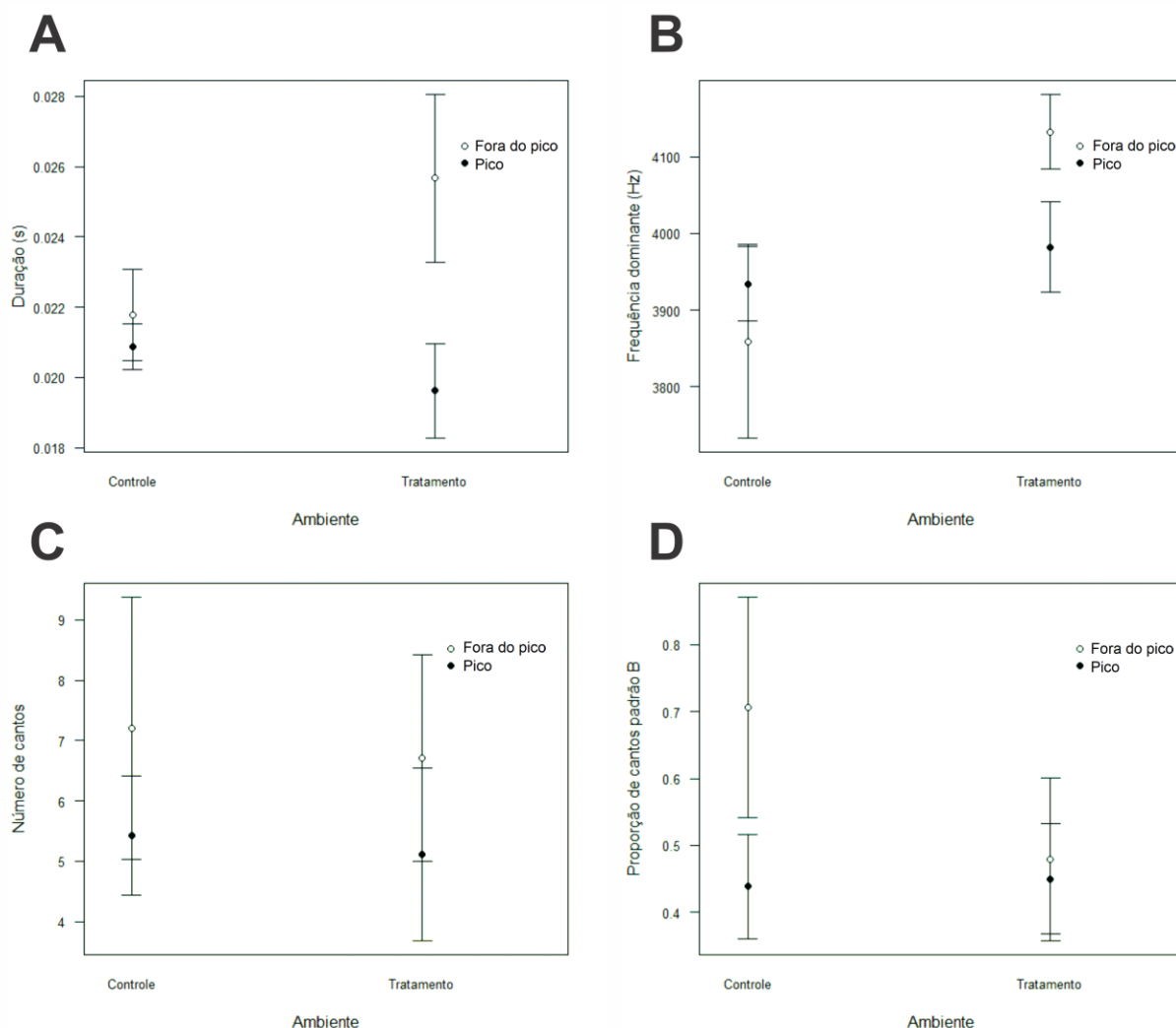


Figura 9: Parâmetros acústicos dos cantos padrão B entre os ambientes (controle e tratamento) e entre as classes de horário (pico e fora do pico), sendo A) para o parâmetro Duração do canto (s), B) para a frequência dominante (Hz), C) para o número de cantos em cinco minutos e D) para a proporção de cantos padrão A em relação aos cantos padrão B nas gravações (N cantos padrão A / (N cantos padrão A + N cantos padrão B) por indivíduo. Os pontos (abertos ou fechados) representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

3.3. Experimentos

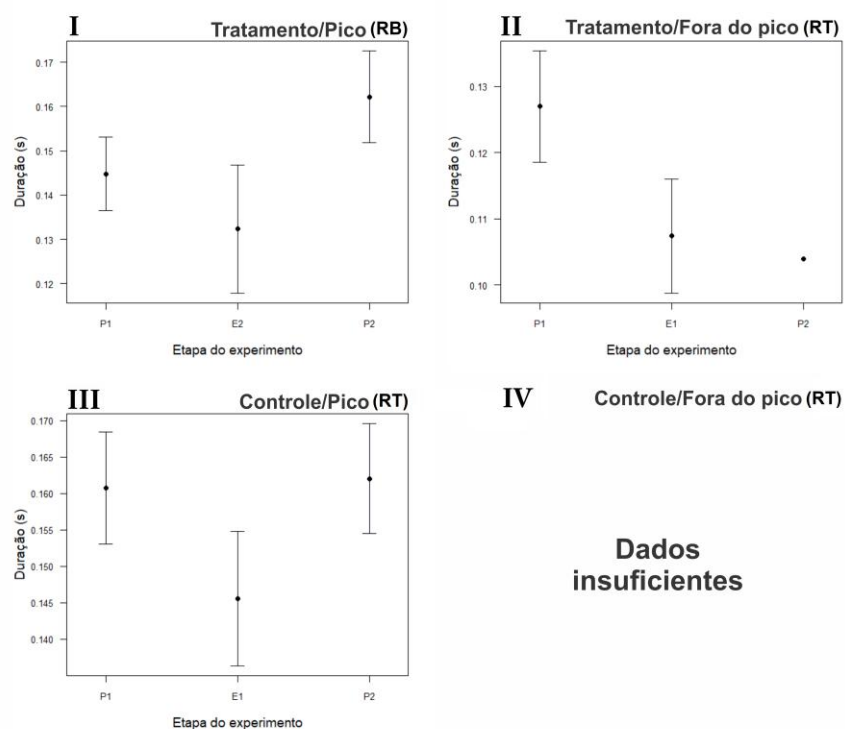
Entre as etapas do experimento, a seleção dos modelos (Tabela 4), junto à interpretação gráfica (Figuras 10, 11, 12 e 13) indicou uma influência considerável do *playback* do ruído do tráfego sobre a proporção dos tipos de canto no ambiente tratamento após o horário de pico ($\Delta AICc = 0$; Figura 13-II), onde, sob o *playback* do ruído do tráfego, a proporção dos cantos padrão A é consideravelmente menor em relação aos cantos padrão B. O restante dos resultados demonstrou uma explicação mais satisfatória dos parâmetros acústicos pelos modelos nulos (Tabela 4), havendo,

porém, casos onde os modelos que incluíam as etapas do experimento, também foram consideradas plausíveis. Um desses casos envolve a duração dos cantos padrão A no ambiente tratamento, durante o horário de pico, onde houve uma tendência a cantos mais curtos sob o estímulo do ruído branco, seguido de cantos mais longos após cessado o estímulo ($\Delta AICc = 1,5$; Figura 10A-I). Para a frequência dominante, houve uma tendência a emitir cantos padrão A de menor frequência sob a influência do *playback* do ruído do tráfego no ambiente controle durante o horário de pico ($\Delta AICc = 0,3$; Figura 11A-III). Já quanto ao número de cantos por etapa, houve uma tendência em que os indivíduos gravados no ambiente tratamento durante o horário de pico, reduziam sua emissão de cantos padrão A e padrão B em resposta ao ruído branco ($\Delta AICc = 1,2$; Figura 12A-I e $\Delta AICc = 1$; Figura 12B-I respectivamente). No ambiente tratamento, após o horário de pico, houve ainda uma tendência a menos cantos padrão A sob o efeito do *playback* do ruído do tráfego ($\Delta AICc = 0,7$; Figura 12A-II), e, no ambiente controle, também após o horário de pico, os indivíduos tendem a diminuir a emissão de cantos padrão B no pós-estímulo em relação ao que fora emitido durante o *playback* do ruído do tráfego ($\Delta AICc = 1$; Figura 12B-IV).

Tabela 4: Valores do $\Delta AICc$ e os respectivos n amostrais utilizados para cada tipo de canto, cada parâmetro acústico e cada modelo construído para a verificação da influência das etapas do experimento de *playback*. EXP = Modelo que inclui as etapas do experimento com diferentes níveis de ruído. Os valores de $\Delta AICc$ associados ao asterisco (*) pertencem aos modelos selecionados como mais plausíveis para a explicação dos dados dos parâmetros acústicos. Os valores em negrito indicam os modelos que mostram uma modulação dos parâmetros por influência dos *playbacks*.

Ambiente/ Classe de horário	Padrão	Modelo	Duração		Frequência dominante		Número de cantos		Proporção de cantos	
			$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n	$\Delta AICc$	n
Tratamento/Pico (ruído branco)	A	Nulo	0*	17	0*	17	0*	17	0*	19
		EXP	1,5		3,7		1,2		2.8	
	B	Nulo	0*	17	0*	17	0*	17	0*	19
		EXP	4,7		3,7		1		2.8	
Tratamento/Fora do pico (ruído do tráfego)	A	Nulo	0*	4	0*	4	0*	4	6.1	4
		EXP	35,4		39,3		0,7		0*	
	B	Nulo	0*	4	0*	4	0*	4	6.1	4
		EXP	10,9		8,8		6,3		0*	
Controle/Pico (ruído do tráfego)	A	Nulo	0*	16	0*	16	0*	16	0*	16
		EXP	2,3		0,3		3,7		2.8	
	B	Nulo	0*	15	0*	15	0*	15	0*	16
		EXP	4,8		3,6		0,1		2.8	
Controle/Fora do pico (ruído do tráfego)	A	Nulo	-	1	-	1	-	1	0*	2
		EXP	-		-		-		38	
	B	Nulo	0*	2	0*	2	0*	2	0*	2
		EXP	39,5		39,6		38,3		38	

Cantos padrão A



Cantos padrão B

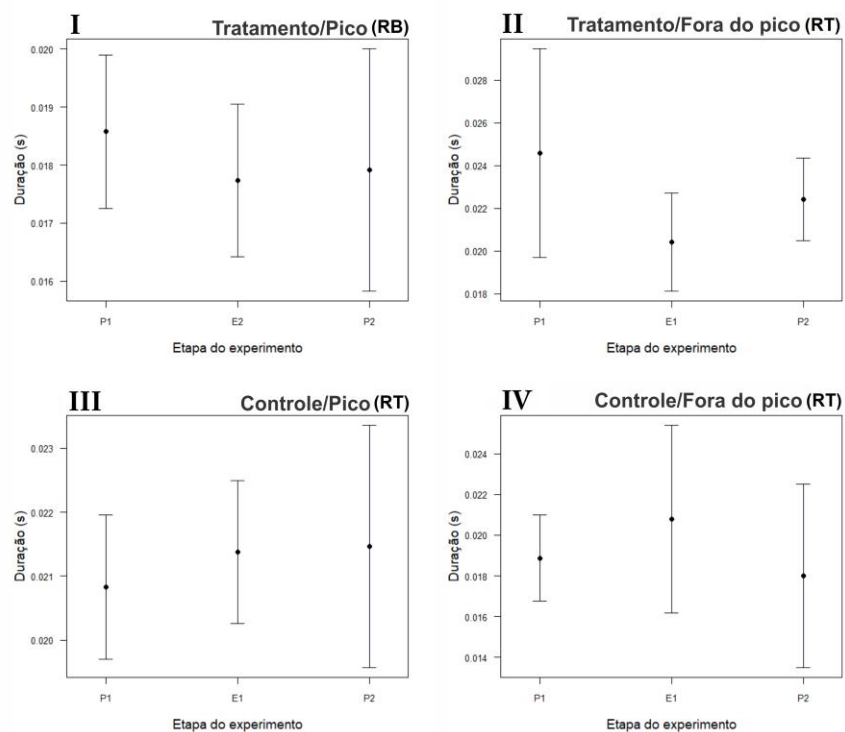
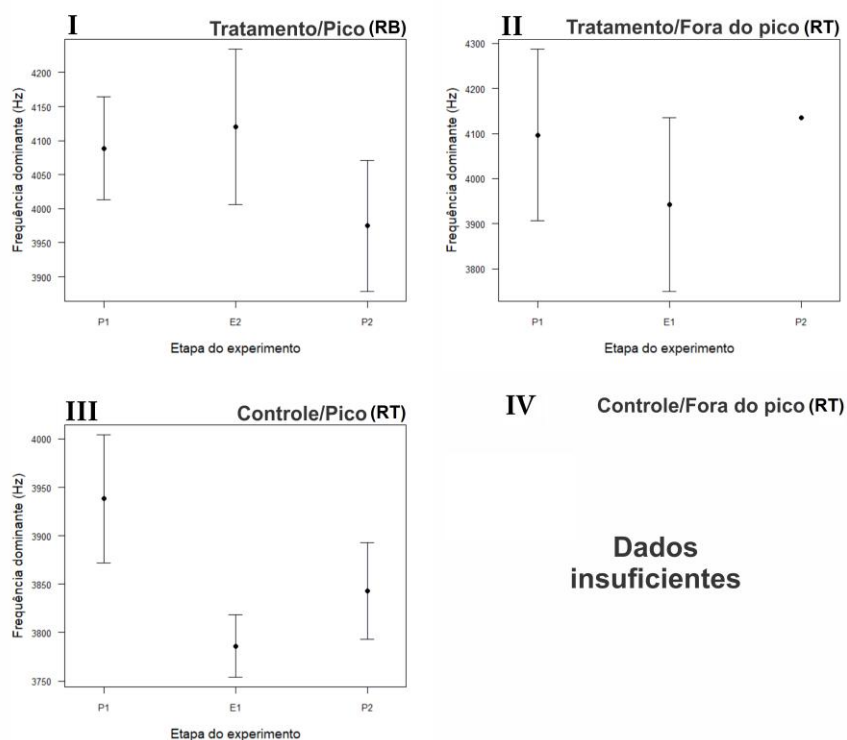


Figura 10: Média e erro padrão da duração dos cantos (s) entre as etapas do experimento para os cantos padrão A e B em cada ambiente/horário. P1 = Pré-estímulo; E1 = *Playback* Ruído do tráfego; E2 = *Playback* Ruído branco; P2 = Pós-estímulo. RB = Estímulo com o ruído branco; RT = Estímulo com o ruído do tráfego. Os pontos representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

Cantos padrão A



Cantos padrão B

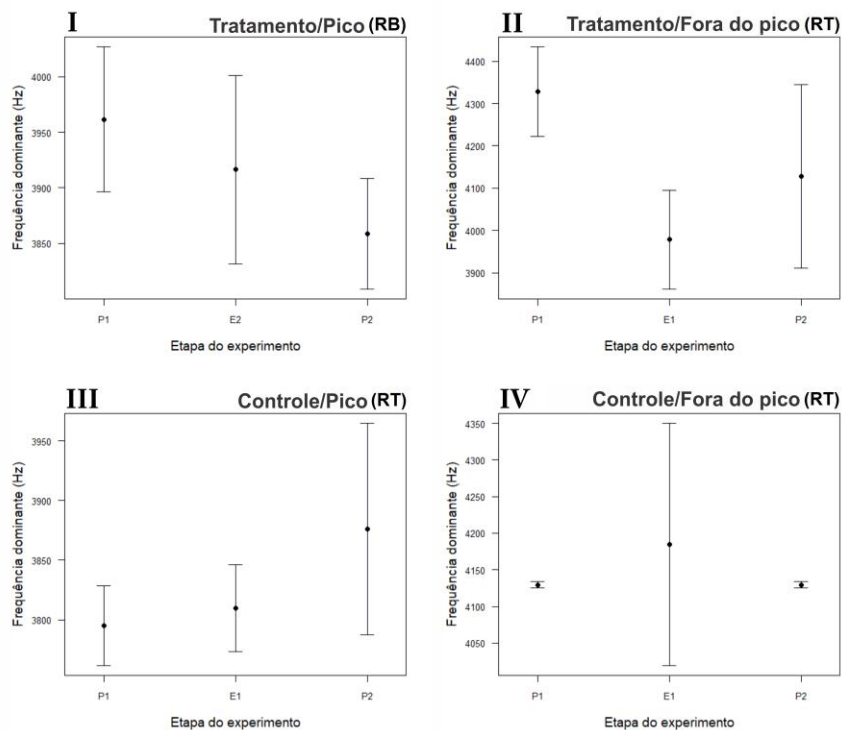
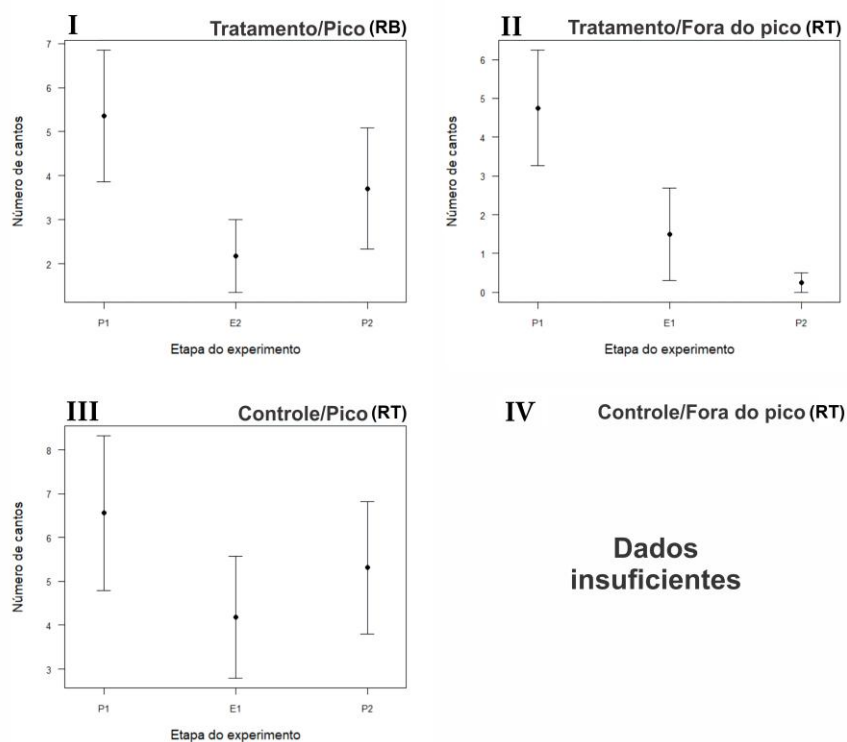


Figura 11: Média e erro padrão da frequência dominante (Hz) entre as etapas do experimento para os cantos padrão A e B em cada ambiente/horário. P1 = Pré-estímulo; E1 = *Playback* Ruído do tráfego; E2 = *Playback* Ruído branco; P2 = Pós-estímulo. RB = Estímulo com o ruído branco; RT = Estímulo com o ruído do tráfego. Os pontos representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

Cantos padrão A



Cantos padrão B

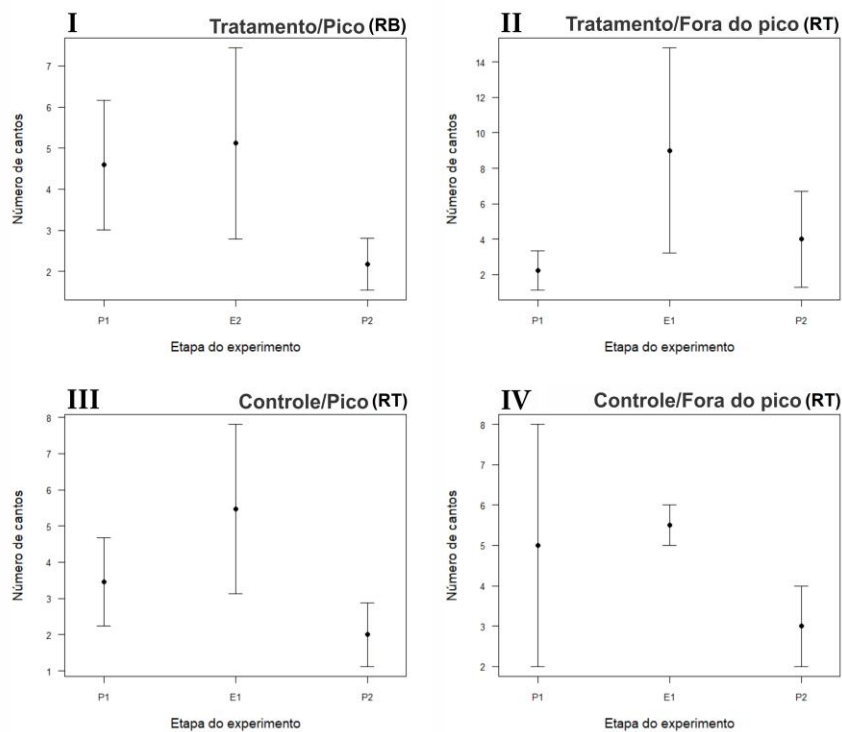


Figura 12: Média e erro padrão do número de cantos entre as etapas do experimento para os cantos padrão A e B em cada ambiente/horário. P1 = Pré-estímulo; E1 = *Playback* Ruído do tráfego; E2 = *Playback* Ruído branco; P2 = Pós-estímulo. RB = Estímulo com o ruído branco; RT = Estímulo com o ruído do tráfego. Os pontos representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

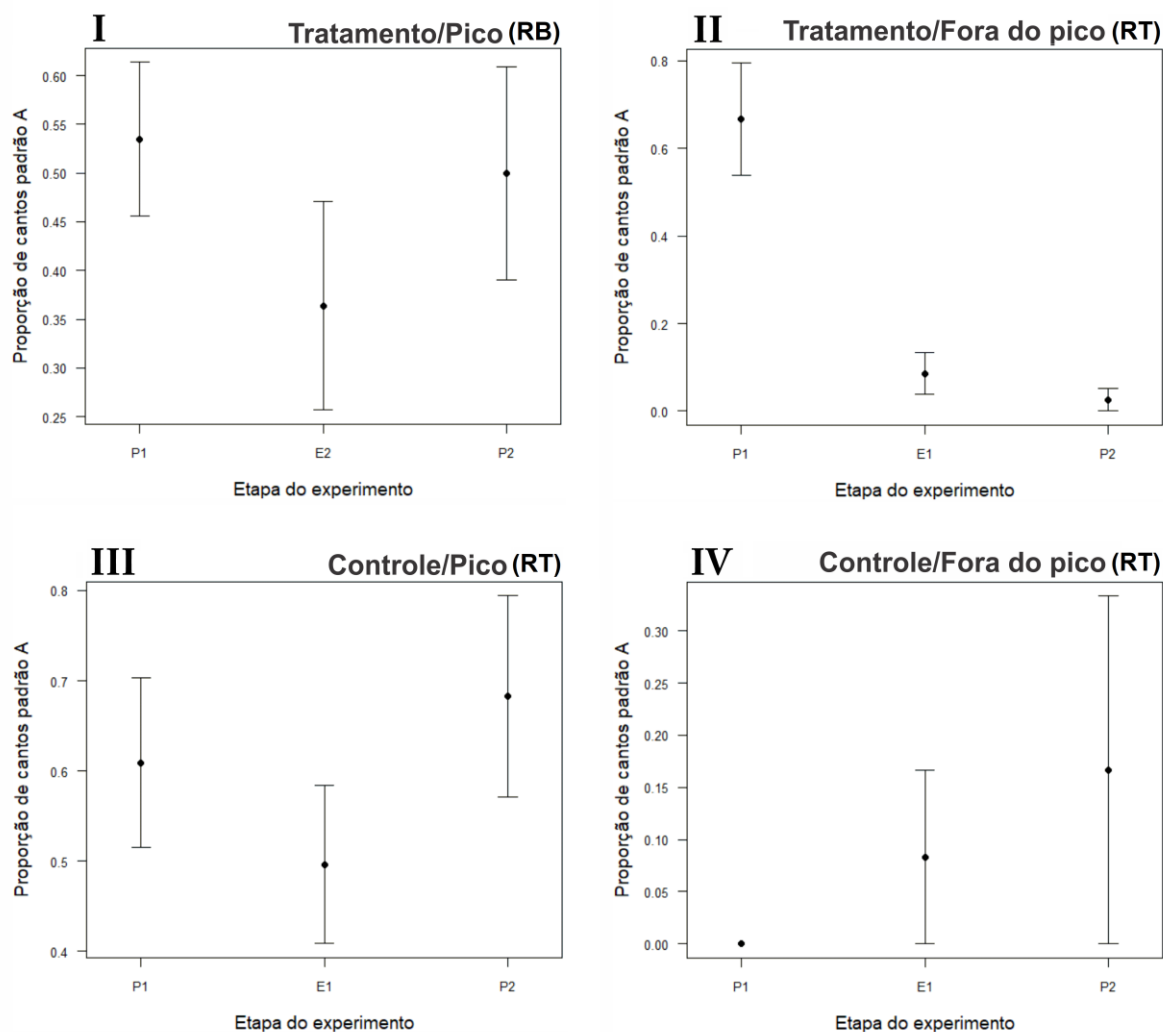


Figura 13: Média e erro padrão da proporção de cantos padrão A em relação aos cantos padrão B entre as etapas do experimento de *playback* em cada ambiente/horário. A proporção dos cantos padrão B corresponde ao inverso da proporção dos cantos padrão A. P1 = Pré-estímulo; E1 = *Playback* Ruído do tráfego; E2 = *Playback* Ruído branco; P2 = Pós-estímulo. RB = Estímulo com o ruído branco; RT = Estímulo com o ruído do tráfego. Os pontos (abertos ou fechados) representam as médias dos parâmetros acústicos, enquanto as barras, o erro padrão.

4. DISCUSSÃO

Ao contrário de boa parte das aves e mamíferos, que aprendem suas vocalizações no decorrer da vida (WILLIAMS, 2008), ao que se conhece, o canto dos anuros é inato e hereditário (GERHARDT; GUTTMAN; KARLIN, 1980; HAUSER, 1996). Entretanto, já foi demonstrado que, mesmo para os anuros, uma experiência precoce a certos ambientes acústicos pode levar a modificações em suas vocalizações

(DAWSON; RYAN, 2009). Um ambiente acústico como o provocado pelo ruído do tráfego às margens de uma estrada pode, então, favorecer mudanças comportamentais, como modulações nas vocalizações, que a longo prazo, podem passar de respostas momentâneas a mudanças evolutivas, com potencial à especiação (HOSKIN *et al.*, 2005).

Assim, discutimos os resultados obtidos, buscando entender o efeito que esse fator de impacto pode apresentar sobre a fauna nativa, usando *Pristimantis paulodutrai*, como modelo de estudo.

4.1. *Pristimantis paulodutrai* e a sobreposição espectral

Alguns trabalhos demonstram que espécies que apresentam baixa sobreposição espectral de suas vocalizações pelo ruído antrópico, tendem a exibir pouca ou nenhuma resposta em seus parâmetros acústicos frente à uma fonte desse tipo de impacto (CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; CAORSI *et al.*, 2017). As vocalizações de *Pristimantis paulodutrai* possuem frequência dominante (~ 4000 Hz) superior à frequência do ruído do tráfego (~ 1000 Hz), e, como esperado, foram encontradas modulações em poucos parâmetros acústicos em resposta ao tipo de ambiente, à classe de horário e, mesmo sob a influência dos *playbacks*. Entretanto, seria de se esperar que sendo a não sobreposição espectral, a real causa da escassez de respostas acústicas de *P. paulodutrai* ao ruído, haveriam modulações em mais parâmetros acústicos, especialmente na frequência dominante, em resposta ao ruído branco (0 a ~ 8000 Hz), semelhante ao ocorrido no trabalho de Medeiros *et al.* (2017).

Uma possível explicação para essa suposta contradição, seria que, como apontado por diversos autores (*e.g.* SUN; NARINS, 2005; LENGAGNE, 2008; CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; LOVE; BEE, 2010; KAISER *et al.*, 2011; CAORSI *et al.*, 2017) a resposta ao mascaramento acústico é variável de espécie para espécie, ou mesmo, dentro da mesma espécie, de acordo à intensidade do ruído que os indivíduos são expostos (LOVE; BEE, 2010; CAORSI *et al.*, 2017). E, sendo a vocalização uma das atividades mais custosas em termos energéticos para os anuros (GRAFE; SCHMUCK; LINSENMAIR, 1992; POUGH *et al.*, 1992; GRAFE; THEIN, 2001), talvez não seja viável para os machos de *P. paulodutrai*, modularem os padrões espectrais de seus cantos frente a um ruído com uma faixa de frequência tão ampla como o ruído branco utilizado.

Ainda assim, os machos de *P. paulodutrai* demonstraram tendências à modulação dos parâmetros temporais de seus cantos em resposta ao ruído branco, diminuindo a duração e a emissão de seus cantos, possivelmente como uma maneira de evitar o excessivo dispêndio energético (WELLS; TAIGEN, 1986; RUNKLE *et al.*, 1994; KÖHLER *et al.*, 2017).

Gerhardt (1991) classificou os parâmetros acústicos dos cantos de algumas espécies de anuros como estáticos, quando são fortemente estereotipados de indivíduo para indivíduo e dinâmicos, quando são mais facilmente mutáveis, sendo que a

classificação de cada parâmetro varia de espécie para espécie. Um resultado assim, pode nos passar, então, uma ideia de que os parâmetros temporais das vocalizações de *P. paulodutrai* podem ser parâmetros dinâmicos, enquanto os parâmetros espectrais, estáticos, ou que modular parâmetros temporais ao invés dos espectrais representa uma melhor estratégia em resposta à sobreposição espectral para a espécie e/ou para a estrutura do ambiente onde o estudo foi conduzido.

4.2. *Pristimantis paulodutrai* e o ruído do tráfego

Como foi dito, devido à baixa sobreposição espectral de suas vocalizações pelo ruído do tráfego, era esperado que a maioria dos parâmetros das vocalizações de *P. paulodutrai* possivelmente não fosse acometida pelo mascaramento acústico (e.g. CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; CAORSI *et al.*, 2017), com poucos parâmetros modulados de fato em resposta a esse ruído.

Um dos parâmetros com modulação significativa em resposta ao ruído do tráfego, a duração dos cantos padrão B varia entre as classes de horário, onde os indivíduos de *P. paulodutrai* emitem cantos padrão B mais longos após o horário de pico. Apesar de não demonstrado pela comparação entre os $\Delta AICc$, em uma observação conjunta à análise gráfica, percebe-se que a maior parte da variação entre os horários procede, essencialmente do ambiente tratamento, mostrando claramente, um efeito do ruído do tráfego sobre a duração dos cantos padrão B.

Há ainda, uma tendência que remete à emissão de mais cantos padrão B após o horário de pico e mais cantos padrão A, durante o pico. Um efeito parecido pode ser observado para a proporção de cantos padrão A e B, onde, no ambiente controle, durante o horário de pico, os indivíduos tendem a emitir mais cantos padrão A que cantos padrão B, invertendo as proporções após o pico. Esses padrões podem ser explicados pelo fato de que o canto padrão B, possivelmente, é o canto de anúncio de *P. paulodutrai*. Durante o horário de pico, quando a densidade de machos vocalizadores e, conseqüentemente, o coro coespecífico é maior, os cantos padrão A, possivelmente territoriais (como definido por WELLS, 1977, para cantos que envolvem uma ligação ao local e a intolerância a intrusos), são mais emitidos, e, em contrapartida, a emissão de cantos padrão B é reduzida, passando a ser mais emitidos após o horário de pico, quando a densidade de machos vocais é menor. Encontramos, inclusive, uma correlação positiva e significativa entre a emissão do canto padrão A e a densidade de machos vocalizando. Os contextos sociais de ambos os cantos precisam ser melhor investigados em outros estudos, entretanto, podemos perceber que a modulação do canto dos anuros, pode ser afetada, tanto em resposta ao coro reprodutivo e a densidade de machos como também em resposta ao ruídos antropogênicos (Kaiser e Hammers, 2009 e Grenat *et al.*, 2019).

Diferentes padrões de cantos, como os cantos padrão A e B refletem uma variação natural própria dos anuros e são geralmente dependentes de contextos sociais, gasto energético e de determinados fatores ambientais (WELLS, 1977; WELLS; TAIGEN, 1986; SULLIVAN, 1989; BEE *et al.*, 2001; BEE, 2004; TOLEDO *et al.*, 2014).

Os cantos padrão A são mais longos e com mais pulsos que os cantos padrão B, e consequentemente, são mais dispendiosos energeticamente falando (e.g. GRAFE; SCHMUCK; LINSÉNMAIR, 1992; POUGH *et al.*, 1992; GRAFE; THEIN, 2001). Isso pode explicar o padrão encontrado, onde sob o *playback* do ruído do tráfego, a proporção de cantos padrão A é reduzida em relação aos cantos padrão B.

Apesar do aparente gasto energético, em algumas situações os anuros tendem a ajustar os parâmetros de seus cantos se sobressaindo ao ruído antropogênico (e.g. SUN; NARINS, 2005; CUNNINGTON; FAHRIG, 2010; LUKANOV; TZANKOV; SIMEONOVSKA-NIKOLOVA, 2014; VARGAS-SALINAS *et al.*, 2014; CAORSI *et al.*, 2017) ou mesmo ao coro reprodutivo (e.g. KAISER; HAMMERS, 2009; GRENAT *et al.*, 2019). Apesar da seleção do modelo nulo, através do princípio da parcimônia, há tendências sustentadas pelo baixo valor de ΔAIC_c , que *P. paulodutrai* emite cantos padrão A e B em frequências mais altas no ambiente tratamento em relação ao ambiente controle. Um padrão provavelmente, gerado pela necessidade de distanciar o espectro de seus cantos do mascaramento acústico, maximizando a transmissão de seus sinais às fêmeas (CUNNINGTON; FAHRIG, 2013), e o seu uso de energia. Da mesma forma, foi também observada para os cantos padrão B uma tendência a um efeito combinado do ambiente e da classe de horário, onde, especialmente no ambiente tratamento, os indivíduos tenderiam a vocalizar com frequência dominante maior após o horário de pico, quando o ruído e o coro coespecífico são reduzidos.

Demonstrando a variabilidade de respostas de *P. paulodutrai* em diferentes situações, mas, teoricamente com o mesmo objetivo, a economia energética, foi observada para os cantos padrão A, uma tendência a vocalizar em menores frequências frente ao *playback* do ruído do tráfego no ambiente controle, durante o horário de pico. Assim, enquanto que, em uma situação de exposição diária ao ruído do tráfego no ambiente tratamento, os indivíduos cantam em frequências mais altas, especialmente nos horários mais ruidosos, em uma situação nova e momentânea, se comportam de forma contrária. Emitir cantos com frequências mais altas é energeticamente mais dispendioso que emitir cantos de baixa frequência (GOLLER; SUTHERS, 1996; OBERWEGER; GOLLER, 2001). Entretanto, para *P. paulodutrai*, aumentar a frequência dos cantos pode representar uma otimização do seu orçamento energético em resposta ao ruído do tráfego, que possui um baixo espectro de frequência, maximizando assim, a transmissão de seus sinais acústicos. Os indivíduos podem então, estabelecer respostas a estímulos provocados a longo prazo que podem otimizar seu aproveitamento energético em relação a respostas comportamentais momentâneas a um estímulo a qual não foram previamente expostos (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006; DAWSON; RYAN, 2009; SLABBEKOORN, 2013).

A seleção sexual pode atuar como uma pressão evolutiva sobre a vocalização dos anuros (WEST-EBERHARD, 1983), favorecendo ou não as modulações acústicas em resposta ao ruído do tráfego (e.g. BEE; SWANSON, 2007; CUNNINGTON; FAHRIG, 2013). Ao longo do tempo, uma espécie sujeita ao ruído diário pode não mais ser plástica, mas sim, adaptar-se ao seu novo ambiente acústico, podendo conduzir-se assim, ao início de uma especiação (GERHARDT; HUBER, 2002), uma vez que o

ambiente favorece mudanças nos fenótipos dos indivíduos (RYAN, 1988; RYAN; WILCZYNSKI, 1991).

De uma maneira geral, as modulações dos cantos de *P. paulodutrai* em resposta ao ruído, ou pelo menos as tendências às modulações, parecem levar em conta, especialmente, o orçamento energético e os contextos sociais (WELLS; TAIGEN, 1986), variando em resposta a diferentes situações. Ainda assim, precisamos levar em conta o baixo número de indivíduos gravados, especialmente fora do horário de maior atividade da espécie, pois, apesar de utilizar uma análise estatística permissiva a poucas amostras, é possível que com um maior número de indivíduos possamos obter mais evidências de modulações em resposta ao ruído.

4.3. Efeitos de variáveis não acústicas

Ainda que teoricamente pouco susceptível ao mascaramento acústico de suas vocalizações, espécies como *P. paulodutrai* podem ser afetadas pelo ruído do tráfego de outras formas, que também podem comprometer o sucesso reprodutivo (RYAN; TUTTLE; TAFT, 1981; KAISER *et al.*, 2011, 2015; TROJANOWSKI *et al.*, 2017). Alguns trabalhos têm relacionado a exposição duradoura ao ruído do tráfego ao aumento dos níveis de hormônios de estresse, induzindo respostas comportamentais atípicas, interferindo inclusive nas atividades reprodutivas das espécies avaliadas (e.g. BLICKLEY *et al.*, 2012; TENNESSEN; PARKS; LANGKILDE, 2014; TROJANOWSKI *et al.*, 2017). Kaiser *et al.* (2015) observaram a redução na quantidade e viabilidade de gametas em machos de uma espécie de anuro expostos a esse tipo de ruído, e Trojanowski *et al.* (2017) chegaram a observar, ainda, uma mudança na coloração dos sacos vocais, um parâmetro importante na seleção sexual através da comunicação visual em anuros.

Diferente do observado por Grenat *et al.* (2019) e Leon *et al.* (2019), constatamos uma diferença significativa para o tamanho corporal com machos maiores gravados no ambiente controle quando comparado ao tratamento. É conhecido que, para muitas espécies da anurofauna, existe uma correlação entre o tamanho corporal dos indivíduos e os parâmetros espectrais de suas vocalizações (e.g. LÜDDECKE *et al.*, 1999; TOLEDO; HADDAD, 2005; GRENAT *et al.*, 2019), entretanto, não é o caso de *Pristimantis paulodutrai*, uma vez que o comprimento-rostro-cloacal dos indivíduos apresentou correlação significativa com um dos parâmetros temporais (cantos padrão A), mas nenhuma correlação com a frequência dominante.

Uma informação sobre tamanho corporal sendo transmitida em um canto territorial pode ser útil à manutenção espacial dos machos e à seleção dos machos pelas fêmeas de *P. paulodutrai*, especialmente, devido a seu padrão reprodutivo prolongado (ver WELLS, 1977). Além disso, a duração (parâmetro do canto padrão A positivamente correlacionado com o CRC) tem sido demonstrada como um importante parâmetro acústico para a seleção dos machos pelas fêmeas e defesa de território pelos machos em muitas espécies de anuros (GERHARDT, 1991; GAMBALE;

BASTOS, 2014), agindo como um indicativo de tamanho e força, inclusive em outras espécies do gênero *Pristimantis* (OITAVEN *et al.*, 2017).

Ainda assim, a diferença no tamanho corporal entre os ambientes, pode, em si, representar um efeito do ruído do tráfego sobre a espécie, o que é corroborado por estudos que demonstraram que espécies de ambientes ruidosos tendem a ter tamanhos corporais menores em relação a espécies de ambientes com menor nível de ruído (VARGAS-SALINAS; AMÉZQUITA, 2013, 2014). Essa diminuição no tamanho corporal, pode influenciar negativamente no sucesso reprodutivo desses indivíduos, já que para algumas espécies foi demonstrado que as fêmeas tendem a selecionar machos maiores para reprodução (WOODWARD, 1982; TÁRANO; HERRERA, 2003; BARQUERO; HILJE, 2017), o que ainda terá que ser testado para *P. paulodutrai* em estudos posteriores.

Pudemos verificar, ainda, uma diferença significativa para o número estimado de machos coespecíficos vocalizadores, também entre os ambientes. Essa variação pode representar, também um efeito do ruído do tráfego, uma vez que Kaiser *et al.* (2011), também constataram, uma redução do ruído do coro em uma comunidade de anuros submetida ao ruído. Isso pode indicar um aspecto negativo, uma vez que o coro é relacionado a uma redução na chance individual de predação e a um maior sucesso no acasalamento (RYAN; TUTTLE; TAFT, 1981; ALCANTARA; LIMA; BASTOS, 2007).

Então, dada a variabilidade das respostas ao ruído do tráfego pelos anuros, bem como os mais variados efeitos comportamentais, morfológicos e reprodutivos associados, é necessária a execução de mais estudos que complementem o entendimento de como o ruído antrópico pode afetar a fauna, bem como, estabelecer diretrizes para minimizar este tipo de impacto, especialmente para novos empreendimentos geradores de ruído e em meio à unidades de conservação.

5. CONCLUSÃO

Apesar de menos susceptíveis ao mascaramento acústico pelo ruído do tráfego, os machos de *Pristimantis paulodutrai* modulam os parâmetros de seus cantos de maneira variável, possivelmente, em dependência dos contextos sociais e orçamento energético e possivelmente, apresenta outras respostas comportamentais e fisiológicas que devem ser estudadas.

A experiência prévia ao ruído é também um fator que pode exercer uma influência sobre a resposta, de forma que indivíduos habituados ao ruído tendem a responder de uma forma diferente, e possivelmente mais econômica energeticamente falando, que os indivíduos submetidos ao ruído pela primeira vez.

O ruído do tráfego pode ainda, exercer uma influência considerável em outros fatores não acústicos dos indivíduos de *P. paulodutrai*, mas que podem, conseqüentemente, afetar as respostas acústicas e reprodutivas, como o tamanho corporal e a abundância de machos no coro.

O conhecimento sobre como as espécies animais são impactadas pelo ruído antrópico, apesar de crescente, ainda possui lacunas, tendo em vista a variabilidade das respostas entre táxons, indivíduos ou mesmo entre condições ambientais e acústicas. Em um cenário de um constante aumento da circulação de veículos, bem como da construção e pavimentação de rodovias, é preciso que compreendamos os vários efeitos que as estradas podem causar em nossa fauna, sendo necessário o estímulo de estudos que investiguem também como o ruído do tráfego pode alterar o comportamento, a fisiologia e detecção dos sinais acústicos modulados pelo ruído de tráfego, bem como sua aceitabilidade e sucesso reprodutivo nas espécies.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. B.; LIMA, L. P.; BASTOS, R. P. Breeding activity of *Scinax centralis* (Anura, Hylidae) in Central Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 97, n. 4, p. 406–410, dez. 2007.

AMÉZQUITA, A. *et al.* Masking interference and the evolution of the acoustic communication system in the Amazonian dendrobatid frog *Allobates femoralis*. **Evolution**, v. 60, p. 1874–1887, 2006.

BARQUERO, M.; HILJE, B. Is mating in the Túngara Frog (*Engystomops pustulosus*: Leptodactylidae) random or non-random? **Mesoamerican Herpetology**, v. 4, p. 382–388, 2017.

BEE, M. A. *et al.* Individual Variation in Advertisement Calls of Territorial Male Green Frogs, *Rana clamitans*: Implications for Individual Discrimination. **Ethology**, v. 107, p. 65–84, 2001.

BEE, M. A. Within-individual variation in bullfrog vocalizations: Implications for a vocally mediated social recognition system. **Journal of the Acoustic Society of America**, v. 116, p. 3770–3781, 2004.

BEE, M. A.; SWANSON, E. M. Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. **Animal Behaviour**, v. 74, p. 1765–1776, 2007.

BERNARDES-FREIRE, R. *et al.* Impactos ambientais causados pela rodovia Arlindo Bettio (SP 613) no Parque Estadual do Morro de Diabo - SP. **Tópos**, v. 5, p. 89–101, 2011.

BLICKLEY, J. L. *et al.* Experimental Chronic Noise Is Related to Elevated Fecal Corticosteroid Metabolites in Lekking Male Greater SageGrouse (*Centrocercus urophasianus*). **PLOS ONE**, v. 7, p. 1–8, 2012.

BOKERMANN, W. C. A. Três novas espécies de *Eleutherodactylus* do Sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 34, p. 11–18, 1975.

BOLKER, B.; R DEVELOPMENT CORE TEAM. **bbmle: Tools for General Maximum Likelihood Estimation**. [s.l.: s.n.]

BOTH, C.; GRANT, T. Biological invasions and the acoustic niche: the effect of bullfrog calls on the acoustic signals of white-banded tree frogs. **Biology letters**, v. 8, p. 714–716, 2012.

BOURNE, G. R.; YORK, H. Vocal behaviors are related to nonrandom structure of anuran breeding assemblages in Guyana. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 13, p. 313–329, 2001.

BRUMM, H. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. **Journal of Animal Ecology**, v. 73, p. 434–440, 2004.

BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic Communication in Noise. **Advances in the study of behavior**, v. 35, p. 151–209, 2005.

- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach**. 2nd edition ed. New York: Springer, 2003.
- CAORSI, V. Z. *et al.* Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. **PLOS ONE**, p. 1–14, 2017.
- CARR, L. W.; FAHRIG, L. Two amphibian species of differing vagility. **Conservation Biology**, v. 15, p. 1071–1078, 2001.
- CROLL, D. A. *et al.* Effect of anthropogenic low frequency noise on the foraging ecology of Balaenoptera whales. **Animal Conservation**, v. 4, p. 13–27, 2001.
- CUNNINGTON, G. M.; FAHRIG, L. Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. **Acta Oecologica**, v. 36, p. 463–470, 2010.
- CUNNINGTON, G. M.; FAHRIG, L. Mate attraction by male anurans in the presence of traffic noise. **Animal Conservation**, v. 16, p. 275–285, 2013.
- DAWSON, B.; RYAN, d M. J. Early Experience Leads to Changes in the Advertisement Calls of Male *Physalaemus pustulosus*. **Copeia**, p. 221–226, 2009.
- DUARTE, M. H. L. *et al.* Mining noise affects loud call structures and emission patterns of wild black-fronted titi monkeys. **PRIMATES**, v. p. online, 2017.
- DUDZINSKI, K.; THOMAS, J. A.; GREGG, J. Communication in Marine Mammals. In: PERRIN, W.; WURSIG, B. (Ed.). [s.l.] Academic Presss, 2009.
- DUELLMAN, W. E.; TRUEB, L. **Biology of Amphibians**. [s.l.] JHU Press, 1986.
- FAHRIG, L. *et al.* Effect of road traffic on amphibian density. **Biological Conservation**, v. 74, p. 117–182, 1995.
- FORMAN, R. T. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and Their Major Ecological Effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, p. 207–231, 1998.
- FORREST, T. G. From Sender to Receiver: Propagation and Environmental Effects on Acoustic Signals. **American Zoologist**, v. 34, n. 6, p. 644–654, 1994.
- FRANCIS, C.; BARBER, J. A framework for understanding noise impacts on wildlife: An urgent conservation priority. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, 8 ago. 2013.
- GAMBALE, P.; BASTOS, R. P. Vocal repertoire and bioacoustic analyses in *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) from southern Brazil. **Herpetological Journal**, v. 24, p. 31–39, 2014.
- GERHARDT, H. C. Female mate choice in treefrogs: static and dynamic acoustic criteria. **Animal Behaviour**, v. 42, p. 615–635, 1991.
- GERHARDT, H. C. The evolution of vocalization in frogs and toads. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 25, p. 293–324, 1994.
- GERHARDT, H. C.; GUTTMAN, S. I.; KARLIN, A. A. Natural Hybrids between *Hyla Cinerea* and *Hyla Gratiola*: Morphology, Vocalization and Electrophoretic Analysis. **Copeia**, v. 1980, p. 577–584, 1980.

GERHARDT, H. C.; HUBER, F. **Acoustic communication in insects and anurans: common problems and diverse solutions**. [s.l.] University of Chicago Press, 2002.

GOLLER, F.; SUTHERS, R. A. Role of Syringeal Muscles in Controlling the Phonology of Bird Song. **Journal of Neurophysiology**, v. 76, p. 287–300, 1996.

GONDIM-SILVA, F. A. T. *et al.* Composition and diversity of anurans in the Restinga of the Conde municipality, northern coast of the state of Bahia, northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 16, 2016.

GRAFE, T. U.; THEIN, J. Energetics of calling and metabolic substrate use during prolonged exercise in the European treefrog *Hyla arborea*. **Journal of Comparative Physiology**, v. 161, p. 69–76, 2001.

GRAFE, U.; SCHMUCK, R.; LINSSENMAIR, K. E. Reproductive Energetics of the African Reed Frogs, *Hyperolius viridiflavus* and *Hyperolius marmoratus*. **Physiological Zoology**, v. 65, p. 153–171, 1992.

GREENFELD, M. D. Evolution of Acoustic Communication in Insects. In: POLLACK, G. S. *et al.* (Ed.). **Insect Hearing**. Tours, França: Springer Handbook of Auditory Research, 2016.

GRENAT, P. R. *et al.* Differential and additive effects of natural biotic and anthropogenic noise on call properties of *Odontophrynus americanus* (Anura, Odontophrynidae): Implications for the conservation of anurans inhabiting noisy environments. **Ecological Indicators**, v. 99, p. 67–73, 2019.

HAUSER, M. D. **The Evolution of Communication**. [s.l.] MIT Press, 1996.

HEDGES, S. B.; DUELLMAN, W. E.; HEINICKE, M. P. Hedges *et al* 2008 New World direct-developing frogs (Anura Terrarana): Molecular phylogeny, classification, biogeography, and conservation. **Zootaxa**, v. 1737, p. 1–182, 2008.

HOSKIN, C. J. *et al.* Reinforcement drives rapid allopatric speciation. **Nature**, v. 437, p. 1353–1356, 2005.

HOTCHKIN, C. F.; PARKS, S. E.; WEISS, D. J. Vocal modifications in primates: Effects of noise and behavioral context on vocalization structure. **Proceedings of meetings on acoustics Acoustical Society of America**, v. 19, 2013. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4234057/>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

KAISER, K. *et al.* When sounds collide: the effect of anthropogenic noise on a breeding assemblage of frogs in Belize, Central America. **Behaviour**, v. 148, p. 215–232, 2011.

KAISER, K. *et al.* Effects of anthropogenic noise on endocrine and reproductive function in White's treefrog, *Litoria caerulea*. **Conservation Physiology**, v. 3, p. 1–8, 2015.

KAISER, K.; HAMMERS, J. L. The effect of anthropogenic noise on male advertisement call rate in the neotropical treefrog, *Dendropsophus triangulum*. **Behaviour**, v. 146, p. 1053–1069, 2009.

KÖHLER, J. *et al.* The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. **Zootaxa**, v. 4251, p. 001–124, 2017.

- KRUGER, D. J. D.; PREEZ, L. H. D. The Effect of Airplane Noise on Frogs: A Case Study on the Critically Endangered Pickersgill's Reed Frog (*Hyperolius Pickersgilli*). **Ecological Research**, v. 31, n. 3, p. 393–405, 1 maio 2016.
- LENGAGNE, T. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. **Biological Conservation**, v. 141, p. 2013–2031, 2008.
- LEON, E. *et al.* Effect of traffic noise on *Scinax nasicus* advertisement call (Amphibia, Anura). **Iheringia, Série Zoologia**, 2019.
- LIMA, M. G.; SKUK, G. O. Geographic distribution: *Eleutherodactylus paulodutrai*. **Herpetological Review**, v. 37, p. 487, 2006.
- LOBÃO, D. É. *et al.* Sistema cacau cabruca e a Mata Atlântica: diversidade arbórea, conservação e potencial de produção. **Agrotrópica**, v. 23, p. 115–124, 2011.
- LOFTS, B. **Physiology of the Amphibia**. New York: Academic Press, 1974.
- LOPEZ, P. T. *et al.* Acoustically induced call modification in the white-tipped frog, *Leptodactylus albilabris*. **Animal Behaviour**, v. 36, p. 1295–1308, 1988.
- LOVE, E. K.; BEE, M. A. An experimental test of noise-dependent voice amplitude regulation in Cope's grey treefrog (*Hyla chrysoscelis*). **Animal Behaviour**, v. 80, p. 509–515, 2010.
- LÜDDECKE, H. *et al.* Comparison of environmental conditions and their effects on call characteristics of five frog species in a Colombian highland community. **Current studies in herpetology**, p. 285–294, 1 jan. 1999.
- LUKANOV, S.; TZANKOV, N.; SIMEONOVSKA-NIKOLOVA, D. Effects of traffic noise on the locomotion activity and vocalization of the Marsh Frog, *Pelophylax ridibundus*. **North-Western Journal of Zoology**, v. 10, p. 359–364, 2014.
- LUTHER, D. A.; PHILLIPS, J.; DERRYBERRY, E. P. Not so sexy in the city: urban birds adjust songs to noise but compromise vocal performance. **Behavioral Ecology**, v. 27, n. 1, p. 332–340, 1 jan. 2016.
- MAZEROLLE, M. J.; HUOT, M.; GRAVEL, M. Behavior of amphibians on the road in response to car traffic. **Herpetologica**, v. 61, p. 380–388, 2005.
- MCGREGOR, P. K. *et al.* The signal value of matched singing in great tits: evidence from interactive *playback* experiments. **Animal Behaviour**, v. 43, p. 987–998, 1992.
- MCGREGOR, P. K. *et al.* Anthropogenic Noise and Conservation. In: BRUMM, H. (Ed.). **Animal Communication and Noise**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. p. 409–444.
- MEDEIROS, C. I. *et al.* Invasion of the acoustic niche: variable responses by native species to invasive American bullfrog calls. **Biol Invasions**, v. 19, p. 675–690, 2017.
- MORALES, M.; R DEVELOPMENT CORE TEAM. **sciplot: Scientific Graphing Functions for Factorial Designs**. [s.l: s.n.]

NARINS, P. M. Effects of Masking Noise on Evoked Calling in the Puerto Rican Coqui (Anura: Leptodactylidae). **Journal of Comparative Physiology**, v. 147, p. 439–446, 1982.

NATALE, G. S. *et al.* Underwater acoustic communication in the macrophagic carnivorous larvae of *Ceratophrys ornata* (Anura: Ceratophryidae). **Acta Zoologica**, v. 92, p. 46–53, 2011.

OBERWEGER, K.; GOLLER, F. The metabolic cost of birdsong production. **The Journal of Experimental Biology**, v. 204, p. 3379–3388, 2001.

OITAVEN, L. P. C. *et al.* Description of vocalisations and analysis of intra- and interindividual variation in *Pristimantis ramagii* (Boulenger, 1888) in an upland swamp, Northeast Brazil. **Herpetology Notes**, v. 10, p. 197–203, 2017.

PATRICELLI, G. L.; BLICKLEY, J. L. Avian communication in urban noise: causes and consequences of vocal adjustment. **The Auk**, v. 123, p. 639–649, 2006.

PIMENTA, B.; JUNCA, F. *Pristimantis paulodutraei*. **The IUCN Red List of Threatened**, 2004. Acesso em: 4 abr. 2018.

PODOS, J.; MOSELEY, D. L. Vocal Communication in Birds. **Encyclopedia of Neuroscience**, v. 10, p. 389–396, 2009.

POPPER, A. N. Effects of Anthropogenic Sounds on Fishes. **Fisheries**, v. 28, p. 24–31, 2003.

POUGH, F. H. *et al.* Behavioral energetics. In: FEDER, M. E.; BURGGREN, W. W. (Ed.). **Environmental Physiology of the Amphibians**. Chicago: University of Chicago Press, 1992. p. 395–436.

R STUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Boston, MA: RStudio, Inc., 2016.

Resolução Conama nº 237. 237. 19 dez. 1997.

RUNKLE, L. S. *et al.* Individual, nightly, and seasonal variation in calling behavior of the gray tree frog, *Hyla versicolor*: implications for energy expenditure. **Behavioral Ecology**, v. 5, p. 318–325, 1994.

RYAN, M. Constraints and Patterns in the Evolution of Anuran Acoustic Communication. **The Evolution of the Amphibian Auditory System**, 1988.

RYAN, M. J.; TUTTLE, M. D.; TAFT, L. K. The Costs and Benefits of Frog Chorus Behavior. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 8, p. 273–278, 1981.

RYAN, M. J.; WILCZYNSKI, W. Evolution of Intraspecific Variation in the Advertisement Call of a Cricket Frog (*Acris crepitans*, Hylidae). **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 44, n. 3, p. 249–271, 1991.

SAMARRA, F. I. P. *et al.* Background noise constrains communication: acoustic masking of courtship song in the fruit fly *Drosophila montana*. **Behaviour**, v. 146, p. 1635–1648, 2009.

SILVA, J. R. dos S. **Comportamento reprodutivo e territorial de *Ischnocnema ramagii* (Boulenger 1888) (Anura: Brachycephalidae) no Sul do Estado da Bahia, Brasil.** 2009. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

SLABBEKOORN, H. *et al.* A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, p. 419–427, 2010.

SLABBEKOORN, H. Songs of the city: noise-dependent spectral plasticity in the acoustic phenotype of urban birds. **Animal Behaviour**, v. 85, p. 1089–1099, 2013.

SLABBEKOORN, H.; BOER-VISSER, A. den. Cities Change the Songs of Birds. **Current Biology**, v. 16, p. 2326–2331, 2006.

SLABBEKOORN, H.; PEET, M. Birds sing at a higher pitch in urban noise. **Nature**, v. 424, p. 267–268, 2003.

SOUSA-LIMA, R. S.; CLARK, C. W. Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian Marine Park. **Park Science**, v. 26, p. 59–63, 2009.

SULLIVAN, B. K. Interpopulational Variation in Vocalizations of *Bufo woodhousii*. **Journal of Herpetology**, v. 23, p. 368–373, 1989.

SUN, J. W. C.; NARINS, P. M. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. **Biological Conservation**, v. 121, p. 419–427, 2005.

TÁRANO, Z.; HERRERA, E. A. Female Preferences for Call Traits and Male Mating Success in the Neotropical Frog *Physalaemus enesefae*. **Ethology**, v. 109, p. 121–134, 2003.

TENNESSEN, J. B.; PARKS, S. E.; LANGKILDE, T. Traffic noise causes physiological stress and impairs breeding migration behaviour in frogs. **Conservation Physiology**, v. 2, p. 1–8, 2014.

TERHUNE, J. M.; STEWART, R. E. A.; RONALD, K. Influence of vessel noise on underwater vocal activity of harp seals. **Canadian Journal of Zoology**, v. 57, p. 1337–1338, 1979.

TOLEDO, L. F. de; HADDAD, C. F. B. Defensive vocalizations of neotropical anurans. **South American Journal of Herpetology**, v. 4, p. 25–42, 2009.

TOLEDO, L. F. *et al.* The anuran calling repertoire in the light of social context. **Acta Ethologica**, v. 18, p. 87–99, 2014.

TOLEDO, L. F.; HADDAD, C. F. B. Acoustic Repertoire and Calling Behavior of *Scinax fuscomarginatus* (Anura, Hylidae). **Journal of Herpetology**, v. 39, p. 455–464, 2005.

TRESSLER, J.; SMOTHERMAN, M. S. Context-dependent effects of noise on echolocation pulse characteristics in free-tailed bats. **J Comp Physiol A Neuroethol Sens Neural Behav Physiol.**, v. 195, p. 923–934, 2009.

TROJANOWSKI, M. *et al.* Effects of traffic noise on tree frog stress levels, immunity, and color signaling. **Conservation Biology**, v. 31, p. 1132–1140, 2017.

TYACK, P.; GORDON, J.; THOMPSON, D. Controlled-exposure Experiments to Determine the Effects of Noise on Marine Mammals. **Marine Technology Society Journal**, v. 37, p. 41–53, 2003.

VARGAS-SALINAS, F. *et al.* Does traffic noise alter calling time in frogs and toads? A case study of anurans in Eastern Ontario, Canada. **Urban Ecosyst**, v. 17, p. 945–953, 2014.

VARGAS-SALINAS, F.; AMÉZQUITA, A. Stream Noise, Hybridization, and Uncoupled Evolution of Call Traits in Two Lineages of Poison Frogs: *Oophaga histrionica* and *Oophaga lehmanni*. **PLOS ONE**, v. 8, 2013.

VARGAS-SALINAS, F.; AMÉZQUITA, A. Abiotic noise, call frequency and stream-breeding anuran assemblages. **Evolutionary Ecology**, v. 28, 6 mar. 2014.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. [s.l.: s.n.]

VOELLMY, I. K. *et al.* Acoustic noise reduces foraging success in two sympatric fish species via different mechanisms. **Animal Behaviour**, v. 89, p. 191–198, 2014.

WELLS, K. D. The social behavior of anuran amphibians. **Animal Behaviour**, v. 25, p. 666–693, 1977.

WELLS, K. D.; TAIGEN, T. L. The effect of social interactions on calling energetics in the gray treefrog (*Hyla versicolor*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 19, p. 9–18, 1986.

WEST-EBERHARD, M. J. Sexual Selection, Social Competition, and Speciation. **The Quarterly Review of Biology**, v. 58, n. 2, p. 155–183, 1983.

WILLIAMS, H. Bird song and singing behavior. In: ZIEGLER, H. P.; MARLER, P. (Ed.). **The Neuroscience of Bird Song**. [s.l.] Cambridge University Press, 2008. p. 32–49.

WOOD, W. E.; YEZERINAC, S. M. Song sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. **The Auk**, v. 123, p. 650–659, 2006.

WOODWARD, B. D. Sexual Selection and Nonrandom Mating Patterns in Desert Anurans (*Bufo woodhousei*, *Scaphiopus couchi*, *S. multiplicatus* and *S. bombifrons*). **Copeia**, v. 2, p. 351–355, 1982.

ZUUR, A. *et al.* **Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R**. New York: Springer-Verlag, 2009.