

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO COMPORTAMENTO ANIMAL:
HÁ ALTERAÇÕES NA AGRESSIVIDADE E NA VOCALIZAÇÃO DE
UMA AVE TROPICAL?**

RAYANE DOS SANTOS OLIVEIRA CAMPOS

VILA VELHA
ABRIL / 2020

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO COMPORTAMENTO ANIMAL:
HÁ ALTERAÇÕES NA AGRESSIVIDADE E NA VOCALIZAÇÃO DE
UMA AVE TROPICAL?**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do grau de Mestre (a) em Ecologia de Ecossistemas.

RAYANE DOS SANTOS OLIVEIRA CAMPOS

VILA VELHA
ABRIL / 2020

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

C198i Campos, Rayane dos Santos Oliveira
Influência da urbanização no comportamento animal: há alterações na agressividade e na vocalização de uma ave tropical? / Rayane dos Santos Oliveira Campos – 2020.
69 f.; il.

Orientador: Charles Gladstone Duca Soares.
Coorientador: Pedro Diniz Alves.

Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas),
Universidade Vila Velha, 2020.
Inclui bibliografias.

1. Ecologia. 2. Aves. 3. Ruído urbano. 4. Animais –
Comportamento agressivo. I. Soares, Charles Gladstone Duca.
II. Alves, Pedro Diniz. III. Universidade Vila Velha. IV. Título.

CDD 598.072

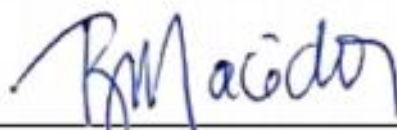
RAYANE DOS SANTOS OLIVEIRA CAMPOS

**INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NO COMPORTAMENTO ANIMAL:
HÁ ALTERAÇÕES NA AGRESSIVIDADE E NA VOCALIZAÇÃO DE
UMA AVE TROPICAL?**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas para a obtenção do grau de Mestra em Ecologia de Ecossistemas.

Aprovada em 01 de abril de 2020.

Banca Examinadora:



Profª. Dra. Regina Helena Ferraz Macedo



Profª. Dra. Ana Carolina Srbek de Araujo



Prof. Dr. Charles Gladstone Duca Soares
Orientador

*“Cidades são como cientistas,
criando suas próprias misturas
ecológicas ao jogar todos os tipos
de elementos nativos e estrangeiros
no caldeirão urbano”*

Menno Schilthuisen

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, principalmente a minha mãe, por sempre estar comigo a cada escolha da minha vida. Obrigada por sempre estar do meu lado e principalmente por me apoiar. Eu amo você. Obrigada aos meus amigos, Carol, Caroline, Paulo e Rovena e devo lembrá-los que a ordem aqui posta não interfere no amor que sinto por vocês. Agradeço por compartilharem e dividirem toda angústia e felicidade comigo ao longo desse processo. Agradeço a Myllena Sunderhus por me ouvir, me apoiar, comemorar e torcer por todas as etapas que passei. Você é o ser humano mais precioso e lindo desse mundo. Mais uma vez vocês foram fundamentais para o meu crescimento profissional e pessoal e por isso merecem todo agradecimento do mundo.

Agradeço aos meus amigos de laboratório por estarem comigo sempre quando precisei. Agradeço a Ana Carolina Stabilito e a Clara Gusmão pela ajuda em especial ao segundo capítulo deste trabalho. Tenho certeza de que sem vocês esse projeto não estaria completo. Sou grata em especial a Bruna Monteiro e Marcello Hygino, pois sem vocês as tardes seriam mais nubladas do que o necessário. Obrigada pelos cafés e pelas conversas. Agradeço também as amigadas que fiz no mestrado: Miliane, Sueli e Lyandra. Obrigada pelos risos, pois foram essenciais nesse período. Sou grata a Mestre Karina Ferreira, um verdadeiro achado no meio de tantas pessoas. Obrigada por me construir e por todo apoio e conversa. Eu aguardo ansiosamente o momento em que vamos estar juntas numa mesma banca. Agradeço também a todos que passaram pela minha vida ao longo desses anos, pois tenho certeza que cada um de vocês ajudaram a construir a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu orientador, Charles Duca, e Co-orientador, Pedro Diniz, pela paciência e auxílio quando precisei. Sou grata ao professor Charles por compartilhar comigo sua experiência ao longo de tantos anos. Agradeço imensamente ao Pedro que foi peça chave para me tornar a profissional de hoje. Encontrar alguém com vontade de ensinar nessa etapa tão conturbada é essencial para nos manter motivados. Obrigada por acreditar em mim e por estar sempre presente. Obrigada por todos os conselhos, por todas as dicas, por todo apoio e por tudo que você fez e tem feito em minha vida. Agradeço imensamente por ter tido profissionais tão qualificados em minha vida acadêmica.

Agradeço aos membros da banca pela disponibilidade. Tenho certeza que suas contribuições serão importantes em minha formação.

Agradeço Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pela bolsa de mestrado a mim concedida. Agradeço a *The Scientific Research Honor Society (Sigma Xi)*, *Animal Behavior Society (ABS)* e à Concessionária Rodovia do Sol (Rodosol) pelos financiamentos para a realização desse projeto.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO GERAL	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5
CAPÍTULO I	7
Resumo	8
Abstract	9
Introdução	10
Material e métodos	14
Espécie Alvo e Área de Estudo	14
Estímulo e Experimento de Agressão Territorial	16
Estimativa do nível de ruído e variáveis abióticas	19
Análises estatísticas.....	19
Resultados	25
Discussão	29
Referências	35
CAPÍTULO II	43
RESUMO	44
ABSTRACT	45
INTRODUÇÃO	46
MATERIAL E MÉTODOS	49
Espécie alvo, área de estudo e coleta de dados	49
Classificação da urbanização e análises acústicas.....	51
Análises estatísticas.....	52
RESULTADO	54

Varição cultural.....	55
Adaptação acústica.....	57
DISCUSSÃO	60
LITERATURA CITADA.....	63
CONCLUSÃO GERAL	68

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I - Aves em ambientes urbanos são mais agressivas contra invasores territoriais?

Figura 1 Mapa da área de estudo demonstrando a urbanização e o nível de ruído medidos em campo

Figura 2 Relação entre os ambientes (Natural, Parque e Urbano) e o nível de ruído (decibéis)

Figura 3 Relação entre velocidade do vento e o componente principal 4 representado pelo maior tempo de permanência a mais de 10 metros em relação a caixa durante o experimento

Capítulo II - Variação geográfica no canto complexo de uma ave neotropical ocorre entre regiões e em curtas distâncias

Figura 1 Espectrogramas de cantos similares do Sabiá-da-praia em três macro-regiões de sua distribuição

Figura 2 Análise dos componentes principais levando em conta a localidade de cada indivíduo.

Figura 3 Relação entre o grau de urbanização (0 e 1) e os componentes principais

Figura 4 Relação entre o componente principal dos parâmetros climáticos (média da temperatura, velocidade do vento e precipitação) e os componentes principais

Figura 5 Relação entre as macrorregiões e os componentes principais

LISTA DE TABELAS

Capítulo I - Aves em ambientes urbanos são mais agressivas contra invasores territoriais?

Tabela 1 Variáveis e suas definições para avaliar o comportamento agressivo em resposta ao experimento de playback, incluindo os valores dos *loadings* da análise dos componentes principais

Tabela 2 Modelos finais mostrando as relações entre as variáveis preditoras (ruído, data, velocidade do vento e local) e os comportamentos (PCAfis e PCAvoc).

Capítulo II - Variação geográfica no canto complexo de uma ave neotropical ocorre entre regiões e em curtas distâncias

Tabela 1 Hipóteses e predições para as diferenças acústicas

Tabela 2 Valores estimados para o índice de Moran I referentes aos dois componentes principais e aos quatro locais considerados

Tabela 3 Variáveis e suas definições utilizadas para avaliar o comportamento acústico do Sábida-da-praia em relação aos diferentes tipos de ruído, incluindo os valores dos *loadings* da análise de componentes principais dos parâmetros acústicos da média dos cantos

Tabela 4 Modelo 1 e os seus parâmetros

Tabela 5 Modelo 2 e os seus parâmetros

RESUMO

OLIVEIRA, Rayane, M. Sc, Universidade Vila Velha – ES, abril de 2020. **Influência da urbanização no comportamento animal: há alterações na agressividade e no canto de uma ave tropical?** Orientador: Dr. Charles Gladstone Duca Soares. Coorientador: Dr. Pedro Diniz Alves.

O comportamento animal pode variar de acordo com os ambientes, uma vez que diferentes pressões ambientais podem alterar parâmetros básicos como a sobrevivência e reprodução. As mudanças ambientais geradas pela urbanização, como aumento do ruído antrópico, concentração de recursos e construções humanas, podem alterar o comportamento agressivo e a vocalização de várias espécies, principalmente das aves. Logo, compreender as mudanças comportamentais e os processos influenciadores são importantes, uma vez que há uma relação com parâmetros básicos da vida animal. Para verificar se o comportamento agressivo e o canto do Sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*) são influenciados ao comparar ambientes urbanos e naturais, dividimos este trabalho em dois capítulos: (1) investigar se o aumento da urbanização influencia a agressão territorial coespecífica e, (2) investigar a contribuição do ambiente e da distância entre as populações sobre o canto. Para o capítulo 1 sugerimos duas hipóteses: hipótese da agressão mediada por recurso considera que quanto maior a urbanização maior será a agressividade devido à agregação e densidade de indivíduos nessa região, enquanto a hipótese da agressão mediada por ruído sugere o oposto, pois o ruído urbano afetará a percepção de machos à invasão de um coespecífico. No capítulo 2 também investigamos duas hipóteses: a hipótese da adaptação acústica, que prevê que indivíduos alteram o canto para maximizar a eficiência da transmissão do sinal acústico; e a hipótese do isolamento cultural, que sugere que a alteração do canto ocorre devido às distâncias entre as populações que afetam o aprendizado vocal. Encontramos que os machos de *M. gilvus* não apresentam diferença no comportamento agressivo entre os locais urbanos e naturais. Associamos essa resposta à semelhança entre os habitats, à tolerância e a habituação da espécie em locais urbanos. Possivelmente a baixa qualidade e escassez de alimentos naturais em locais urbanos também contribuíram para esses resultados devido a qualidade e quantidade energética. Já no segundo capítulo encontramos que indivíduos mais próximos possuem estruturas do canto mais semelhantes somente na região Litoral Leste da América do Sul e que os padrões de similaridade do canto ocorrem em microescalas. Ainda, não encontramos diferenças de acordo com as características ambientais, mas encontramos diferença na frequência acústica entre as regiões. Não corroboramos a hipótese da adaptação acústica e corroboramos parcialmente a hipótese do isolamento cultural. Nossos resultados sugerem que o *M. gilvus* apresente uma variação em microescala, evidenciando a presença de dialetos. Estes resultados podem estar ligados à seleção sexual e competição intraespecífica, além da qualidade do indivíduo e de seu território que causariam uma permanência destes em seus locais de reprodução. Apesar de não estar correlacionado diretamente com a urbanização, salientamos que o efeito desta característica sobre o comportamento da espécie ainda requer estudos.

Palavras chaves: invasão territorial, dialetos, aves, adaptação acústica, urbano

ABSTRACT

OLIVEIRA, RAYANE, M. Sc, University of Vila Velha – ES, abril de 2020. **Influence of urbanization on animal behavior: are there changes in the aggressiveness and song of a tropical bird?** Advisor: Charles Gladstone Duca Soares, e Co-advisor: Pedro Diniz.

Animal behavior can change in different environments, because different environmental pressures can alter basic parameters such as survival and reproduction. Novel environmental changes generated by urbanization, such as the anthropogenic noise increased concentration of resources, and human constructions can alter the aggressive behavior and the song of several species, mostly birds. Thus, understanding the change in behavior and the influential processes is definitely important, since there is connection with basic parameters in animal life. To verify whether the aggressive behavior and song of the Tropical Mockingbird (*Mimus gilvus*) change when comparing urban and natural location we divided this study into two chapters: (1) to investigate whether the increase in urbanization influences conspecific territorial aggression and (2) investigate the contribution of the environment and the distance between populations on the song of the Tropical Mockingbird. For chapter 1 we tested two hypotheses. The “resource-mediated aggression” states that the greater the urbanization the greater the aggression due to aggregation of individuals in that region. The “noise-mediated aggression” predicts the opposite, since urban noise will affect the perception of males to the invasion of a conspecific. In chapter 2 we also investigated two hypotheses: the acoustic adaptation hypothesis, which predicts that individuals change the song to maximize the efficiency of acoustic signal; and the cultural isolation hypothesis, which proposes that spatial variation in song is due to the distances in the populations that affects vocal learning. We found that tropical mockingbird males did not alter the aggressive behavior between urban and natural locations. We suggest this response is due the similarity between habitats, high tolerance and the habituation of the species in urban location. The low quality and scarcity of natural food resources in urban location also contribute for this result. In the second chapter, we found that the closest individuals have structure of song more similar only in region LAS and that the patterns of similarity of song occurs in microscale. Also, we not found differences regarding environment characteristics, but we found in acoustic frequency between regions. Thus, we do not support the acoustic adaptation hypotesis and partially support the cultural isolation hyphotesis. Our results suggest that *Mimus gilvus* shows a micro-scale variation, representing dialects. These results may be linked to sexual selection and intraspecific competition, beyond territory and individual quality that would cause them to remain in their breeding sites. Despite not being directly correlated with urbanization, we emphasize that the effect of this process on the species behaviour still requires studies.

Keywords: territorial invasion, dialects, bird, Acoustic adaptation, urban

INTRODUÇÃO GERAL

Alterações no ambiente podem produzir mudanças no comportamento animal, uma vez que diferentes pressões ambientais selecionam distintos comportamentos. Sendo assim, entender processos que levam à variação comportamental é importante, visto que um determinado comportamento pode favorecer a reprodução e sobrevivência de indivíduos dependendo do local em que este se encontra (Kendall et al., 2018).

A urbanização é um processo que envolve mudanças ambientais de maneira rápida e inovadora (Vincze et al., 2017). Esse processo está frequentemente associado à perda de hábitat, fragmentação (Weng, 2007) e aumento da poluição sonora, luminosa e atmosférica (Hu & Cardoso, 2009). Além disso, frequentemente traz como consequência a agregação de indivíduos de espécies sinantrópicas que residem nesse local e o aumento na concentração e agregação de recursos devido as manchas de vegetação em ambiente ocasionadas principalmente pela fragmentação. Do mesmo modo, o aumento da concentração e agregação de recursos e indivíduos podem alterar o comportamento agressivo das espécies (Foltz et al., 2015). Devido a essas diferenças entre os ambientes urbano e natural, espera-se que indivíduos da mesma espécie presentes nestes dois ambientes demonstrem comportamentos distintos (Davies et al., 2017).

Verificamos se o comportamento agressivo e as estruturas do canto de uma ave tropical (*Mimus gilvus*, Sabiá-da-praia) se alteram ao comparar ambientes urbanos e naturais. Utilizamos essa espécie pois, além de apresentar um canto complexo e um comportamento territorial altamente agressivo (Botero & Vehrencamp, 2007), é frequentemente associada a áreas antropizadas (Aguilar et al., 2016) e que sofrem com o processo de urbanização (Andrés et al., 2017). Nosso estudo considerou o ruído urbano e as construções humanas (e.g. prédios, pavimentação e casas), além de processos comuns ao crescimento urbano como fatores decorrentes da urbanização (como a agregação populacional da espécie e de recursos). Em relação ao comportamento de *M. gilvus*, consideramos principalmente o comportamento territorial e o canto, pois estes comportamentos estão fortemente ligados a processos fundamentais como a seleção de parceiros, defesa territorial e acesso a recursos alimentares (Davies et al., 2017).

Para alcançar nosso objetivo dividimos este trabalho em dois capítulos: no capítulo I investigamos se a urbanização influencia a agressão territorial coespecífica,

enquanto no capítulo II avaliamos a contribuição do ambiente (clima e urbanização) e da distância entre as populações sobre o canto do *M. gilvus*. Compreender esses dois comportamentos é importante, pois entender o efeito da urbanização no *M. gilvus* pode indicar como esse processo impactará a espécie. Por exemplo, Ippi e colaboradores (2011) encontraram variações em cantos repetitivos de *Aphrastura spinicauda* e associaram essas variações com a pressão ecológica de cada população. Do mesmo modo, outro estudo indicou que indivíduos em ambientes mais ruidosos se tornam menos agressivos devido à distração que o ruído causaria na espécie (Kleist et al., 2016). Finalmente, como o canto das aves varia geograficamente, o entendimento dos efeitos da urbanização em relação a outros processos envolvidos na divergência desses sinais (variação genética e cultural) pode contribuir para a compreensão da evolução recente desses sinais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J.M., Freile, J.F., & Tinoco, B.A. (2016). Rapid colonization of Ecuador by the tropical mockingbird (*Mimus gilvus*)– Ornitol. Neotrop. 27: 155–162.
- Andrés, M. De, Barragán, J.M., & Sanabria, J.G. (2017). Relationships between coastal urbanization and ecosystems in Spain– Cities 68: 8–17.
- Botero, C.A. & Vehrencamp, S.L. (2007). Responses of male tropical mockingbirds to variation in within-song and between-song versatility– Auk 124: 185–196.
- Davies, S., Haddad, N., & Ouyang, J.Q (2017). Stressful city sounds: Glucocorticoid responses to experimental traffic noise are environmentally dependent - Biol. Lett. 13: 1-4.
- Foltz, S.L., Ross, A.E., Laing, B.T., Rock, R.P., Battle, K.E., & Moore, I.T. (2015). Get off my lawn : increased aggression in urban song sparrows is related to resource availability– Behav. Ecol. 26: 1548–1557.
- Hu, Y. & Cardoso, G.C. (2009). Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas?– Behav. Ecol. 20: 1268–1273.
- Ippi, S., Vásquez R.A., Van Dongen, F.D. & Lazzoni, I. Geographical variation in the vocalizations of the suboscine Thorn-tailed Rayadito *Aphrastura spinicauda* - Ibis. 153: 789-805.
- Kendall, B.E., Fox, G.A., & Stover, J.P. (2018). Boldness-aggression syndromes can reduce population density: Behavior and demographic heterogeneity– Behav. Ecol. 29: 31–41.
- Kleist, N.J., Guralnick, R.P., Cruz, A., & Francis, C.D. (2016). Anthropogenic noise weakens territorial response to intruder' s songs– Ecosphere 7: 1–11.

Morton, E.S. (1975). Ecological Sources of selection on avian sounds– *Am. Nat.* 109: 17–34.

Vincze, E., Seress, G., Lagisz, M., Nakagawa, S., Dingemanse, N.J., & Sprau, P. (2017). Does Urbanization Affect Predation of Bird Nests? A Meta-Analysis– *Front. Ecol. Evol.* 5: 1–12.

Weng, Y.C. (2007). Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization– *Landsc. Urban Plan.* 81: 341–353.

CAPÍTULO I

Este capítulo segue as normas da revista *Journal of Avian Biology*

Aves em ambientes urbanos são mais agressivas contra invasores territoriais?

Rayane dos Santos Oliveira^{1,2}, Pedro Diniz^{1,2}, Charles Duca^{1,2}

1 Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, Universidade Vila Velha, ES, Brasil.

2 Laboratório de Ecologia de Populações e Conservação, Universidade Vila Velha, ES, Brasil.

*Corresponding author: raay.santoso@gmail.com

Resumo

O ambiente urbano e suas consequências ecológicas (e.g. alterações na vegetação natural, aumento da poluição sonora e concentração de recursos) o diferenciam de ambientes naturais e pode causar divergência no comportamento agressivo de indivíduos entre os dois ambientes. O intenso comportamento territorial do Sabiá-da-praia (*Mimus gilvus antelius*), além da sua presença em área costeira afetada pela antropização faz com esta espécie seja uma excelente modelo de estudo na avaliação do nível de agressão entre os dois tipos de ambientes. Realizamos um experimento com playback simulando um invasor coespecífico para avaliar o nível de agressão de indivíduos em três tipos de ambientes no sudeste brasileiro: (i) natural com alta e (ii) baixa influência do ruído antropogênico; e (iii) urbana. Testamos duas hipóteses: 1. Os indivíduos serão menos agressivos em áreas urbanas devido a baixa percepção do sinal sonoro em consequência do alto ruído em regiões urbanizadas; e 2. Os indivíduos serão mais agressivos em áreas urbanas devido a uma maior agregação de indivíduos e de recursos. Realizamos o experimento em um total de 41 territórios. Nossos resultados não corroboraram nossas hipóteses, pois, apesar de os machos apresentarem comportamento igualmente agressivo em todos os experimentos, não houve distinção entre os ambientes. Sugerimos que a similaridade na resposta agressiva pode estar ligada à tolerância da espécie a áreas urbanas e ao ruído, densidade populacional invariável ou à agregação e quantidade de recurso igual entre os ambientes.

Palavras-chave Agressividade, urbanização, *Mimus gilvus*, hipótese da agressão urbana

Abstract

The urban environment and its ecological consequences (e.g. changes in natural vegetation, increased noise pollution and concentration of resources) differentiate it from natural environments and can cause divergence in the aggressive behavior of individuals between the two environments. The strong territorial behavior and its presence in the coastal area associated with anthropization makes the Tropical Mockingbird (*Mimus gilvus antelius*) an excellent species for study of the assessment of the level of aggression between the two types of environments. We performed an experiment with playback simulating a conspecific invader to assess the level of aggression of individuals in three areas in southeastern Brazil: (i) natural with high and (ii) low influence of anthropogenic noise; and (iii) an urban area. We tested two hypotheses: 1. Individuals would be less aggressive in urban areas due to the low perception of the audible signal as a result of high noise in an urbanized environment; and 2. Individuals would be more aggressive in urban areas due to the higher aggregation of individuals and resource. Our results did not corroborate our hypotheses because, despite presenting aggressive behavior in all experiments, there was no distinction between environments. We suggest that the similarity in the aggressive response may be linked to the species' tolerance to urban areas, invariable population density or the aggregation and equal amount of resources between environments.

Keywords Aggressiveness, urbanization, *Mimus gilvus*, hypothesis of urban aggression

Introdução

Os organismos apresentam respostas comportamentais distintas de acordo com o seu ambiente, pois diferentes situações possuem diferentes pressões ambientais e selecionam diferentes comportamentos (Shannon et al. 2014, Phillips et al. 2018). Hábitats urbanos, por exemplo, surgem como condições distintas das áreas naturais devido às consequências da expansão de cidades e o aumento da população humana. Alterações ou remoção da vegetação natural (Weng 2007), aumento da poluição sonora e luminosa (Slabbekoorn e Ripmeester 2008) e o aumento da concentração, qualidade e quantidade de alimento (Mckinney 2002) são exemplos de algumas alterações do ambiente urbano que podem afetar a densidade populacional e o comportamento das espécies (Ripmeester et al. 2010, Galbreath et al. 2014, Zwart et al. 2016).

Dentre os comportamentos, a agressão intraespecífica é fundamental para o acesso a recursos finitos como parceiros, alimentos e territórios (Stahl et al. 2001, Davies et al. 2018). Dado que indivíduos mais agressivos conseguem superar seus coespecíficos menos agressivos na competição por recursos, alterar a limitação ou agregação de recursos no espaço pode alterar o comportamento agressivo nas espécies (Fokidis et al. 2011, Foltz et al. 2015). Apesar disso, é necessário otimizar o investimento na resposta agressiva de acordo com a condição do próprio indivíduo e as condições ambientais, pois altos níveis de agressão geram custos energéticos para os indivíduos e podem aumentar o número de lesões, conforme indica a hipótese do estresse social (Hogstad 1987, Sapolsky 2005). Além disso, a agregação de indivíduos também

pode alterar o comportamento agressivo, uma vez que pode intensificar a competição entre machos e fêmeas (Hamao et al. 2011).

O comportamento agressivo de espécies territoriais também pode ser alterado de acordo com a percepção de ameaça por invasores territoriais, isto é, indivíduos terão uma resposta proporcional à sua percepção de ameaça. O ruído de fundo pode prejudicar a percepção do sinal sonoro aumentando a latência de resposta de acordo com o aumento do ruído (Kleist et al. 2016) além de poder diminuir a distância de detecção a cada aumento de decibéis (Barber et al. 2010). Assim, mudanças ambientais causam mudanças nessas condições (e.g. ruído, recursos e densidade populacional) e os detentores de territórios devem ajustar seu comportamento de acordo com essas alterações.

Em comparação ao ambiente natural, locais urbanos normalmente possuem uma maior agregação de indivíduos de espécies sinantrópicas (Zwart et al. 2016) e uma maior concentração e disponibilidade de alimento, principalmente para espécies com alimentação generalista (Mckinney 2002). Em contrapartida, ambientes urbanos apresentam uma maior intensidade no ruído (Slabbekoorn 2008). Duas hipóteses principais preveem diferentes padrões de variação no comportamento agressivo coespecífico entre ambientes naturais e urbanos: hipótese da agressão mediada por recurso e hipótese da agressão mediada por ruído. De acordo com a hipótese da agressão mediada por recurso, o comportamento territorial será mais intenso em áreas urbanas devido às consequências da urbanização (e.g. maior densidade populacional, agrupamento e quantidade de recursos).

Tal hipótese já foi corroborada para diversas espécies de aves (Evans et al. 2010, Fokidis et al. 2011, Scales et al. 2011, Galbreath et al. 2014, Foltz et al. 2015) que encontraram indivíduos mais agressivos em região urbana. Poucos estudos contrapõem essa hipótese. Em um deles, registrou-se menor frequência de respostas por machos de *Junco hyemalis* a um estímulo de playback na região considerada urbana (Newman et al. 2006). Em outro estudo, machos de *Haemorhous mexicanus* foram mais agressivos em áreas rurais do que urbanas, sugerindo que populações urbanas são menos agressivas (Hasegawa et al. 2014).

Em contrapartida, a hipótese da agressão mediada por ruído prevê que as espécies serão menos agressivas em áreas urbanas, pois terão uma maior distração e conseqüentemente uma menor perceptibilidade do sinal sonoro em relação ao invasor devido ao alto ruído. De modo alternativo, os organismos em condições ruidosas aumentariam o investimento em vigilância em seu entorno permitindo uma detecção mais rápida (Shannon et al. 2014, 2016, Klett-Mingo et al. 2016).

Nosso modelo de estudo é o *M. gilvus* (Sabiá-da-praia). Essa espécie é um bom modelo para esse estudo pois apresenta comportamento territorial, distribuição ampla, do México ao Brasil (com registros do Pará ao Rio de Janeiro), e uma alimentação generalista. No Brasil, a espécie é comumente associada ao ambiente de vegetação aberta de restinga (Zanon et al. 2015). Devido à sua localização no litoral, o ambiente de restinga é frequentemente associado à urbanização sofrendo constantemente com a perda vegetal, o aumento de construções, humana e o aumento e constância do ruído antrópico (Burak et al. 2004; Andrés et al. 2017).

Objetivamos investigar se a urbanização influencia na agressão territorial coespecífica. Sugerimos duas hipóteses: 1. Os indivíduos serão menos agressivos em áreas urbanas devido a baixa percepção do sinal sonoro em consequência ao alto ruído em regiões urbanizadas ou 2. Os indivíduos serão mais agressivos em áreas urbanas, pois pressupomos que essas áreas possuem um maior agrupamento de recursos e indivíduos. Testamos nossas hipóteses realizando um experimento simulando a invasão de um macho coespecífico com o uso de playback em três áreas que variam na influência do ruído e urbanização: área natural “sem” ruído; área natural “com” ruído, área urbana “com” ruído.

Material e Métodos

Espécie Alvo e Área de Estudo

O *Mimus gilvus* (Sabiá-da-praia) é uma espécie da ordem Passeriformes, família Mimidae, com ampla distribuição geográfica, com ocorrência do México até o Sul do estado Rio de Janeiro, sendo associado a áreas abertas de restinga principalmente no sudeste brasileiro (Zanon et al. 2015). Seus territórios são descritos como circulares com cerca de 200 metros de diâmetro e estáveis ao longo do ano (Botero et al. 2007). Porém, a tentativa de domínio do território e possíveis invasões por machos sem territórios também ocorrem frequentemente durante todo o ano, sendo comum o comportamento territorial (Brewer & MacKay 2001; Botero et al. 2007). A espécie possui um sistema cooperativo de reprodução, podendo ocorrer defesa territorial do grupo em conjunto (Botero e Vehrencamp 2007). O seu sistema de reprodução está relacionado com a estação chuvosa e com fontes de águas permanentes (Botero e Vehrencamp 2007, Morais et al. 2019). Sendo assim, a espécie pode ser considerada um bom modelo para testar a agressividade em distintos ambientes.

O estudo foi desenvolvido em três cidades no litoral do estado do Espírito Santo: Vila Velha, Guarapari e Linhares (Figura 1). Os experimentos ocorreram em janeiro, março e abril nas cidades de Vila Velha e Guarapari e no mês de maio na cidade de Linhares no ano de 2019. O período do experimento abrangeu o fim da reprodução e início do período não reprodutivo (Janeiro – Março), pois este período pode ter uma maior probabilidade de invasão territorial devido a uma maior dispersão de indivíduos devido a tentativa de conquistar novos territórios. Em nosso período de estudo a temperatura teve uma média de 31.64

°C ($\pm 26-36.7$ °C) e velocidade do vento uma média de 5.97 m/s ($\pm 0-23.5$ m/s). De acordo com a classificação de Kopën, a região é classificada com clima de monções (*monsoon climate - Am*), ou seja, o clima tropical quente e úmido com maior pluviosidade nos meses de outubro a março (Alvares et al. 2013).

Os experimentos na área de Vila Velha ocorreram em remanescentes de restinga ou próximos a estes (e.g. terrenos baldio) na região litorânea presentes região urbana ($20^{\circ}28'18.33''S$ $40^{\circ}20'41.29''O$ - $20^{\circ}30'4.01''S$ $40^{\circ}21'22.11''O$). Segundo o censo de 2010 realizado pelo IBGE, a população da cidade possui em média 2.135 habitantes, além de cerca de 1.336 domicílios ocupados permanentemente nas áreas. Adjacente a cidade e ao longo do Parque Estadual Paulo Cesar Vinha (PEPCV) existe uma rodovia de intenso fluxo (Rodovia do Sol). Os experimentos na área de Guarapari ocorreram no PEPCV ($20^{\circ}35'1.05''S$ $40^{\circ}24'54.38''O$ - $20^{\circ}35'20.50''S$ $40^{\circ}25'7.87''O$) que, apesar de não possuir construções e ser rara a presença humana, sofre influência do ruído causado pelo intenso tráfego de veículos na Rodovia do Sol (Portal Transparência 2018). Em Linhares, a área está inserida na Reserva Biológica de Comboios (REBIO Comboios) ($19^{\circ}39'51.54''S$ $39^{\circ}52'28.53''O$ - $19^{\circ}39'33.65''S$ $39^{\circ}53'19.09''O$) presente no Litoral Norte do Espírito Santo, onde não constam construções humanas e nem rodovias pavimentadas ao redor da área de estudo. Dado essas descrições, foram considerados ambientes que variaram quanto à influência do ruído e urbanização, sendo: área natural “sem” ruído (REBIO Comboios); área natural “com” ruído (PEPCV); e área urbana “com” ruído (Vila Velha).

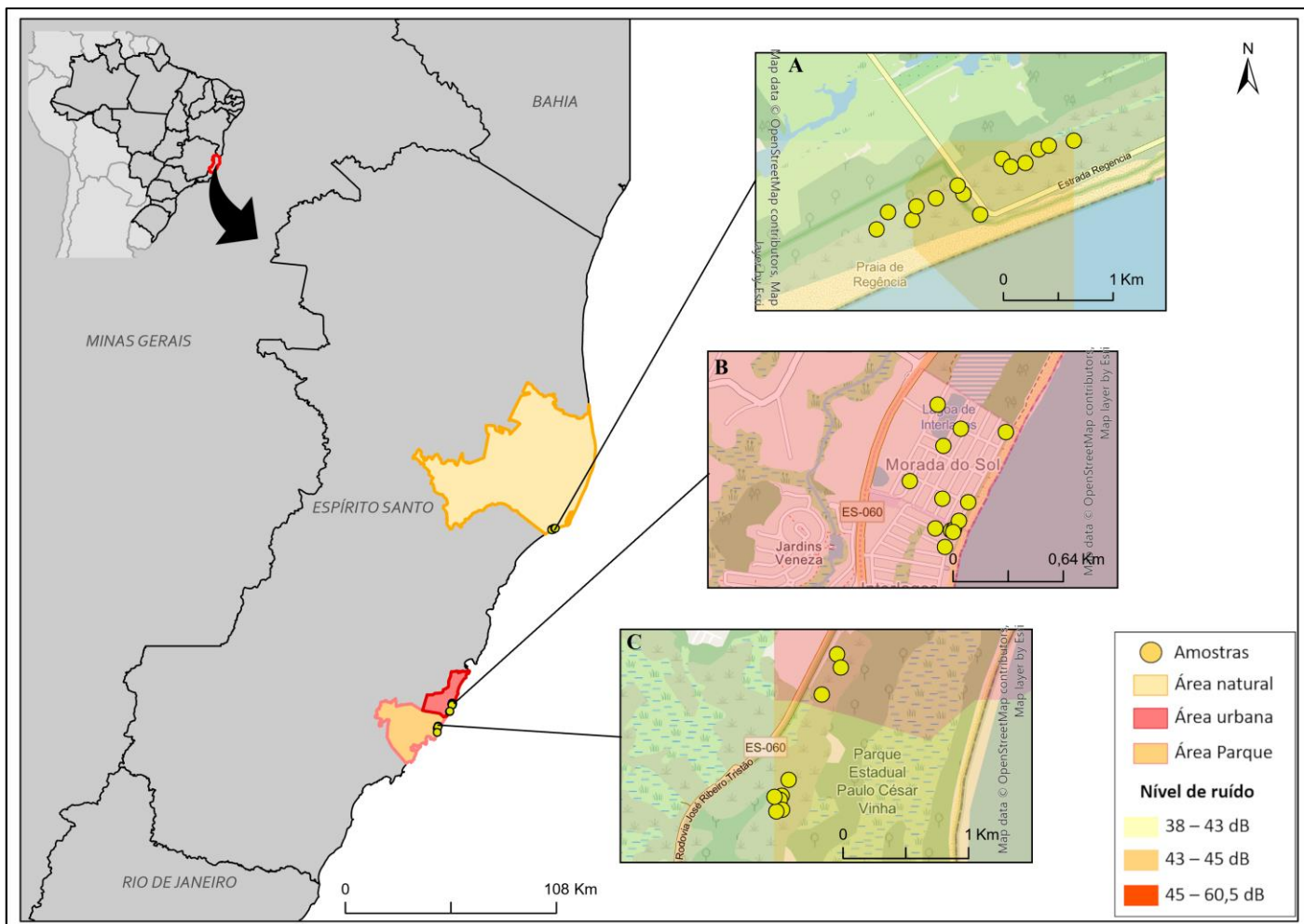


Figura 1. Mapa da área de estudo demonstrando a urbanização e o nível de ruído medidos em campo. Em A área considerada como natural (REBIO Comboios), onde o nível de ruído variou de 38-43 decibéis. Em B a área considerada urbana (Vila Velha), onde o nível de ruído variou de 45-60 decibéis e em C a área da APA de Setiba onde o nível de ruído variou de 43-45 decibéis.

Estímulo e Experimento de Agressão Territorial

Realizamos experimentos de invasões territoriais entre às 6 e 11 h da manhã e um experimento no período vespertino (16 h). As simulações eram compostas por cantos de machos gravados no Parque Estadual Paulo Cesar Vinha (ES; n = 4; dezembro de 2018), região de Interlagos (ES; n = 4; agosto de 2018) e Armações dos Búzios (RJ; n = 2; dezembro de 2009), sendo os 2 primeiros locais de gravações pessoais e o último obtidas no portal do Xeno-canto (<https://www.xeno-canto.org/>). As gravações pessoais foram realizadas usando

um gravador Tascam DR05 (resolução: 24 bits, taxa de amostragem: 44.1kHz, formato: WAV) e microfone Yoga HT 81. As gravações são de alta qualidade (alta razão entre sinal e ruído), minimizando interferências sonoras e preservando a qualidade da transmissão. Cada simulação foi composta por 3 min de canto de um desconhecido (macho distinto daquele que recebeu o estímulo). Utilizamos o programa Audacity 2.2.2 para normalizar a amplitude máxima dos estímulos a -1 dB. Sorteamos os estímulos para cada indivíduo a fim de aleatorizar a identidade do estímulo. Os estímulos foram repetidos pelo menos 3 vezes e no máximo 6 vezes.

Posicionamos o amplificador (Mini Speaker Dotcell DC-S045) após a identificação visual do indivíduo ou após reproduzir chamados coespecíficos para atração dos indivíduos (Hardman e Dalesman 2018; N = 6). Sempre quando possível o amplificador era posicionado no poleiro do indivíduo foco, assumindo que se tratava de parte de seu território. O poleiro do indivíduo foi definido como o poleiro em que o indivíduo permaneceu por mais tempo durante o período pré-playback. A instalação do amplificador ou não afastava os indivíduos de seus poleiros ou eles voltavam logo em seguida. A amplitude do amplificador foi padronizada com uma intensidade de 70 dB a 3 metros de distância no volume máximo. A altura do amplificador variou de acordo com a vegetação da região ($\pm 0-2m$), priorizando locais acima do nível do chão.

Após posicionar o amplificador, o pesquisador permanecia entre 5 e 10 metros, pois testes *a priori* e estudos anteriores (Botero e Vehrencamp 2007) mostraram que essa distância não afasta os indivíduos. O experimento conteve três etapas de observações: I) três minutos de observação antes do playback, II) três minutos com o playback do canto sorteado e III) pelo menos 6 minutos de

observação após o playback com uma média de 407 segundos e um desvio padrão de 185,80 (adaptado Botero e Vehrencamp 2007). Apesar de em todos os casos a resposta partir de pelo menos dois indivíduos (consideramos aqui como um casal), focamos somente o indivíduo mais agressivo e/ou aquele que emitiu mais canto, assumindo que este era o macho uma vez que somente ele canta (Botero e Vehrencamp 2007). Durante o experimento foi registrado pelo pesquisador por meio de narrações: a distância estimada do indivíduo em relação ao amplificador, número voos sobre o amplificador, número de canto, número de chamados e número de som de agressão (chamado menos agudo que o anterior) durante e após o playback. Para registrar as narrações e os sinais sonoros dos indivíduos utilizamos um gravador Tascam DR05 ou Marantz PMD660 e um microfone unidirecional Yoga HT 81 ou Sennheiser ME66. Uma vez que os indivíduos não estavam anilhados, o experimento foi realizado somente uma vez por casal com uma distância de 200 metros em relação aos territórios, considerados aqui como cada casal localizado. Utilizamos essa distância, pois corresponde ao diâmetro máximo verificado dos territórios dos indivíduos da espécie em outros estudos (Botero et al. 2007). Exceções a essa regra ocorreram somente quando era certo que se tratava de outro casal (geralmente por meio de visualização dos dois casais ao mesmo tempo), pois algumas observações (principalmente em áreas urbanas) havia ocorrência de casais distintos mais próximos do que a distância estabelecida.

As variáveis respostas foram pontuadas por meio da análise das narrações no programa Raven 1.5. Consideramos: Tempo de permanência a menos de 1 metro (TP <1m DP), entre 1-5 metros (TP 1-5m DP), entre 6-10 metros (TP 6-10m DP) e a mais de 10 metros (TP >10m DP) do amplificador durante o

playback; Tempo de permanência a menos de 1 metro (TP <1m AP), entre 1-5 metros (TP 1-5m AP), entre 6-10 metros (TP 6-10m AP) e a mais de 10 metros (TP >10m AP) do amplificador após o playback; Tempo de resposta (TR), quantidade de voos sobre o amplificador, quantidade de cantos, quantidade de chamados, quantidade de sons de agressão emitidos durante e após o playback (Adaptado de Botero et al. 2007; Botero e Vehrencamp 2007). Como o tempo de duração do experimento variou de acordo com cada amostra, computamos as variáveis acima relativas à duração do período de observação após o playback.

Estimativa do nível de ruído e variáveis abióticas

As medições do nível de ruído de fundo (decibéis medidos pelo decibelímetro) foram realizadas com o auxílio de um decibelímetro (Instrutherm DEC-300 e B-M/1X) após o fim de cada experimento. Medimos o ruído de fundo com o aparelho voltado para cima durante um minuto a uma distância de 5 metros do poleiro do indivíduo estabelecido inicialmente e a 1,5 metros de altura do chão, dado que é um valor aproximado da altura do poleiro da espécie (Molina-Martínez 2015). Os dados abióticos como temperatura e velocidade do vento foram medidos com o aparelho Next Nmult-01.

Análises estatísticas

Ao todo foram realizados 41 experimentos. Utilizamos uma matriz com a proporção do tempo de permanência a menos de um metro, entre 1-5 metros, entre 6-10 metros e acima de 10 metros, número de cantos, número de chamados, número de sons de agressão, tempo de resposta e voo sobre o amplificador para cada indivíduo durante e após o playback para testar nossas hipóteses. Uma vez que o tempo após o experimento não foi único entre os

experimentos, utilizamos a proporção (tempo de duração após o playback/comportamento após o playback). Primeiramente removemos a distorção dos valores para 7 variáveis, após uma análise exploratória por meio de box-plots: TP <1m DP, TP >10m DP, TP <1m AP, TP >10m AP, voo sobre o amplificador após o playback, chamado durante o playback e chamados após o playback ($\ln(x+1)$).

A fim de reduzir o número de parâmetros, combinamos os valores em *scores* realizando uma Análise dos Componentes Principais (PCA) com rotação *varimax* para PC's com mais de 2 componentes. Realizamos esse procedimento para os parâmetros relacionados à resposta física do indivíduo (tempo de permanência em cada distância, tempo de resposta e a quantidade de voo sobre o amplificador durante e após o playback; tabela 1) e aqueles relacionados à resposta vocal (canto, chamado e som de agressão durante e após o playback; tabela 1), resultando em duas PCA's denominadas a partir de agora como PCAfis e PCAvoc. Os números de componentes foram determinados pelo critério de Kaiser (autovalores > 1; Derryberry et al. 2018).

Tabela 1. Variáveis e suas definições para avaliar o comportamento agressivo do *Mimus gilvus* em resposta ao experimento de playback, incluindo os valores dos *loadings* da análise dos componentes principais dos comportamentos agressivos referentes a 41 indivíduos. Valores em negrito são considerados significativos.

Variável	Sigla	Definição	Tipo de resposta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Tempo de permanência a menos de 1 metro durante o playback	TP <1m DP	Tempo de permanência do indivíduo na distância a menos de 1 metro da caixa durante a emissão do playback do canto	Física	-0,09	-0,08	0,89	-0,05	0,08
Tempo de permanência entre 1-5 metros durante o playback	TP 1-5m DP	Tempo de permanência do indivíduo na distância de 1 a 5 metros da caixa durante a emissão do playback do canto	Física	-0,9	0,04	-0,04	-0,02	0,09
Tempo de permanência entre 6-10 metros durante o playback	TP 6-10m DP	Tempo de permanência do indivíduo na distância de 6 a 10 metros da caixa durante a emissão do playback do canto	Física	0,53	0,08	-0,39	-0,04	0,69
Tempo de permanência acima de 10 metros durante o playback	TP >10m DP	Tempo de permanência do indivíduo na distância acima de 10 metros da caixa durante a emissão do playback do canto	Física	0,38	-0,03	-0,29	0,08	-0,8
Tempo de permanência a menos de 1 metro após o playback	TP <1m AP	Tempo de permanência do indivíduo na distância a menos de 1 metro da caixa após a emissão do playback do canto	Física	-0,04	0,39	0,73	0	-0,03

Variável	Sigla	Definição	Tipo de resposta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Tempo de permanência entre 1-5 metros após o playback	TP 1-5m AP	Tempo de permanência do indivíduo na distância de 1 a 5 metros da caixa após a emissão do playback do canto	Física	-0,9	-0,05	0,1	-0,02	0,01
Tempo de permanência entre 6-10 metros após o playback	TP 6-10m AP	Tempo de permanência do indivíduo na distância de 6 a 10 metros da caixa após a emissão do playback do canto	Física	0,47	-0,01	-0,16	0	0,07
Tempo de permanência acima de 10 metros após o playback	TP >10m AP	Tempo de permanência do indivíduo na distância acima de 10 metros da caixa após a emissão do playback do canto	Física	0,36	-0,11	-0,28	0,83	-0,08
Tempo de resposta	TR	Tempo que o indivíduo levou para emitir uma resposta comportamental após o início do playback	Física	0,21	-0,39	0,36	0,4	0,28
Voo sobre a caixa durante o playback	Voocai DP	Número de voos sobre a caixa após o início do playback durante o playback	Física	0	0,89	0,2	-0,08	-0,07
Voo sobre a caixa após o playback	Voocai AP	Número de voos sobre a caixa após o início do playback após o playback	Física	0,05	0,9	-0,04	-0,02	0,14

Variável	Sigla	Definição	Tipo de resposta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Canto durante o playback	Cant DP	Número de canto emitido durante o início do playback após o playback	Vocal	0,82	0,13	0,2	-	-
Canto após o playback	Cant AP	Número de canto emitido após o início do playback após o playback	Vocal	0,86	-0,11	-0,17	-	-
Chamado durante o playback	Cham DP	Número de chamado emitido após o início do playback durante o playback	Vocal	-0,04	-0,08	0,76	-	-
Chamado após o playback	Cham AP	Número de chamado emitido após o início do playback após o playback	Vocal	-0,05	-0,11	-0,69	-	-
Som de agressão durante o playback	sdag DP	Número de som de agressão emitido após o início do playback durante o playback	Vocal	0,01	0,73	-0,03	-	-
Som de agressão após o playback	sdag AP	Número de som de agressão emitido após o início do playback durante o playback	Vocal	0	0,76	0,08	-	-
Autovalores PCAfis	-	-	-	2,38	1,92	1,86	1,55	1,31
Proporção da variância PCAfis	-	-	-	0,22	0,17	0,17	0,14	0,12
Autovalores PCAvoc	-	-	-	1,53	1,27	1,14	-	-
Proporção da variância PCAvoc	-	-	-	0,26	0,21	0,19	-	-

Com referência a PCAfis utilizamos 5 fatores que possuíam *scores* maiores que 1, sendo que estes explicaram 82% da variação nos dados originais, enquanto utilizamos 3 fatores com *scores* maiores que 1 referentes à PCAvoc que explicaram 68% da variação nos dados originais (tabela 1). Consideramos como contribuintes das medições dos PC's os parâmetros originais que obtiveram *loadings* maiores que 0,6 (Koloff e Mennill 2011; tabela 1). Assim, referente a PCAfis, consideramos que: PC1 indica um menor tempo de permanência de 1-5 metros durante e após o playback, PC2 indica um maior número de voos sobre o amplificador durante e após o playback, PC3 indica um maior tempo de permanência a menos de 1 metro do amplificador durante e após o playback, PC4 maior tempo de permanência acima de 10 m e PC5 indica um maior tempo de permanência a 6-10 m e menor tempo de permanência acima de 10 m durante o playback. Enquanto para a PCAvoc consideramos que PC1 indica um maior número de cantos durante e após o playback, PC2 um maior número de sons de agressão durante e após o playback e PC3 um maior número de chamados durante o playback e menor número de chamados após o playback. As análises dos componentes principais foram realizadas utilizando a função *principal* do pacote *psych* (Revelle 2018).

Testamos a multicolinearidade, a heterocedasticidade e a normalidade (teste de Shapiro) utilizando o pacote *performance* (Lüdecke et al. 2019). A multicolinearidade entre os modelos de regressões foram avaliadas entre os pares das variáveis independentes calculando o fator de inflação da variação (VIF), onde os fatores menores que 5, entre 5-10 e maiores que 10 indicam uma baixa, moderada e alta correlação, respectivamente (Lüdecke et al. 2019). Para a heterocedasticidade e a normalidade utilizamos o valor de $p < 0,05$ como uma

variação não constante e uma distribuição não normal. Todos os modelos apresentaram uma baixa colinearidade entre as variáveis (<5) e uma variação constante ($p>0,05$), porém 4 modelos (PC5comp, PC2canto e PC3canto: $p<0,05$) não apresentaram uma distribuição normal, mas ignoramos a premissa referente a normalidade devido ao número alto de amostras ($n = 41$).

Após esses procedimentos, utilizamos regressões múltiplas para verificar a relação entre as variáveis respostas (PCAfis e PCAvoc) e preditoras (o ruído, local e variáveis climáticas). Identificamos as variáveis mais fortemente associadas ao comportamento do *M. gilvus* usando o método “backward” de seleção de modelos. Em cada etapa o termo menos significativo foi removido até que todas as demais variáveis fossem significativas, utilizando o nível de significância de $p<0,05$ (Hard 2002).

Resultados

Foram realizados 41 experimentos (sendo somente um no período vespertino) que juntos totalizaram aproximadamente 7h12min. Ao todo os indivíduos ficaram 34 minutos a menos de 1 m do amplificador (A), 149 minutos entre 1-5 metros do amplificador (B), 157 minutos entre 6-10 metros do amplificador (C) e 96 minutos acima de 10 m do amplificador (D). Dentre os experimentos, 14 ocorreram em área natural, 10 na área do parque e 17 em área urbana. Os indivíduos emitiram 833 cantos durante o experimento (natural = 317; urbano = 317 e parque = 199), 58 chamados (natural = 23; urbano = 35; parque = 0), 198 sons de agressões (natural = 90; urbano = 61; parque = 47), e voaram 154 vezes sobre o amplificador (natural = 74; urbano = 76; parque = 4).

Antes do período de experimento os machos se encontravam a pelo menos 5 metros de distância do amplificador. Ainda, poucos indivíduos emitiam cantos ($N = 6$) e nenhum emitia chamados ou sons de agressões. Além disso, a maioria dos machos focais se encontravam empoleirados e não realizava quaisquer outras atividades.

O ruído obteve um valor máximo de 60,35 decibéis (observados na área urbana) e mínimo de 38,12 decibéis (na área natural). As áreas se apresentaram significativamente diferentes em relação ao ruído de fundo ($F_{2,38} = 12,56$; $p < 0,05$), maior na área urbana do que na área natural e no PEPCV (Tukey: $p < 0,05$; figura 2), mas semelhante entre o parque e a área natural (Tukey: $p = 0,59$; figura 2).

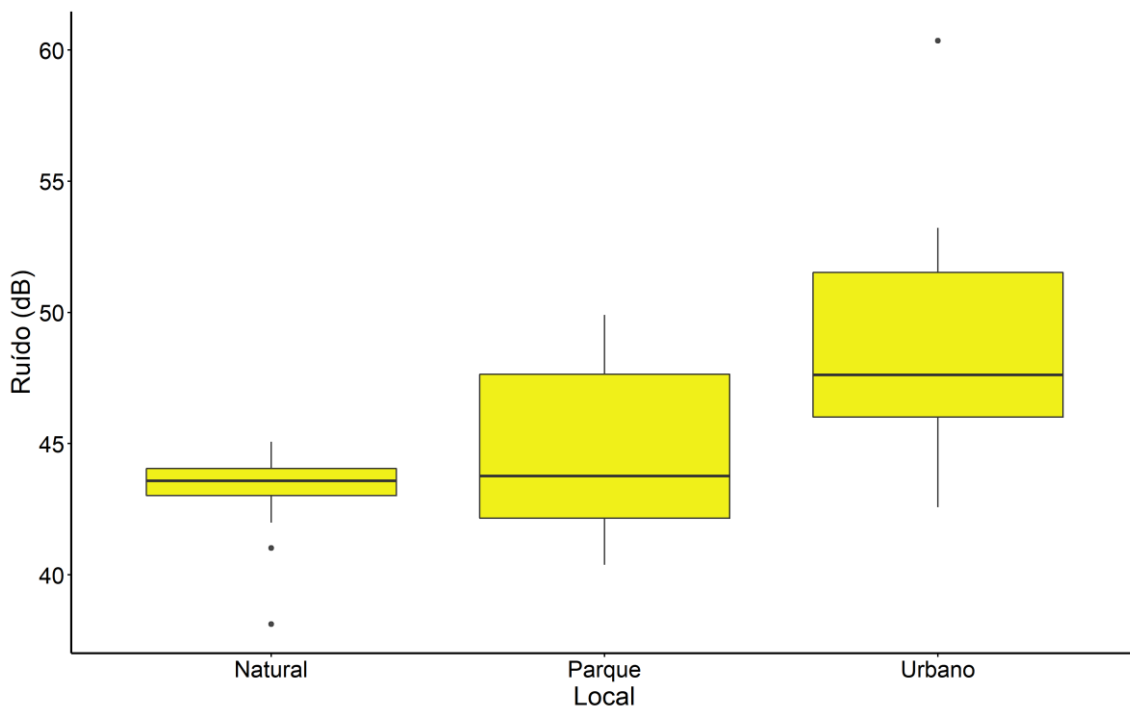


Figura 2. Relação entre os ambientes (Natural, Parque e Urbano) e o nível de ruído (decibéis). Somente o ambiente urbano foi considerado distinto em relação as outras áreas. $F_{2,38} = 12,56$; $p < 0,05$.

Nas análises dos dados de resposta física, todos os modelos, exceto aquele referente a PC4 obtiveram o modelo nulo como o mais significativo (tabela 2). Assim, para esses modelos não significativos, nenhuma variável preditora foi relacionada com o tempo de permanência em cada distância ou com o voo sobre o amplificador dos indivíduos testados. Para o modelo PC4 (maior tempo de permanência acima de 10 metros do amplificador após o playback), a variável velocidade do vento foi identificada como preditora significativa ($p = 0,04$; tabela 2). Esse resultado sugere que quanto maior a velocidade do vento mais os indivíduos permaneciam a mais de 10 metros do amplificador após o período de experimento (figura 3).

Tabela 2. Modelos finais mostrando as relações entre as variáveis predictoras (ruído, data, velocidade do vento e local) e os comportamentos (PCAfis e PCAvoc).

modelo cheio	PC	modelo	F	<i>d,f</i>	<i>p</i>
PC'scomportamento~ velocidade do vento+ruído+local+da ta	PC1	ruído	0,0067	1,29	0,93
	PC1	data	0	1,30	0,99
	PC1	velocidade do vento	0,04	1,31	0,82
	PC1	local	0,66	2,38	0,52
	PC2	data	0,62	1,29	0,43
	PC2	ruído	0,79	1,30	0,37
	PC2	velocidade do vento	1,34	1,31	0,25
	PC2	local	2,34	2,38	0,11
	PC3	velocidade do vento	0,01	1,29	0,89
	PC3	ruído	0,14	1,36	0,7
	PC3	data	1,08	1,37	0,3
	PC3	local	2,32	2,38	0,11
	PC4	local	0,06	2,29	0,93
	PC4	ruído	0,07	1,31	0,78
	PC4	data	0,99	1,32	0,32
	PC4	velocidade do vento	4,36	1,33	0,044

	PC5	ruído	0,04	1,29	0,82
	PC5	data	0	1,30	0,96
	PC5	velocidade do vento	0,25	1,3	0,61
	PC5	local	1,4	2,38	0,25
	PC1	data	0,02	1,29	0,87
	PC1	local	0,58	2,30	0,76
	PC1	ruído	0,39	1,32	0,53
	PC1	velocidade do vento	1,39	1,33	0,24
PC'scanto~velocidade	PC2	local	0,26	1,37	0,76
do	PC2	velocidade do vento	0,16	1,30	0,69
vento+ruído+local+da	PC2	local	0,77	2,31	0,46
ta	PC2	ruído	0,51	1,39	0,47
	PC3	data	0,01	1,29	0,90
	PC3	ruído	0,03	1,30	0,85
	PC3	local	0,50	2,31	0,60
	PC3	velocidade do vento	0,75	1,33	0,39

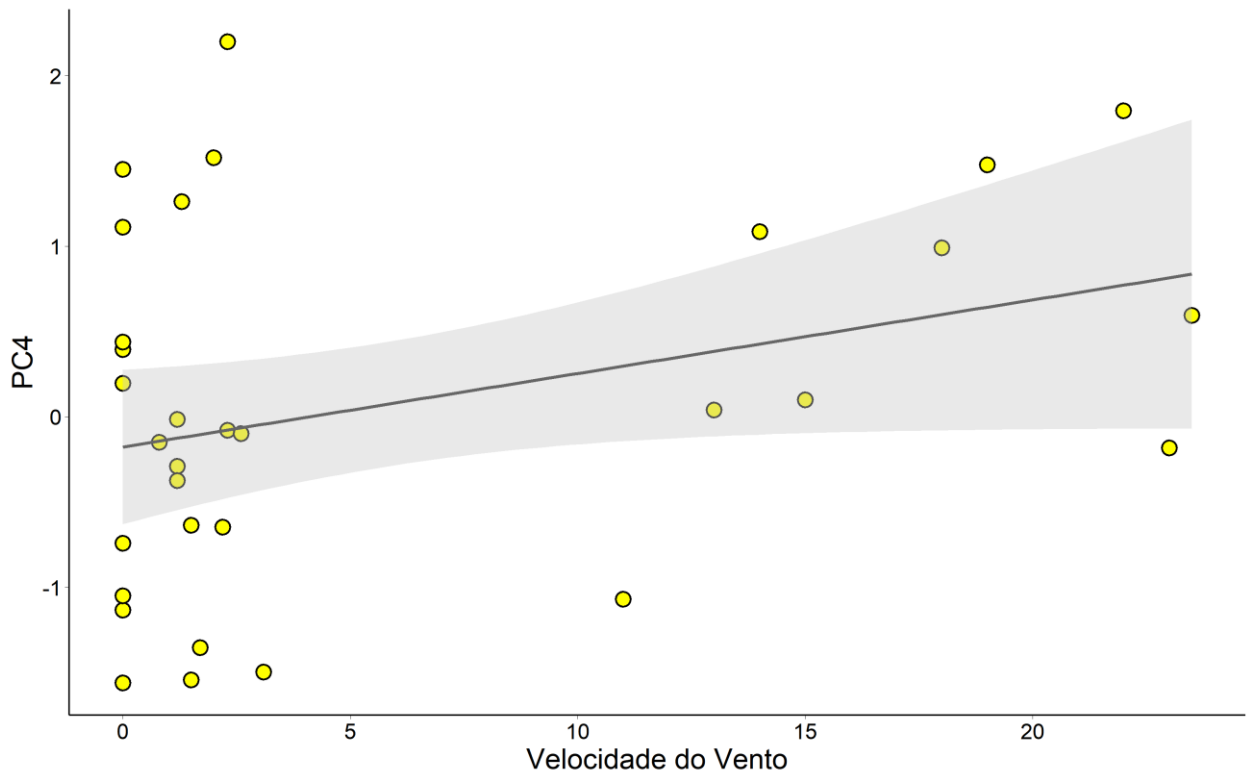


Figura 3. Relação entre velocidade do vento e o componente principal 4 representado pelo maior tempo de permanência a mais de 10 metros em relação ao amplificador durante o experimento. A relação é considerada significativa após a seleção de modelo do tipo “*backward*”. $p = 0,04$, $r^2 = 0,11$.

Nas análises dos dados de resposta de canto todos os modelos obtiveram o modelo nulo como o mais significativo. Assim, nenhuma variável preditora foi relacionada com o número de cantos, chamados ou sons de agressão dos indivíduos testados. Esse resultado sugere que o canto não varia de acordo com o local, o ruído ou dados abióticos.

Discussão

Esperávamos que os níveis de agressividade dos indivíduos variassem entre as três áreas de estudo. Para isso testamos duas hipóteses: Os indivíduos serão menos agressivos em áreas urbanas devido à baixa percepção do sinal sonoro em consequência ao alto ruído em regiões antropizadas ou os indivíduos serão

mais agressivos nessa região devido ao maior agrupamento de recursos e indivíduos, fatores comumente ligados a região urbana.

Nossos resultados sugerem fracamente ($p = 0,04$) que indivíduos permanecem um maior tempo a mais de 10 m do amplificador quanto maior é a velocidade do vento após o experimento. Esse resultado sugere que os machos evitam a locomoção para defesa territorial durante um período de muito vento afim de maximizar a economia de energia (Alerstam et al. 2019). Nossos resultados não corroboram com as hipóteses propostas, ou seja, indivíduos são igualmente agressivos em ambientes urbanos e em áreas naturais, pois medidas como ruído e o local (urbano x natural) não tiveram efeito em parâmetros de agressividade.

Esses resultados contrapõem alguns estudos recentes que indicam que animais em regiões urbanas apresentam maior agressividade (Evans et al. 2010, Foltz et al. 2015, Davies e Sewall 2016) ou aqueles que indicam que a agressividade é menor em ambientes mais ruidosos (Grade e Sieving 2016, Kleist et al. 2016). Somado a esses estudos, um levantamento a respeito da urbanização e o efeito de traços de personalidade mostra que a agressividade é maior em áreas urbanas em 5 dos 6 estudos encontrados (Miranda et al. 2013), o que salienta a singularidade de nossos resultados.

Apesar do ruído ser distinto (maior na área urbana), a falta de resposta para o ruído pode estar associada à tolerância das aves urbanas ao ruído, isto é, os indivíduos desta espécie e nesta região ajustam seu comportamento para compensar o possível efeito do ruído. Por exemplo, um estudo que investiga as mudanças nas condições de recebimento e envio do sinal acústico de acordo

com mudanças nos poleiros dos indivíduos da espécie *Sylvia atricapilla* demonstrou que aumentar a altura do poleiro pode ser uma estratégia para otimizar a percepção do sinal em ambientes ruidosos (Mathevon et al. 2005). Assim, a ausência de diferença entre os organismos urbanos e naturais pode estar ligada à tolerância de indivíduos a áreas urbanas, agrupamento de indivíduos invariável ou devido à disponibilidade similar de recurso alimentar entre as áreas.

Mimus gilvus é uma espécie amplamente distribuída em áreas abertas próximo ao litoral que são frequentemente modificadas devido à urbanização (Zanon et al. 2015, Andrés et al. 2017), acentuando sua facilidade em ocupar áreas perturbadas (Aguilar et al. 2016). Essas características podem resultar numa (habituação (tolerância e/ou adequação) aos fatores resultantes da urbanização, como o ruído urbano, diminuindo ou igualando as diferenças no comportamento entre aves de áreas naturais e urbanas. Além disso, sua proximidade com o litoral torna a espécie habituada ao ruído natural (e.g. ondas) que possuem características acústicas (e.g. baixa frequência) similares às do ruído antrópico (Remmel et al. 2011) favorecendo hábitos que mitigam o efeito do ruído sobre a espécie.

Um exemplo de habituação a novas condições pode ser tratado em relação à presença humana. Algumas espécies em áreas urbanas têm comportamentos não afetados pela presença humana, pois já estão habituados com a sua presença (Møller 2008). Isso demonstra ser possível uma habituação as inovações consequentes da urbanização. Além disso, em uma revisão a respeito do estado de conservação da família Mimidae, *M. gilvus* é considerada uma espécie generalista (Herrera 2007). Essa observação se soma à ideia proposta

neste estudo, uma vez que espécies generalistas são mais tolerantes à urbanização (Markovchick-Nicholls et al. 2007; Hurtado e Mabry 2017) e apresentam uma alta flexibilidade comportamental (Bonier et al. 2007). Logo, a presença e permanência dessa espécie em áreas urbanas pode resultar numa habituação a áreas urbanas e/ou naturais refletindo numa igualdade na resposta comportamental a um invasor coespecífico conforme sugerem os nossos resultados.

Locais urbanos podem atrair uma maior quantidade e agregação de indivíduos dependendo da disponibilidade de recursos (Stamps 1994, Marzluff et al. 2001) aumentando a agressividade nesse tipo de ambiente devido a maiores probabilidade de encontros com outros machos (Kokko e Rankin 2006). Apesar de ser uma resposta esperada para outras espécies sinantrópicas, um estudo considerando a abundância do Sabiá-da-Praia num gradiente urbano-natural mostrou que indivíduos são mais abundantes e agregados espacialmente em regiões naturais (Araujo-Lima et al. 2018). Isso pode indicar uma relação fraca ou ausente entre a densidade populacional e a agressividade, uma vez que não encontramos uma resposta positiva nem para os ambientes urbanos nem para o ambiente natural. Este resultado também foi encontrado por Foltz *et al.* (2015) que indicam que a quantidade e agregação dos indivíduos não estão relacionadas com a agressividade em *Melospiza melodia*.

Independentemente da semelhança na resposta a um invasor entre as três áreas, o *M. gilvus* demonstra um alto comportamento agressivo ao experimento. Dos 41 experimentos realizados, todos os indivíduos apresentaram os comportamentos agressivos testados, isso é, todos os indivíduos emitiram som de agressão, canto, voaram sobre o amplificador e se aproximaram e

permaneceram em distâncias a menos de 6-10 m do amplificador. Essa observação se torna importante quando comparada com o período antes do experimento, onde poucos indivíduos emitiam canto e nenhum deles emitiam som de agressão e chamados. Além disso, a maioria dos indivíduos se encontravam empoleirados próximos ao amplificador. As respostas encontradas durante o experimento são similares ao encontrado por Botero e Vehrencamp (2007) que avalia a ameaça e o reconhecimento nas respostas do *M. gilvus*. Indivíduos testados a uma invasão territorial com o uso de playback (N = 13) emitiram respostas rápidas e em direção ao amplificador. Nossos resultados também foram consistentes em relação à baixa resposta vocal ao playback em referência ao mesmo estudo. Os 41 indivíduos emitiram em média 4,73 cantos durante o playback em nosso estudo, enquanto Botero e Vegrencamp (2007) reportam menos de 4 cantos. Esses resultados podem sinalizar que o *M. gilvus* possui uma baixa resposta vocal quando submetidos a um invasor coespecífico.

Os nossos resultados podem somar a ideia de que o *M. gilvus* consiga persistir e dispersar em ambientes urbanos (principalmente em ambientes em estágio intermediário de urbanização), pelo menos quando analisamos o comportamento territorial em relação às características ambientais. Levando em consideração o iminente crescimento urbano, principalmente nas áreas de vida dessa espécie, essa característica pode ser indispensável à sua permanência pelo menos em inicialmente, pois o trabalho de Araujo-Lima *et al.* (2018) e nossas considerações (referentes a qualidade do recurso, principalmente) podem sugerir que o *Mimus gilvus* não suporte altos graus de urbanização. Assim, recomendamos estudos que averiguem a qualidade do hábitat e quantidade e qualidade de recurso alimentar e suas possíveis consequências para o comportamento territorial

dessa espécie, uma vez que esta já esteve presente na lista vermelha no estado do Espírito Santo e Rio de Janeiro.

Referências

- Aguilar, J. M., Freile, J. F. and Tinoco, B. A. 2016. Rapid colonization of Ecuador by the tropical mockingbird (*Mimus gilvus*). - *Ornitol. Neotrop.* 27: 155–162.
- Alerstam, T., Bäckman, J. and Evans, T. J. 2019. Optimal central place foraging flights in relation to wind. - *J. Ornithol.* 160: 1065–1076.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L. and Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. - *Meteorol. Zeitschrift* 22: 711–728.
- Andrés, M. De, Barragán, J. M. and Sanabria, J. G. 2017. Relationships between coastal urbanization and ecosystems in Spain. - *Cities* 68: 8–17.
- Araujo-Lima, V. 2018. Modelagem ambiental e uso do habitat por *Mimus gilvus* (VIEILLOT, 1808) E *Mimus saturninus* (LICHTENSTEINS, 1823) (AVES, MIMIDAE). in press. UVV.
- Barber, J. R., Crooks, K. R. and Frstrup, K. M. 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. - *Trends Ecol. Evol.* 25: 180–189.
- Bateman, P. W. and Fleming, P. A. 2012. Big city life: Carnivores in urban environments. - *J. Zool.* 287: 1–23.
- Bonier, F., Martin, P. R. and Wingfield, J. C. 2007. Urban birds have broader environmental tolerance. - *Biol. Lett.* 3: 670–673.
- Botero, C. A. and Vehrencamp, S. L. 2007. Responses of male tropical mockingbirds to variation in within-song and between-song versatility. - *Auk*

124: 185–196.

Botero, C. A., Riveros, J. M. and Vehrencamp, S. L. 2007. Relative threat and recognition ability in the responses of tropical mockingbirds to song playback. - *Anim. Behav.* 73: 661–669.

Brewer, D and MacKay, K. 2001. *Wrens, dippers and thrashers*. Yale Univ. Press.

Burak, S., Dogan, E. and Gazioglu, C. 2004. Impact of urbanization and tourism on coastal environment. - *Ocean & Coast. Manag.* 47: 515–527.

Chan, A. A. Y. H., Giraldo-Perez, P., Smith, S. and Blumstein, D. T. 2010. Anthropogenic noise affects risk assessment and attention: The distracted prey hypothesis. - *Biol. Lett.* 6: 458–461.

Davies, S. and Sewall, K. B. 2016. Agonistic urban birds: elevated territorial aggression of urban song sparrows is individually consistent within a breeding period. - *Biol. Lett.* 12: 1–4.

Davies, S., Beck, M. L. and Sewall, K. B. 2018. Territorial aggression in urban and rural Song Sparrows is correlated with corticosterone, but not testosterone. - *Horm. Behav.* 98: 8–15.

Derryberry, E. P., Seddon, N., Derryberry, G. E., Claramunt, S., Seeholzer, G. F., Brumfield, R. T. and Tobias, J. A. 2018. Ecological drivers of song evolution in birds: Disentangling the effects of habitat and morphology. - *Ecol. Evol.* 8: 1890–1905.

Evans, J., Boudreau, K. and Hyman, J. 2010. Behavioural Syndromes in Urban and Rural Populations of Song Sparrows. - *Ethology* 116: 588–595.

- Fokidis, H. B., Orchinik, M. and Deviche, P. 2011. Context-specific territorial behavior in urban birds: No evidence for involvement of testosterone or corticosterone. - *Horm. Behav.* 59: 133–143.
- Foltz, S. L., Ross, A. E., Laing, B. T., Rock, R. P., Battle, K. E. and Moore, I. T. 2015. Get off my lawn : increased aggression in urban song sparrows is related to resource availability. - *Behav. Ecol.* 26: 1548–1557.
- Frid, A. and Dill, L. 2002. Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. - *Conserv. Ecol.* 6:11-27.
- Galbreath, D. M., Ichinose, T., Furutani, T., Yan, W. and Higuchi, H. 2014. Urbanization and its implications for avian aggression: A case study of urban black kites (*Milvus migrans*) along Sagami Bay in Japan. - *Landsc. Ecol.* 29: 169–178.
- Grade, A. M. and Sieving, K. E. 2016. When the birds go unheard: highway noise disrupts information transfer between bird species. - *Anim. Behav.* 12: 7–10.
- Hamao, S., Watanabe, M. and Mori, Y. 2011. Urban noise and male density affect songs in the great tit *Parus major*. - *Ethol. Ecol. Evol.* 23: 111–119.
- Hardman, S. I. and Dalesman, S. 2018. Repeatability and degree of territorial aggression differs among urban and rural great tits (*Parus major*). - *Sci. Rep.* 8: 1–12.
- Hardy, I. C. W. 2002. Sex Ratios: Concepts and Research Methods. - In *Concepts and research methods* (ed.). Cambridge University Press UK, pp.93-111.

- Hasegawa, M., Ligon, R. A., Giraudeau, M., Watanabe, M. and McGraw, K. J. 2014. Urban and colorful male house finches are less aggressive. - *Behav. Ecol.* 25: 641–649.
- Herrera, N. 2017. Revisión del estado de conservación de la familia Mimidae en El Salvador. *Zeledonia*. 21: 25-32.
- Hinsley, S. A., Hill, R. A., Bellamy, P. E., Harrison, N. M., Speakman, J. R., Wilson, A. K. and Ferns, P. N. 2008. Effects of structural and functional habitat gaps on breeding woodland birds: Working harder for less. - *Landsc. Ecol.* 23: 615–626.
- Hogstad, O. 1987. It Is Expensive to Be Dominant. - *Am. Ornithol. Union* 104: 333–336.
- Hurtado, G. and Mabry, K. E. 2017. Aggression and boldness in Merriam's kangaroo rat: An urban-tolerant species? - *J. Mammal.* 98: 410–418.
- Kleist, N. J., Guralnick, R. P., Cruz, A. and Francis, C. D. 2016. Anthropogenic noise weakens territorial response to intruder's songs. - *Ecosphere* 7: 1–11.
- Klett-Mingo, J. I., Pavón, I. and Gil, D. 2016. Great tits, *Parus major*, increase vigilance time and reduce feeding effort during peaks of aircraft noise. - *Anim. Behav.* 115: 29–34.
- Kokko, H. and Rankin, D.J. 2006. Lonely hearts or sex in the city? Density-dependent effects in mating systems. *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 361: 319–334.
- Koloff, J. and Mennill, D. 2011. Aggressive responses to playback of solos and

- duets in a Neotropical antbird. - Anim. Behav. 82: 587–593.
- Lowry, H., Lill, A. and Wong, B. B. M. 2013. Behavioural responses of wildlife to urban environments. - Biol. Rev. 88: 537–549.
- Lüdecke, D., Makowski, M. and Waggoner P. 2019. Performance: Assessment of Regression Models Performance. R package version 0.4.2. <https://CRAN.R-project.org/package=performance>.
- Markovchick-Nicholls, L., Regan, H. M., Deutschman, D. H., Widyanata, A., Martin, B., Noreke, L. and Ann Hunt, T. 2007. Relationships between human disturbance and wildlife land use in urban habitat fragments. - Conserv. Biol. 22: 99–109.
- Marzluff, J. M., Bowman, R. and Donnelly, R. 2001. Avian Ecology and Conservation in an urbanizing World. Springer Science & Business Media.
- Mathevon, N., Dabelsteen, T. and Blumenrath, S. H. 2005. Are high perches in the blackcap *Sylvia atricapilla* song or listening posts? A sound transmission study . - J. Acoust. Soc. Am. 117: 442–449.
- Mckinney, M. L. 2002. Urbanization, biodiversity and conservation. 52: 83–90.
- Miranda, A. C., Schielzeth, H., Sonntag, T. and Partecke, J. 2013. Urbanization and its effects on personality traits: A result of microevolution or phenotypic plasticity? - Glob. Chang. Biol. 19: 2634–2644.
- Molina-Martínez, Y. G. 2015. Revelando processos evolutivos do complexo *Mimus gilvus* (Vieillot , 1808) no Brasil : uma interação entre a adaptação. in press. UERJ.

- Møller, A. P. 2008. Flight distance of urban birds, predation, and selection for urban life. - *Behav. Ecol. Sociobiol.* 63: 63–75.
- Morais, R., de Araújo, L. C., da Silva, G. R. and Duca, C. 2019. Multiple nesting attempts and long breeding seasons of *Mimus gilvus* (Aves: Mimidae) in southeastern Brazil. - *Zoologia* 36: 1–8.
- Newman, M. M., Yeh, P. J. and Price, T. D. 2006. Reduced territorial responses in dark-eyed juncos following population establishment in a climatically mild environment. - *Anim. Behav.* 71: 893–899.
- Phillips, J. N., Gentry, K. E., Luther, D. A. and Derryberry, E. P. 2018. Surviving in the city: higher apparent survival for urban birds but worse condition on noisy territories. - *Ecosphere* 9: 1–12.
- Rommel, T., Davison, J. and Tammaru, T. 2011. Quantifying predation on folivorous insect larvae: The perspective of life-history evolution. - *Biol. J. Linn. Soc.* 104: 1–18.
- Revelle, W. 2018. *Psych: Procedures for Personality and Psychological Research.* - Northwestern University. <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 1.8.12.
- Ripmeester, E. A. P., Mulder, M. and Slabbekoorn, H. 2010. Habitat-dependent acoustic divergence affects playback response in urban and forest populations of the European blackbird. - *Behav. Ecol.* 21: 876–883.
- Sapolsky, R. M. 2005. The influence of social hierarchy on primate health. - *Science*. 308: 648–652.

- Scales, J., Hyman, J. and Hughes, M. 2011. Behavioral syndromes break down in urban song sparrow populations. - *Ethology* 117: 887–895.
- Shannon, G., Angeloni, L. M., Wittemyer, G., Fristrup, K. M. and Crooks, K. R. 2014. Road traffic noise modifies behaviour of a keystone species. - *Anim. Behav.* 94: 135–141.
- Shannon, G., Crooks, K. R., Wittemyer, G., Fristrup, K. M. and Angeloni, L. M. 2016. Road noise causes earlier predator detection and flight response in a free-ranging mammal. - *Behav. Ecol.* 00: 1–6.
- Shochat, E. and State, A. 2007. Credit or debit? Resource input changes population dynamics of city- slicker birds. - *Oikos* 3: 622–626.
- Slabbekoorn, H. and Ripmeester, E. A. P. 2008. Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. - *Mol. Ecol.* 17: 72–83.
- Slabbekoorn, H. and Peet, M. 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. - *Nature* 424: 267.
- Stahl, J., Tolsma, P. H., Loonen, M. J. J. E. and Drent, R. H. 2001. Subordinates explore but dominants profit: Resource competition in high arctic barnacle goose flocks. - *Anim. Behav.* 61: 257–264.
- Stamps, J. 1994. Territorial behavior - testing the hypotheses. - *Adv. study Behav.* 23: 173–232.
- Velha, V. 2016. Perfil socioeconômico por bairro. Vila Velha: Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão. 1-113.
- Weng, Y. C. 2007. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to

urbanization. - Landsc. Urban Plan. 81: 341–353.

Zanon, M. S., Vale, M. M. and Alves, M. A. S. 2015. Missing for the last twenty years : the case of the southernmost populations of the Tropical Mockingbird *Mimus gilvus* (Passeriformes : Mimidae). - Zoologia 32: 1–8.

Zwart, M. C., Dunn, J. C., McGowan, P. J. K. and Whittingham, M. J. 2016. Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. - Behav. Ecol. 27: 101–108.

CAPÍTULO II

Este capítulo segue a norma da revista *The Auk*

Varição geográfica no canto complexo de uma ave neotropical ocorre entre regiões e a curtas distâncias

Rayane dos Santos Oliveira^{1,2}, Pedro Diniz^{1,2}, Ana Carolina Stabilito², Charles Duca^{1,2}

¹ Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, Universidade Vila Velha, ES, Brasil.

² Laboratório de Ecologia de Populações e Conservação, Universidade Vila Velha, ES, Brasil.

*Corresponding author: raay.santoso@gmail.com

RESUMO

Os processos envolvidos na variação geográfica do canto das espécies de aves ainda não são totalmente compreendidos, principalmente processos envolvendo a modificação da paisagem por ação antrópica. O Sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*) é uma espécie Oscine com um amplo repertório vocal e uma ampla distribuição. Em nosso estudo, os cantos de diferentes indivíduos, obtidos por meio de coleções acústicas e gravações pessoais, foram comparados e correlacionados em relação às distâncias geográficas, diferenças climáticas e diferenças ambientais de acordo com o grau de urbanização. Testamos a hipótese da adaptação acústica e do isolamento cultural numa escala macrogeográfica e em três macrorregiões ao longo da distribuição do *M. gilvus* buscando entender se há e qual fator está envolvido na diferença do canto entre as populações. Nossos resultados corroboram parcialmente com a hipótese do isolamento cultural, com indivíduos cantando similarmente em curtas distâncias, sugerindo a presença de microdialetos em macrorregiões, mas não em uma escala macrogeográfica. Nossos resultados não corroboram com a hipótese da adaptação acústica, uma vez que não encontramos efeitos do grau de urbanização e de parâmetros climáticos na diferença do canto no *M. gilvus*. Porém, a distinção entre macrorregiões isoladas por uma barreira vegetal e a semelhança entre macrorregiões mais próximas podem indicar uma deriva genética e cultural. Nossos resultados sugerem que fatores sociais (como a seleção intrasexual ou a pressão de outros machos) possam selecionar a presença de microdialetos numa determinada macrorregião, enquanto a presença de fluxo gênico e cultural possam indicar as diferenças entre macrorregiões.

Palavras-chave: Agressividade, urbanização, *Mimus gilvus*, hipótese da agressão urbana

ABSTRACT

The processes involved in the geographic variation in the song of bird species are not yet fully understood, especially those involving the modification of the landscape by anthropic action. The Tropical Mockingbird's (*Mimus gilvus*) is an Oscine species with a wide vocal repertoire and wide distribution. In our study, the songs of different individuals, obtained through acoustic libraries and personal recordings, were compared and correlated in relation to geographical distances and climatic and environmental differences according to the degree of urbanization. We tested the hypothesis of acoustic adaptation and cultural isolation on a macrogeographic scale and across three macroregions along the Tropical Mockingbird's distribution, trying to understand and what factors are involved in differences in song structure between populations. Our results partially corroborate the hypothesis of cultural isolation, as individuals sing similarly over short distances, suggesting the presence of micro-dialects across macroregions, but not a macrogeographic scale. Our results do not corroborate the hypothesis of acoustic adaptation, since we did not find effects of the degree of urbanization and climatic parameters in the geographic variation on song of Tropical Mockingbirds. However, the song differences between macroregions isolated by a vegetation barriers and the similarity between macroregions geographically closer may indicate a genetic and cultural drift. Our results suggest that social factors (such as intrasexual selection or pressure from other males) may select for the occurrence of micro-dialects, while the presence of gene and cultural flow may indicate the differences between macroregions.

Keywords: Urbanization, acoustic adaptation hypothesis, cultural isolation, *Mimus gilvus*

INTRODUÇÃO

A variação geográfica no canto é comum em espécies de aves (McGregor et al. 1988, Benedict e Najar 2019), mas os processos subjacentes a essa variação ainda não são totalmente compreendidos (Peake e McGregor 1999, Wei et al. 2015, García et al. 2018). Essa variação no canto normalmente ocorre após o isolamento entre as populações, podendo ocorrer devido à distância ou por barreiras físicas (Parker et al. 2012) de origem natural ou antrópica. O isolamento geográfico, nesse caso, age por meio do bloqueio do fluxo de aprendizado (principalmente no grupo *Oscines*, subordem Passeri) e do fluxo gênico, acumulando as diferenças entre as populações devido à ausência de contato (Wei et al. 2015, Pang-Ching et al. 2018). A partir de então, mecanismos seletivos (seleção sexual e seleção natural) e não seletivos (isolamento por distância ou barreira geográfica) podem atuar direta ou indiretamente na evolução do canto, resultando em padrões gradual ou discreto (dialetos) de variação geográfica no canto (Podos e Warren 2007).

A deriva genética e a deriva cultural estão associadas a mecanismos não seletivos de variação geográfica no canto podendo levar a diferenças nas cópias dos cantos (Grant e Grant 1996; Podos et al. 2004). A primeira modifica o canto a um nível genético, enquanto a segunda ocorre quando as diferenças na expressão do canto ocorrem por diferenças nos padrões de aprendizado. Esses processos podem resultar em dialetos, i.e. variações regionais no canto (Ramsay e Otter 2015). A seleção sexual ocorre quando os cantos são selecionados de acordo com a competição intrasexual ou escolha de parceiros (Spencer et al. 2005, Krištofik et al. 2014) e está associada a mecanismos seletivos promotores de variação geográfica no canto. Nesse caso, a seleção de parceiros pode resultar em diferenças nos cantos em uma determinada escala devido a permanência do isolamento cultural e genético (Podos e Warren 2007). Além disso, o ambiente também pode ter um papel importante na variação do canto, uma vez que aves podem modificar o canto de acordo com características do local (e.g. clima, urbanização), a fim de maximizar a transmissão do sinal (Morton 1975, Botero et al. 2009a).

Neste estudo focamos nas hipóteses do isolamento cultural (HIC) e da adaptação acústica (HAA) que tentam explicar a variação geográfica do canto (Kenyon et al. 2017). Na HIC, a distância entre os indivíduos é um fator determinante devido a falta de precisão no processo de aprendizagem com o aumento da distância entre as populações (Lemon 1975; Graham et al. 2018), já a HAA considera um mecanismo seletivo pelo qual indivíduos buscam maximizar a eficiência da transmissão do sinal no ambiente (Morton

1975). Por exemplo, ambientes com maior densidade de obstáculos (e.g. florestas e construções humanas) atenuam a propagação do som, enquanto ambientes abertos possuem menos estruturas que bloqueiam a propagação do som (Job et al. 2016; Kuehne et al. 2013). Além disso, fatores climáticos como a precipitação, velocidade do vento e temperatura podem alterar a propagação do som e, conseqüentemente, a emissão de canto nas aves (Graham et al. 2018).

Um caso particular e recente da HAA é a urbanização. A urbanização envolve a redução de áreas naturais em consequência da expansão de áreas urbanas (Vincze et al. 2017), tendo como resultado o surgimento de situações inovadoras para diversas espécies (Kuehne et al. 2013). Por exemplo, ambientes com muitos obstáculos podem favorecer a transmissão de sons graves, duradouros e complexos quando comparados a ambientes abertos (Morton 1975, Kirschel et al. 2009). Por outro lado, ambientes com elevado ruído antrópico favorecem a transmissão de sons agudos, duradouros e menos complexos, uma vez que as aves tendem a evitar o mascaramento espectral com esse tipo de ruído de baixa frequência (Slabbekoorn e Peet 2003, Brumm 2004). Por esse motivo, é frequentemente encontrado que os indivíduos de uma mesma espécie que vivem em ambientes com alto grau de urbanização podem emitir cantos distintos daqueles de ambientes rurais ou naturais (Brumm e Todt 2002).

O Sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*) é uma espécie de Oscines com ampla distribuição que se estende desde Veracruz e Oxaca no México ao Rio de Janeiro no Brasil (Botero et al. 2007). A espécie é fortemente associada aos ambientes abertos, especialmente ambientes costeiros (Zanon et al. 2015). O canto do *M. gilvus* é executado apenas pelo macho e composto por menos de dez sílabas, podendo possuir três ou mais sílabas distintas em um único canto (Botero et al. 2007). As sílabas são combinadas de maneira a gerar um vasto repertório, com uma média de 130 tipos diferentes de canto (Botero et al. 2007). As mudanças ambientais oriundas de ações humanas que ocorrem na região litorânea, como a rápida urbanização e o aumento populacional humano (Burak et al. 2004, Andrés et al. 2017) fazem com que haja constante perda da vegetação e aumento de construções humanas na área em que a espécie habita podendo afetar o seu comportamento. Desta forma modificar a paisagem é um evento recorrente e que pode afetar o canto do *M. gilvus*.

Este estudo tem como objetivo investigar a contribuição do ambiente (clima e urbanização) e da distância entre as populações sobre o canto do *M. gilvus*, testando a hipótese da adaptação acústica e do isolamento cultural numa escala macrogeográfica ao

longo de toda a distribuição da espécie. Assumimos como pressupostos que áreas com estruturas predominantemente urbanas tem mais estruturas compactas, possuindo a característica de ambientes fechados (Morton 1975), e uma maior intensidade de ruído urbano (Slabbekoorn e Ripmeester 2008), em comparação às áreas naturais ou rurais, que seriam mais abertas e menos ruidosas. Esperamos que se a hipótese da adaptação acústica for verdadeira encontraremos uma relação positiva entre a diferença acústica e as diferenças ambientais entre as populações, enquanto se a hipótese do isolamento cultural for verdadeira encontraremos uma relação positiva entre a diferenças acústicas e a distância geográfica (tabela 1).

TABELA 1. Hipóteses e predições para as diferenças acústicas. As hipóteses não são mutuamente exclusivas (Adaptada de Graham et al. 2018).

Hipóteses	Predições
Adaptação Acústica*	Ocorrerá relação positiva significativa entre a diferença acústica e nas diferenças ambientais (como habitats ou ruído). O surgimento desse cenário surge devido à seleção ambiental da melhor transmissão do sinal
Isolamento Cultural	Ocorrerá uma relação positiva significativa entre a diferença acústica e a distância geográfica. Nesse cenário a divergência acústica surge por diferenças na seleção sexual ou social entre as populações

*O ruído aumentará a duração e a frequência acústica do canto e diminuirão a complexidade do canto em um ambiente urbano, enquanto as estruturas urbanas aumentarão a duração do canto, diminuirá a frequência e a complexidade do canto em ambiente urbano. Assim, se o efeito do ruído e da estrutura urbana igualmente modificarem o canto, esperamos encontrar uma anulação dos efeitos.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécie alvo, área de estudo e coleta de dados

O organismo modelo é o Sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*) pertencente à família Mimidae, comumente encontrado em ambientes abertos do México ao Brasil (Zanon et al. 2015). A espécie coloniza a maior parte das cadeias de ilhas da América Central associada a linhagem do sul do México (Lovette et al. 2012), enquanto que a pequena distinção das populações dessas ilhas sugere que o fluxo gênico mantém as populações conectadas (Hunt et al. 2001). Estudos sugerem que as populações das Antilhas são diferentes das populações da Venezuela e a ilha de Trindade (Trindade e Tobago). Além disso, a espécie vem sendo associada a uma ampla expansão de sua distribuição ligada à sua capacidade de ocupar áreas antropizadas e bordas florestais (Aguilar et al. 2016). Sua distribuição é associada a ambientes abertos, desde savanas até uma rara descrição no norte dos Andes do Equador (3.100 m de altitude) (Cisneros-Heredia e Henry 2004; Botero et al. 2007 - Figura 1). Deste modo, levando em conta a distinção genética e a

sugestão de populações distintas entre as populações do norte da América do Sul e as ilhas ao redor, classificamos nossa área total em três macrorregiões: América Central (AMC), Norte da América do Sul (NAS) e Litoral Leste da América do Sul (LAS) e a fim de verificar se há diferença entre essas regiões (Figura 1).

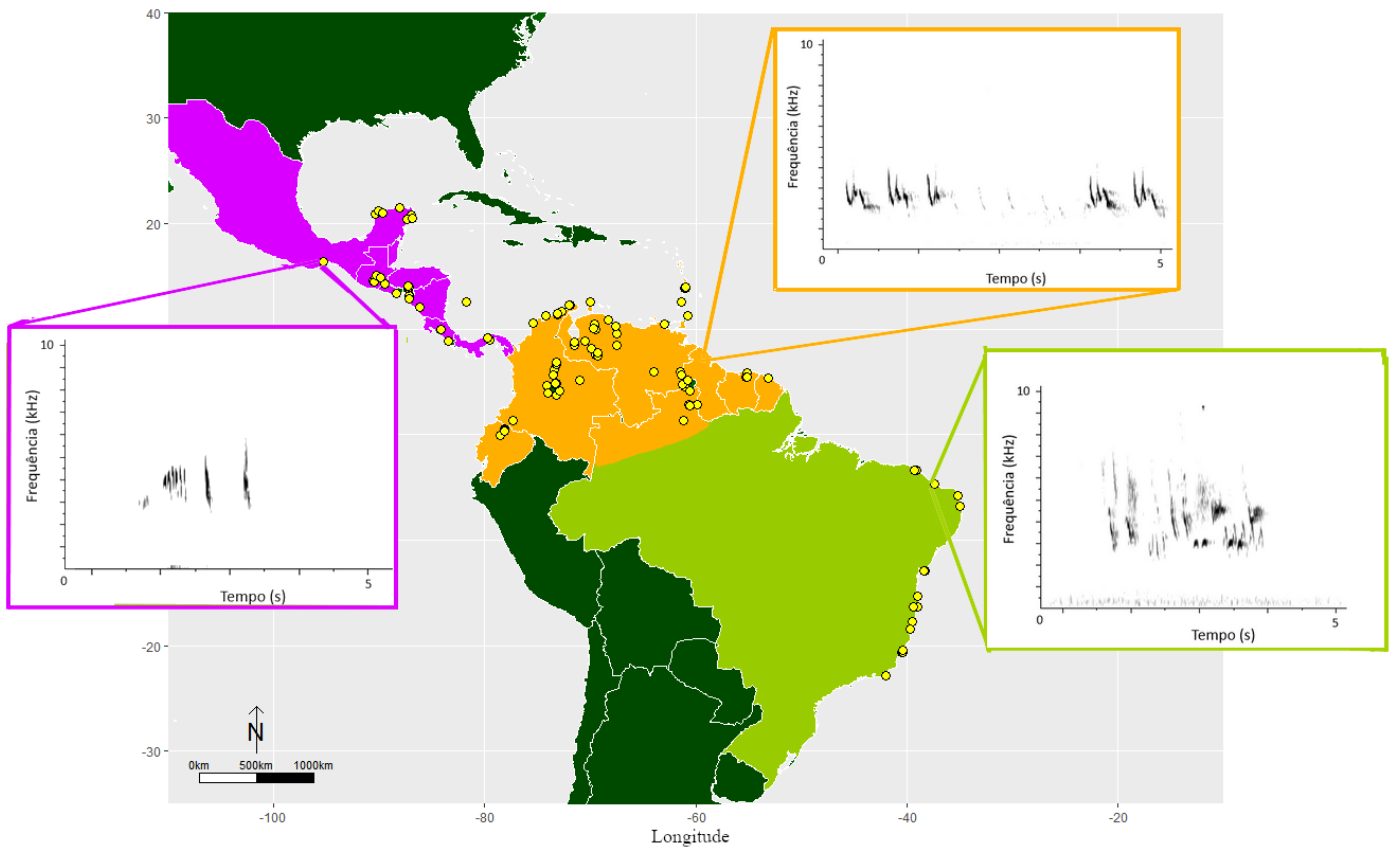


FIGURA 1. Espectrogramas de cantos do Sabiá-da-praia em três macrorregiões de sua distribuição. Em rosa a região da América Central (AMC), em laranja a região do Norte da América do Sul (NAS) e em verde o Litoral Leste da América do Sul (LAS). Os cantos são considerados semelhantes após análise a partir de um dendograma. Os pontos amarelos representam as coordenadas geográficas das gravações obtidas das coleções acústicas (Xeno-canto, Macaulay Library e Wikiaves).

A família Mimidae possui como característica marcante o canto versátil e harmônico com um amplo repertório acústico (Botero et al. 2009b). A espécie *M. gilvus* é considerada altamente territorialista (Brewer e MacKay 2001; Botero et al. 2007), com territórios bem definidos (~200 m de diâmetro) mantidos durante todo o ano (Botero e Vehrencamp 2007).

Obtivemos gravações de canto, com suas respectivas coordenadas geográficas e data de gravação, de arquivos sonoros de coleções *online* acessadas em julho de 2018, além de 4 gravações pessoais da macrorregião do Litoral Leste da América do Sul realizadas em agosto de 2018. As coleções *online* acessadas foram Xeno-Canto (<https://www.xeno-canto.org/>), Macaulay Library (<https://www.macaulaylibrary.org/>) e WikiAves (<http://www.wikiaves.com.br/>). Não consideramos para nossas análises arquivos de áudio que apresentavam coordenadas duvidosas (por exemplo, no meio de corpos d'água), que não apresentavam coordenadas, com coordenadas repetidas ou que poderiam ser do mesmo indivíduo, isto é, de uma mesma data (consideramos a mais recente). Além disso, desconsideramos áudios de baixa qualidade (baixa razão entre amplitudes de sinal e ruído), que apresentavam cantos de outras espécies e áudios com menos de 5 segundos de duração. Ao todo consideramos um total de 222 gravações.

Os dados climáticos de cada localidade foram obtidos no banco de dados WordClim (<http://worldclim.org>) com extração pelo Arcgis 10.2.2. Extraímos a média de 30 anos (1970-2000) com uma resolução espacial de aproximadamente 1 km dos valores de temperatura (°C), precipitação média anual (mm) e velocidade do vento (ms^{-1}), que consistem em variáveis que podem influenciar a composição do habitat e alterar o canto das aves (Graham et al. 2018).

Classificação da urbanização e análises acústicas

Utilizamos as coordenadas obtidas no item anterior para classificar o ambiente como natural ou urbano utilizando uma área circular de 1.000 m de diâmetro, a fim de abranger uma área grande o suficiente para mitigar possíveis erros de localidade da gravação. Utilizamos o Google Earth para capturar as imagens, ajustando para a data mais próxima possível da coleta para evitar mudanças históricas de habitat. Utilizamos somente dois níveis de classificação (natural e urbano), pois obtivemos poucas gravações em ambiente urbano ($n = 27$) e, logo, pequena variação nos valores de grau de urbanização. Consideramos como áreas urbanas as áreas com construções humanas, como estradas pavimentadas, prédios e casas, e como áreas naturais as áreas com vegetação e sem construções humanas.

Mensuramos os parâmetros acústicos utilizando o programa Raven Pro 1.5 e o programa R 3.5.3 com o pacote warbleR 1.1.14 (Araya-Salas e Smith-Vidaurre 2017). Primeiro, as gravações do Xeno Canto e WikiAves (em mp3) foram transformadas em WAV (taxa de amostragem = 44.1 kHz, 16 bits). Medimos complexidade do canto

(número distintos de sílabas em um canto), taxa de canto, tipos de sílabas e número de sílabas somente nos 10 primeiros cantos de todas as gravações, enquanto medimos a duração do canto, frequência média, entropia e pureza do sinal (adaptado Graham et al. 2018, Hill et al. 2018) em todos os cantos. As configurações para extração das variáveis acústicas foram: janela Blackman, frequência mínima = 1 kHz, frequência máxima = 15 kHz, comprimento da janela do espectrograma = 1024.

Análises estatísticas

Utilizamos uma matriz com a média dos parâmetros acústicos por indivíduo (N = 115) para testar nossas hipóteses. Obtivemos um total de 222 gravações do *M. gilvus*. Desse total, 115 foram analisadas acusticamente, pois 107 não atendiam aos critérios adotados anteriormente. Em relação aos cantos, excluímos aqueles que apresentavam uma baixa qualidade ou estavam sobrepostos com ruídos de frequências semelhantes, para que não houvesse interferência nas análises acústicas. Obtivemos um total de 1664 cantos, sendo uma média de 14,47 cantos por gravação (*i.e.* indivíduo) com um desvio padrão de 15,29.

Primeiro, combinamos os parâmetros acústicos (número de tipos de canto, número de tipos de sílaba, número de sílabas, taxa de canto, duração do canto, média da frequência, entropia e pureza do sinal; tabela 2) e os parâmetros climáticos (velocidade do vento, temperatura média e precipitação) em *scores* realizando uma Análises dos Componentes Principais (PCA) (uma para parâmetros acústicos e outra para parâmetros climáticos) com rotação varimax para PC's com mais de 2 componentes. Os números de componentes foram determinados pelo critério de Kaiser (autovalores > 1; Derryberry et al. 2018).

Para a PCA dos parâmetros acústicos (*pca.acus*; Figura 2) utilizamos 2 fatores que possuíam *scores* maiores que 1, sendo que estes explicaram 72% da variação nos dados originais (tabela 2). A PCA dos parâmetros climáticos (*pca.clim*) possuía apenas um *score* maior que 1 e por esse motivo somente um fator (*clim.pc1*) foi suficiente para explicar 56% da variação nos dados originais.

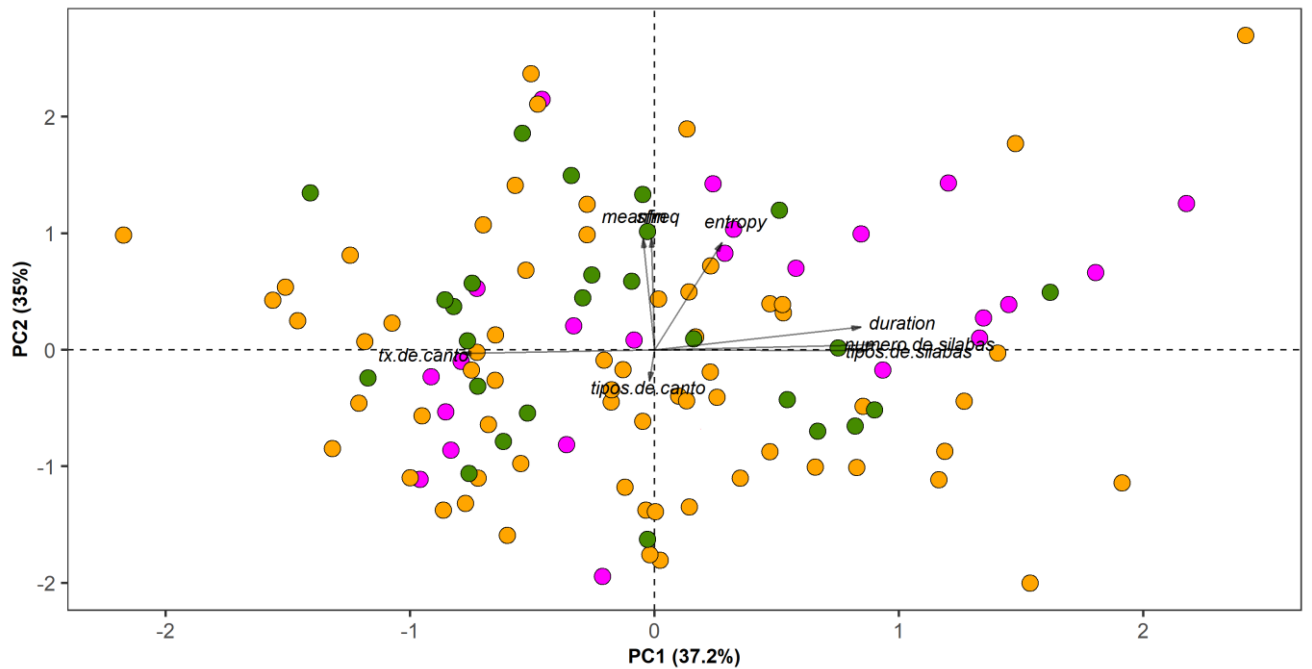


FIGURA 2. Análise dos componentes principais levando em conta a localidade de cada indivíduo. Círculos em rosa referem-se aos indivíduos da América Central (AMC), em laranja os indivíduos da América do Sul (AMS) e em verde os do Litoral Leste da América do Sul (LAS).

Consideramos como contribuintes das medições dos PC's os parâmetros originais que obtiveram *loadings* maiores que 0.6, conforme Koloff e Mennill 2011. Assim, consideramos que valores elevados de PC1 (definido como “PC complexidade”) indicam cantos mais complexos (maiores valores de tipos de sílaba, número de sílabas e duração do canto) e menor esforço de emissão dos cantos (baixos valores de taxa de canto), enquanto que valores elevados de PC2 (definido como “PC frequência acústica”) indicam cantos com maiores valores de frequência média e entropia, e menor pureza de sinal (tabela 2). As análises de componentes principais foram realizadas utilizando a função *principal* do pacote *psych* (Revelle 2018).

Varição cultural. Testamos a hipótese do isolamento cultural utilizando o teste de Mantel com o intuito de averiguar se indivíduos mais distantes possuem estruturas acústicas mais distintas. Esse teste utiliza duas matrizes de distâncias comparando as correlações com uma distribuição obtida aleatoriamente entre as linhas e as colunas das matrizes (Mantel 1967). Utilizamos uma matriz de distância euclidiana para a distância geográfica (lat.long) e a correlacionamos com a matriz de distância euclidiana dos *scores*

da *pca.acus* (permutação=999). Utilizamos o pacote *vegan* (Oksanen et al. 2019) com a função *vegdist* para realizar essa análise.

Adicionalmente, realizamos o teste de correlação espacial Moran I utilizando as mesmas matrizes (*latlong*, *pca.clim* e *pca.acust*) usadas no teste de Mantel. O teste de Moran I calcula a autocorrelação espacial a partir dos produtos dos desvios em relação à média. Se o valor de Moran for significativamente maior que o esperado os valores serão positivamente correlacionados no espaço, enquanto o oposto indicaria autocorrelação espacial negativa (Paradis and Schliep 2018). Utilizamos o pacote *ape* (Paradis e Schliep 2018) com a função *Moran.I* para realizar essa análise.

Repetimos essas análises separadamente para cada uma das macrorregiões, sendo: América Central (AMC; N = 24 indivíduos), Norte da América do Sul (NAS; N = 65) e Litoral Leste da América do Sul (LAS; N = 26).

Adaptação acústica. Testamos a hipótese da adaptação acústica utilizando um Modelo Linear Misto Generalizado (GLMM). Utilizamos como variáveis preditoras a matriz com os *scores* da PCA dos parâmetros acústicos (*pca.acus*), enquanto que os *scores* dos parâmetros climáticos, a macrorregião e o grau de urbanização foram utilizados como efeito fixo nos modelos. Assim, possuímos dois modelos em nosso estudo: o modelo referente a PC1 (modelo 1) e o modelo referente a PC2 (modelo 2). Incluímos em nosso modelo o efeito espacial, levando em conta os GLMM e as correlações espaciais. Utilizamos o pacote *SpaMM* (Rousset e Ferdy 2014) que fornece estimativas ajustadas dos parâmetros fixo e aleatório dos modelos mistos, incluindo os parâmetros de correlação espacial (Rousset 2019).

Realizamos um teste de razão de verossimilhança entre modelos aninhados utilizando a função *drop1* do pacote *car* (Fox e Weisberg 2019). Realizamos esse teste a fim de verificar quais termos poderiam ser removidos do modelo sem perda significativa de explicação. Todas as análises estatísticas foram analisadas no programa R e assumimos a estatística significativa como $\alpha \leq 0.05$.

RESULTADO

A análise de componentes principais não revela uma diferença marcante entre as estruturas do canto em relação a localidade das diferentes populações (Figura 2), além disso, apesar de ocorrer uma distribuição similar dos pontos entre os parâmetros, pode-se observar uma maior aglomeração dos pontos correspondentes à localização do litoral

brasileiro a esquerda da PC1. Os pontos referentes ao Norte da América do Sul, Litoral Leste da América do Sul e América Central estão bem distribuídos, não sendo observada nenhuma aglomeração marcante.

Variação cultural

As estruturas do canto (PC1 e PC2) não obtiveram uma correlação significativa com as matrizes de distância a um nível geral (Mantel Test, $p = 0,76$; Mantel Test, $p = 0,82$), mas quando avaliada em sub-regiões, o Litoral Leste da América do Sul (LAS) para o PC1 obteve um valor significativo (Mantel Test, $p = 0,003$; AMC: $p = 0,65$; NAS: $p = 0,99$), enquanto que para o PC2 não obteve-se correlação significativa (Mantel Test, $p = 0,59$; AMC: $p = 0,52$; NAS: $p = 0,81$). Logo, na região Litoral Leste da América do Sul, indivíduos mais próximos apresentam estruturas acústicas referentes a complexidade (PC1) mais semelhantes do que aqueles mais distantes.

Dentre os aspectos levados em consideração para o teste de Moran I (PC1, PC2, distâncias geográficas e cada uma das regiões), apenas o PC1 para a NAS e LAS e o PC2 para o geral e LAS foram significativas ($p < 0,05$). Todos os valores significativos foram maiores que o esperado indicando uma correlação positiva em curtas distâncias (tabela 2). Logo, há correlação espacial na análise geral e em sub-regiões específicas, tanto para parâmetros de complexidade quanto para parâmetros de frequência acústica do canto (Moran I; tabela 3). Indivíduos vizinhos em comparação com indivíduos distantes, no Norte da América do Sul e no Litoral Leste da América do Sul, possuem cantos com tipos de sílabas, taxas de canto, e duração de canto mais similares entre si. Já indivíduos mais próximos em toda a região de estudo (geral) e no LAS, quando analisados separadamente, apresentam uma maior similaridade na frequência média, entropia e pureza do sinal (tabela 2).

TABELA 2. Valores estimados para o índice de Moran I referente os dois componentes principais e os quatros locais considerados.

Variável Resposta	Geral			AMC			AMS			LBR		
	Observado	PD	p	Observado	PD	p	Observado	PD	p	Observado	PD	p
PC1	0,079	0,056	0,119	-0,043	0,103	0,994	0,178	0,084	0,020	0,202	0,116	0,037
PC2	0,118	0,058	0,028	-0,092	0,122	0,690	0,054	0,084	0,407	0,174	0,115	0,063

valor	-0,009	-0,043	-0,015	-0,04
esperado				

PD: Desvio Padrão sob a hipótese nula; Observado: O valor calculado Moran' I; p: O valor de p do teste;

Valor esperado: O valor esperado sob a hipótese nula. Valores em negrito são significativos.

TABELA 3. Variáveis e suas definições utilizadas para avaliar o comportamento acústico do Sábida-da-praia em relação aos diferentes tipos de ruído (Adaptado de Hill et al., 2018), incluindo os valores dos *loadings* da análise de componentes principais dos parâmetros acústicos da média dos cantos (N=115 indivíduos). Em negrito: loadings >0.6 considerados como contribuintes para os PC's.

Variável	Definição	Referência	PC1.acústico	PC2.acústico
Tipos de canto	Número de tipos de sílabas no canto	Botero and Vehrencamp, 2007 (adaptado)	-0,02	-0,27
Taxa de canto	Razão entre o número e o tempo de duração total dos cantos de um indivíduo	-	-0,79	-0,03
Tipos de sílabas	Tipos distintos de sílaba por canto	-	0,87	-0,01
Número de sílabas	Número total e sílabas por canto	-	0,9	0,05
Duração do Canto	Tempo total de duração do canto (s)	Lazerte et al., 2017	0,84	0,2
Entropia	Produto do tempo e espectral entropia	Araya-Salas and Smith-Vidaurre, 2017	0,28	0,92
Frequência Média	Média ponderada da frequência por amplitude (kHz)	Araya-Salas and Smith-Vidaurre, 2017	-0,05	0,96
Pureza do sinal	Planicidade de um espectro de frequência. Tom puro = 0 ruidoso = 1	Araya-Salas and Smith-Vidaurre, 2017	-0,01	0,96

Variável	Definição	Referência	PC1.acústico	PC2.acústico
Canto	Conjunto de sílabas separadas por 0,5 s de silêncio	Botero and Vehrencamp, 2007	-	-
Sílabas	Conjunto de elementos sonoros separados por 0,04 s de silêncio	Botero et al., 2009	-	-
Taxa do canto	Número de cantos / duração da gravação	-	-	-
Autovalores	-	-	3,32	2,45
Proporção da variância	-	-	0,37	0,35

Adaptação acústica

Não houve variação na complexidade do canto (PC1) em função do grau de urbanização (figura 3), clima (figura 4) e regiões analisadas (tabela 4; figura 5; grau de urbanização: LRT = 0,8916, $p = 0,3450$, clima: LRT = 0,4765, $p = 0,4900$, região: LRT = 2,9796, $p = 0,2254$). Em relação ao nosso modelo 2 (tabela 4), as estruturas do canto não variaram de acordo com o grau de urbanização (figura 3; LRT=0,518, $p = 0,3508$) e nem em relação ao clima (figura 4; LRT = 0,8705, $p = 0,3508$; tabela 5). Porém, essas estruturas variaram entre as sub-regiões geográfica (figura 5; LRT = 6,7276, $p = 0,0346$) sendo maior no Litoral Leste da América do Sul (Coeficiente \pm Erro Padrão[SE]_{NAS} = 0,61629 \pm 0,2791; Coeficiente \pm Erro Padrão[SE]_{AMC} = 0,5471 \pm 0,2224). Esse resultado indica que indivíduos nessa região apresentam uma maior frequência média, maior entropia e uma menor pureza no sinal do que em outras regiões.

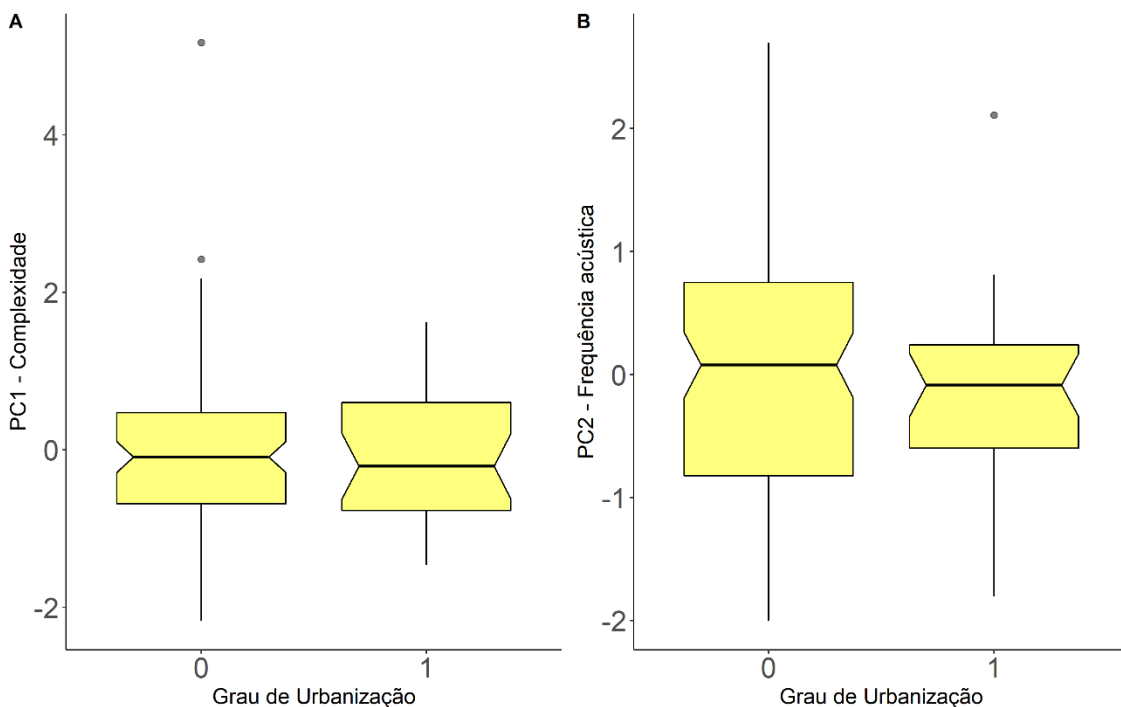


FIGURA 3. Relação entre o grau de urbanização (0 e 1) e os componentes principais. Em A temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 1 (PC1) representados pelos tipos de sílaba, número de sílaba, taxa de canto e duração do canto que neste trabalho são considerados como uma medida de complexidade do canto. Em B temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 2 (PC2) representados pela frequência média, entropia e pureza do sinal que aqui são considerados frequência acústica do canto. Ambas as relações são consideradas não significativas pela análise de modelo linear misto generalizado (GLMM).

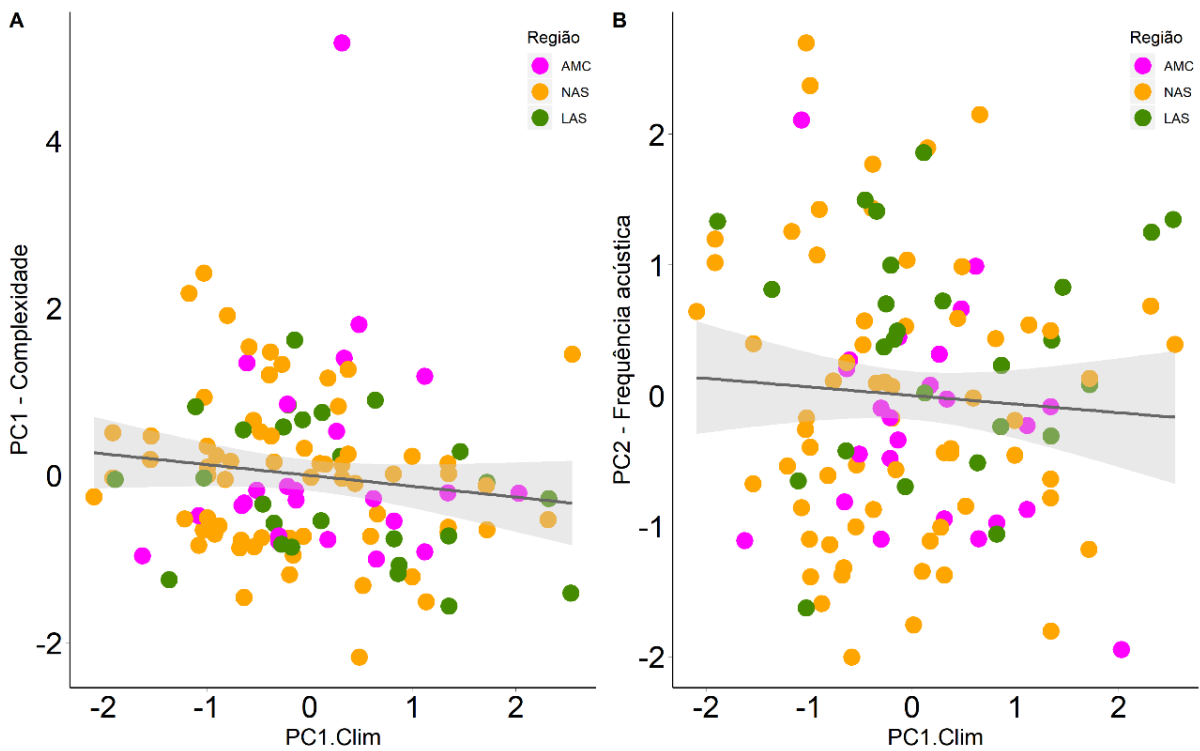


FIGURA 4. Relação entre o componente principal dos parâmetros climáticos (média da temperatura, velocidade do vento e precipitação) e os componentes principais. Cada cor está relacionada com uma sub-região amostrada no estudo. Em laranja é a sub-região do Norte da América do Sul, em verde a região do Litoral Leste da América do Sul e em rosa a região da América Central. Em A temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 1 (PC1) representados pelos tipos de sílaba, número de sílaba, taxa de canto e duração do canto que neste trabalho são considerados como uma medida de complexidade do canto. Em B temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 2 (PC2) representados pela frequência média, entropia e pureza do sinal que aqui são considerados frequência acústica do canto. Ambas as relações são consideradas não significativas pela análise de modelo linear misto generalizado (GLMM).

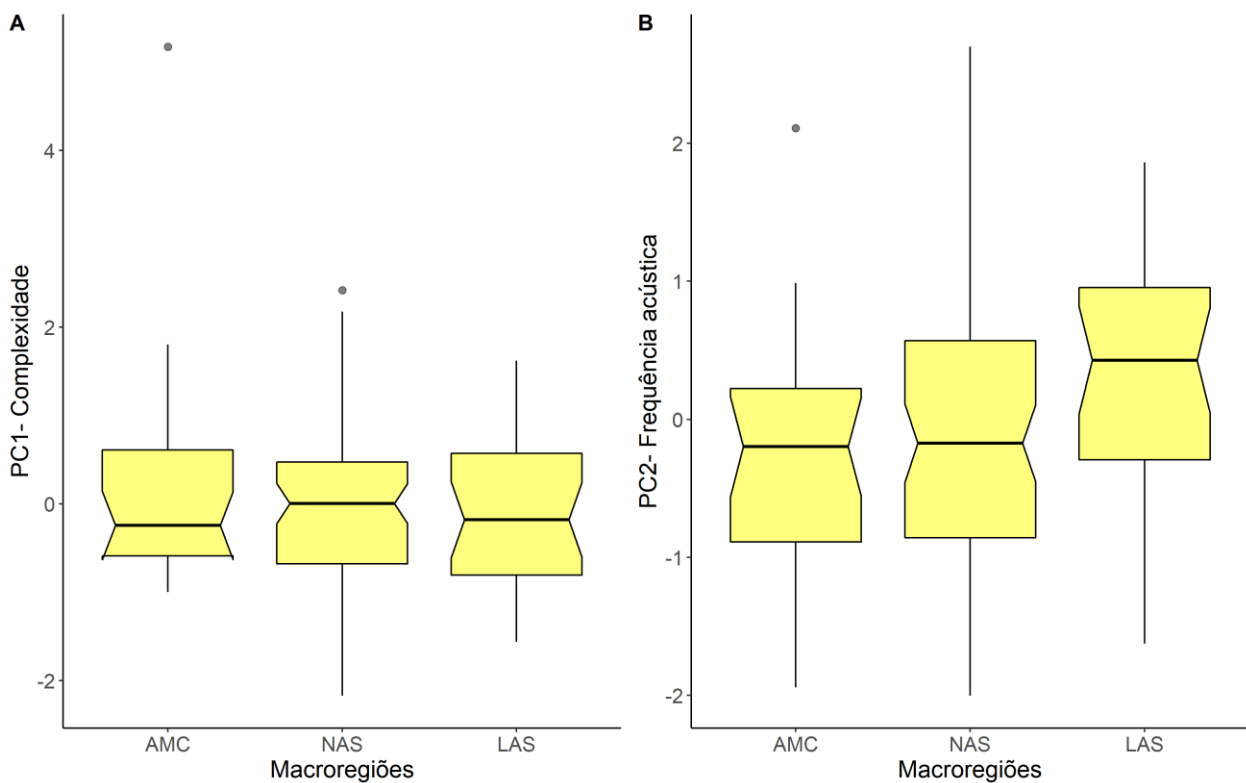


FIGURA 5. Relação entre as macrorregiões e os componentes principais. Em A temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 1 (PC1) representado pelo número de tipos de sílabas, número de sílabas, taxa de canto e duração do canto que neste trabalho são considerados como uma medida de complexidade do canto. Em B temos o grau de urbanização em relação ao componente principal 2 (PC2) representados pela frequência média, entropia e pureza do sinal que aqui são considerados uma medida de frequência acústica do canto. Somente a região LAS no PC2 foi significativamente distinta das outras sub-regiões (Coeficiente±Erro Padrão [SE]NAS= 0,61629 ± 0,2791; Coeficiente±Erro Padrão [SE]AMC = 0,5471 ± 0,2224).

TABELA 4. Modelo 1 (referente ao PC1 do canto) e os seus parâmetros, $\rho = 0,32466244$ e $\nu = 0,03847709$. Onde: gdubaixo = grau de urbanização baixo, clim.pc1 = componente principal dos dados climáticos, regiãoNAS = Região Norte da América do sul, regioLAS = Litoral Leste da América do Sul; ν = força de decaimento e ρ = velocidade de decaimento no efeito espacial.

formula: cant.pc1 ~ gdu + clim.pc1 + regio + Matern(1 x + y)			
	Estimado	Erro Padrão	t-valor
(Intercepto)	0,02	0,25	0,10
gdubaixo	0,21	0,22	0,94
clim.pc1	-0,08	0,10	-0,76
regiaoNAS	-0,24	0,23	-1,08
regiaoLAS	-0,48	0,27	-1,76

TABELA 5. Modelo 2 (referente ao PC2 do canto) e os seus parâmetros. $\rho = 2,598959$ e $\nu = 36,661872$. Onde: *gdubaixo* = grau de urbanização baixo, *clim.pc1* = componente principal dos dados climáticos, *regiãoNAS* = Região Norte da América do sul, *regiãoLAS* = Litoral Leste da América do Sul; ν = força de decaimento e ρ = velocidade de decaimento no efeito espacial.

formula: $\text{cant.pc2} \sim \text{gdu} + \text{clim.pc1} + \text{regiao} + \text{Matern}(1 x + y)$			
	Estimado	Erro Padrão	t-valor
(Intercept)	-0,21	0,25	-0,85
<i>gdubaixo</i>	0,052	0,22	0,23
<i>clim.pc1</i>	-0,094	0,10	-0,93
<i>regiãoNAS</i>	0,069	0,23	0,29
<i>regiãoLAS</i>	0,619	0,27	2,20

Em negrito valores significativos

DISCUSSÃO

Investigamos a contribuição da adaptação acústica e da variação cultural para a alteração no canto do *M. gilvus* ao longo de sua distribuição. Nossos resultados corroboram parcialmente a hipótese do isolamento cultural, uma vez que encontramos diferenças entre a macrorregião do Litoral Leste da América do Sul (LAS) para as estruturas referentes à complexidade do canto e diferenças a curtas distâncias, sugerindo a presença de microdialetos. Nossos resultados refutam a hipótese da adaptação acústica, uma vez que não encontramos distinção acústica em relação aos parâmetros ambientais e o grau de urbanização.

Os resultados no teste de Mantel sugere que indivíduos mais próximos possuem semelhanças estruturais do canto para parâmetros acústicos ligados a complexidade do canto (tipos de sílabas, número de sílabas, taxa do canto e duração do canto). Da mesma forma, os resultados significativos no teste de Moran, mostram que os padrões de similaridade no canto ocorrem a distâncias mais curtas, podendo ser consideradas uma microescala (<1 km). Por isso, indivíduos com valores semelhantes de tipos de sílabas, número de sílabas, taxa do canto e duração do canto estão mais próximos do que aqueles que apresentam essas estruturas mais distintas na região América Central (AMC) e no Norte da América do Sul (NAS). Em suma, indivíduos ao longo de toda a distribuição da espécie apresentam uma correlação espacial a curtas distâncias para estruturas que remetem à frequência acústica (frequência média, entropia e pureza do sinal). Indivíduos da região LAS apresentam tal agrupamento espacial para ambas as características. Esses resultados sugerem a presença de microdialetos no *M. gilvus*.

A variação em microescala pode ser explicada pela seleção sexual e por relações de competição intraespecífica (Slabbekoorn e Smith 2002), uma vez que as estruturas do canto, como a complexidade e duração, normalmente são alvo de escolha de parceiros e se correlacionam com a aptidão do indivíduo (Lambrechts e Dhondt 1985; Boogert et al. 2008). Por exemplo, indivíduos com cantos mais longos e complexos sobrevivem mais e obtêm maior sucesso reprodutivo nas espécies *Parus major* e *Taeniopygia guttata* (Lambrechts e Dhondt 1986; Boogert et al. 2008). Portanto, nossos resultados sugerem que o papel da seleção sexual seja importante para a variação geográfica, pois machos com duração, número e tipos de sílabas similares (que remetem a complexidade do canto; tabela 2) podem estar agrupados devido à forte seleção por parte das fêmeas com relação a estas características, conforme encontrado nas espécies *Taeniopygia guttata* e *Acrocephalus scirpaceus* (Woodgate et al. 2012; Krištofík et al. 2014).

Além disso, a qualidade do indivíduo também pode estar ligada à qualidade do território ou ao sucesso de permanência de machos nesses territórios (Potvin e Crawford 2015). Isso implicaria em uma diminuição na dispersão de indivíduos, resultando em um agrupamento de cantos mais semelhantes. Esse cenário é plausível para o *M. gilvus*, uma vez que esta espécie é considerada territorialista (Botero et al. 2007) e fiel ao sítio reprodutivo (Botero e Vehrencamp 2007). Um estudo referente a resposta do *M. gilvus* a variação no canto de um invasor simulado com o uso do playback encontrou que machos de territórios próximos podem compartilhar cerca de 70% de seus tipos de sílabas (Botero e Vehrencamp 2007), sugerindo que indivíduos podem compartilhar mais tipos de cantos com seus vizinhos do que com estranhos, o que apoia nossos resultados. Nossos resultados são semelhantes a outros estudos que sugerem que a variação do canto do *M. gilvus* em microescala seja influenciada pela adaptação social, em que indivíduos que emitem cantos diferentes do padrão da localidade sofrem penalidades sociais (Botero e Vehrencamp 2007).

Nossos resultados não corroboraram com a hipótese da adaptação acústica, uma vez que não encontramos efeito dos parâmetros ambientais (clima e grau de urbanização) nas características do canto do *M. gilvus*. Um resultado similar foi encontrado por Wei e colaboradores (2015), sugerindo que as diferenças geográficas nos chamados dos *Cuculus canorus* não são afetadas pelas diferenças de clima e altitude.

Encontramos uma diferença na frequência acústica (PC2; Modelo 2) entre as macrorregiões, sendo mais similar entre a NAS e AMC do que na LAS. Esses resultados indicam que a variação no canto entre as regiões possa ocorrer devido a permanência de fluxo gênico e cultural entre NAS e AMC e a presença de uma barreira geográfica (florestal) entre AMC + NAS e LAS. A proximidade entre as duas regiões e a barreira ali existente não seriam suficientes para isolar as

populações de *M. gilvus* dessas regiões. Estudos anteriores sugerem que indivíduos da família Mimidae podem se dispersar sobre corpos d'água e que existe pequena diferença genética entre espécies de Mimidae que habitam ilhas oceânicas (Hunt et al. 2001; Lovette et al. 2012), sugerindo que o fluxo gênico conecte indivíduos do NAS e AMC. As linhagens que apresentam variação geográfica oriundas de deriva cultural e deriva genética normalmente apresentam isolamento de populações descendentes (Podós e Warren 2007). Portanto, apesar da distância espacial entre os indivíduos de NAS e AMC, essa região pode ser considerado uma zona de hibridização, onde o contato entre os indivíduos possa anular o efeito, por exemplo, da deriva genética e da deriva cultural.

Em contrapartida, a diferença nas estruturas de frequência do canto entre NAS + AMC e a LAS pode ocorrer devido ao isolamento entre as populações, provavelmente causada pela barreira geográfica entre essas regiões: uma zona florestal (Floresta Amazônica) onde não há ocorrência de *M. gilvus* (Morton et al. 2004, Botero e Vehrencamp 2007). Assim, o efeito da deriva gênica e cultural seriam fatores que levaram a variação macrogeográfica do canto no *M. gilvus*.

Nossos resultados sugerem que o *M. gilvus* não modifica seu canto geograficamente com base nas diferenças ambientais, mas sugerem que a qualidade individual, a seleção intrasexual e/ou a pressão social possam ter influência na variação geográfica do canto. Além disso, uma igualdade entre a região da AMC e o NAS, mas uma diferença entre a região do LAS entre essas regiões sugere que a deriva gênica é um fator que pode levar a variação macrogeográfica do canto. Assim, este trabalho contribui para o entendimento do isolamento cultural e da adaptação acústica, porém ainda são necessários experimentos que possam confirmar essas hipóteses.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, J. M., J. F. Freile, and B. A. Tinoco (2016). Rapid colonization of Ecuador by the tropical mockingbird (*Mimus gilvus*). *Ornitologia Neotropical* 27:155–162.
- Andrés, M. De, J. M. Barragán, and J. G. Sanabria (2017). Relationships between coastal urbanization and ecosystems in Spain. *Cities* 68:8–17.
- Araya-Salas, M. and Smith-Vidaurre, G. (2017). WarbleR: an r package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods Ecol Evol.* 8:184-191.
- Benedict, L., and N. Najjar (2019). Review article The relationship between latitude , migration and the evolution of bird song complexity. *Ibis* 161:1–12.
- Boogert, N. J. B., L.-A. Giraldeau, and L. Lefebvre (2008). Song complexity correlates with learning ability in zebra finch males. *Animal Behaviour* 76:1735–1741.
- Botero, C. A., N. J. Boogert, S. L. Vehrencamp, and I. J. Lovette (2009). Climatic Patterns Predict the Elaboration of Song Displays in Mockingbirds. *Current Biology* 19:1151–1155.
- Botero, C. A., J. M. Riveros, and S. L. Vehrencamp (2007). Relative threat and recognition ability in the responses of tropical mockingbirds to song playback. *Animal Behaviour* 73:661–669.
- Botero, C. A., R. J. Rossman, L. M. Caro, L. M. Stenzler, I. J. Lovette, S. R. de Kort, and S. L. Vehrencamp (2009b). Syllable type consistency is related to age, social status and reproductive success in the tropical mockingbird. *Animal Behaviour* 77:701–706.
- Botero, C. A., and S. L. Vehrencamp (2007b). Responses of Male Tropical Mockingbirds (*Mimus gilvus*) To Variation in Within-Song and Between-Song Versatility. *The Auk* 124:185.
- Brewer, D & K MacKay (2001) *Wrens, dippers and thrashers*. Yale Univ. Press, New Haven, Connecticut, USA.
- Brumm, H. (2004). noise on song amplitude The impact of environmental in a territorial. *Journal of animal Ecology* 73:434–440.
- Brumm, H., and D. Todt (2002). Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Animal Behaviour* 63:891–897.

- Burak, S., E. Dogan, and C. Gazioglu (2004). Impact of urbanization and tourism on coastal environment. *Ocean & Coastal Management* 47:515–527.
- Cisneros-Heredia, D. F., and P.-Y. Henry (2004). New records concerning range and altitudinal distribution of the Tropical Mockingbird *Mimus gilvus* in Ecuador. *Cotinga* 21:74–75.
- Derryberry, E. P., N. Seddon, G. E. Derryberry, S. Claramunt, G. F. Seeholzer, R. T. Brumfield, and J. A. Tobias (2018). Ecological drivers of song evolution in birds: Disentangling the effects of habitat and morphology. *Ecology and Evolution* 8:1890–1905.
- Fox, J. and Weisberg S. (2019). *An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition*. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- García, N. C., L. N. Naka, and G. S. Cabanne (2018). Vocal variation in relation to genetic structure in an Atlantic forest woodcreeper (*Xiphorhynchus fuscus*): evolutionary and taxonomic implications. *Journal of Ornithology* 159:379–388.
- Graham, B. A., D. D. Heath, R. P. Walter, M. M. Mark, and D. J. Mennill (2018). Parallel evolutionary forces influence the evolution of male and female songs in a tropical songbird. *Journal of Evolutionary Biology* 31:0–2.
- Grant, B. R., and P. R. Grant (1996). High survival of Darwin’s finch hybrids: Effects of beak morphology and diets. *Ecology* 77:500–509.
- Hill, S. D., A. Aryal, M. D. M. Pawley, and J. I. Weihong (2018). So much for the city: Urban–rural song variation in a widespread Asiatic songbird. *Integrative Zoology* 13:194–205.
- Hunt, J. S., E. Bermingham, and R. E. Ricklefs (2001). Molecular Systematics and Biogeography of Antillean Thrashers, Tremblers, and Mockingbirds (Aves: Mimidae). *The Auk* 118:35–55.
- Irwin, D. E., S. Bensch, and T. D. Price (2001). Speciation in a ring. *Nature* 409:333–337.
- Job, J. R., S. L. Kohler, and S. A. Gill (2016). Song adjustments by an open habitat bird to anthropogenic noise, urban structure, and vegetation. *Behavioral Ecology* 27: 1734-1744.
- Kenyon, H. L., M. Alcaide, D. P. L. Toews, and D. E. Irwin (2017). Cultural isolation is greater than genetic isolation across an avian hybrid zone. *Journal of Evolutionary Biology* 30: 81-95.

- Kirschel, A. N. G., D. T. Blumstein, R. E. Cohen, W. Buermann, T. B. Smith, and H. Slabbekoorn (2009). Birdsong tuned to the environment: Green hylia song varies with elevation, tree cover, and noise. *Behavioral Ecology* 20:1089–1095.
- Koloff, J., and D. Mennill (2011). Aggressive responses to playback of solos and duets in a Neotropical antbird. *Animal Behaviour* 82:587–593.
- Krištofik, J., A. Darolová, J. Majtan, M. Okuliarová, M. Zeman, and H. Hoi (2014). Do females invest more into eggs when males sing more attractively? Postmating sexual selection strategies in a monogamous reed passerine. *Ecology and Evolution* 4:1328–1339.
- Kuehne, L. M., B. L. Padgham, and J. D. Olden (2013). The Soundscapes of Lakes across an Urbanization Gradient. *PLoS ONE* 8:1–12.
- Lambrechts, M., and A. A. Dhondt (1986). Male quality, reproduction, and survival in the great tit (*Parus major*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 19:57–63.
- Lemon, R. E. (1975). How birds develop song dialects. *Condor* 77: 385-406.
- Lovette, I. J., B. S. Arbogast, R. L. Curry, R. M. Zink, C. A. Botero, J. P. Sullivan, A. L. Talaba, R. B. Harris, D. R. Rubenstein, R. E. Ricklefs, and E. Bermingham (2012). Phylogenetic relationships of the mockingbirds and thrashers (Aves: Mimidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 63:219–229.
- McGregor, P. K., R. Verena, and D. G. C. Harper (1988). Song inheritance and mating in a songbird with local dialects. *Bioacoustics* 1:107–129.
- Mantel, N. (1967) The Detection of Disease Clustering and a Generalized Regression Approach. *Cancer Research* 27:209-220.
- Morton, E. S. (1975). Ecological Sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist* 109:17–34.
- Morton, E. S., B. J. M. Stutchbury, and W. H. Piper (2004). Cooperative breeding in the Tropical Mockingbird (*Mimus gilvus*) in the Panama Canal zone. *Ornitologia Neotropical* 15:417–421.
- Oksanes, J., Blanchet, F.G., Friendly M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R., O’Hara, R.B., Simpsin, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Szoecs., and Wagner, H. (2019). Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R->

project.org/package=vegan.

- Pang-Ching, J. M., K. L. Paxton, P. E. H., and A. A. Pack (2018). The effect of isolation, fragmentation, and population bottlenecks on song structure of a Hawaiian honeycreeper. *Ecology and Evolution* 8: 2076–2087.
- Paradis E. & Schliep K. 2018. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics* 35: 526-528.
- Parker K.A., Anderson M.J., Jenkins P.F., and Brunton D.H. 2012. The effects of translocation-induced isolation and fragmentation on the cultural evolution of bird song. *Ecol Lett.* 15:778–786.
- Peake, T. M., and P. K. McGregor (1999). Geographical variation in the vocalisation of the corncrake *crex crex*. *Ethology Ecology and Evolution* 11:123–137.
- Podos, J., S. K. Huber, and B. Taft (2004). Bird song: The interface of evolution and mechanism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35:55–87.
- Podos, J., and P. S. Warren (2007). The Evolution of Geographic Variation in Birdsong. *Advances in the Study of Behavior* 37:403–458.
- Potvin, D. A., and P. W. Crawford (2015). Song repertoire size, not territory location, predicts reproductive success and territory tenure in a migratory songbird. *Canadian Journal of Zoology* 93:627–633.
- Ramsay, S. M., and K. A. Otter (2015). Geographic variation in White-throated Sparrow song may arise through cultural drift. *Journal of Ornithology* 156: 763–773.
- Revelle, W. (2018). *Psych: Procedures for Personality and Psychological Research*, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, <https://CRAN.R-project.org/package=psych> Version = 1.8.12
- Rousset, F. (2019). An introduction to the spaMM package for mixed models. 1–43.
- Slabbekoorn, H., and M. Peet (2003). Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424:267-267.
- Slabbekoorn, H., and E. A. P. Ripmeester (2008). Birdsong and anthropogenic noise: Implications and applications for conservation. *Molecular Ecology* 17:72–83.

- Slabbekoorn, H., and T. B. Smith (2002). Bird song, ecology and speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 357:493–503.
- Spencer, K. A., J. H. Wimpenny, K. L. Buchanan, P. G. Lovell, A. R. Goldsmith, and C. K. Catchpole (2005). Developmental stress affects the attractiveness of male song and female choice in the zebra finch (*Taeniopygia guttata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 58:423–428.
- Vincze, E., G. Seress, M. Lagisz, S. Nakagawa, N. J. Dingemanse, and P. Sprau (2017). Does Urbanization Affect Predation of Bird Nests? A Meta-Analysis. *Frontiers in Ecology and Evolution* 5:1–12.
- Wei, C., C. Jia, L. Dong, D. Wang, C. Xia, Y. Zhang, and W. Liang (2015). Geographische Variation in den Rufen des Kuckucks (*Cuculus canorus*): Isolation durch Entfernung und Unterschiede zwischen Unterarten. *Journal of Ornithology* 156:533–542.
- Woodgate, J. L., M. M. Mariette, A. T. D. Bennett, S. C. Grif, and K. L. Buchanan (2012). Male song structure predicts reproductive success in a wild zebra finch population. 83:773-781.
- Zanon, M. S., M. M. Vale, and M. A. S. Alves (2015). Missing for the last twenty years : the case of the southernmost populations of the Tropical Mockingbird *Mimus gilvus* (Passeriformes : Mimidae). *Zoologia* 32:1–8.

CONCLUSÃO GERAL

Este trabalho teve como objetivo verificar se o comportamento agressivo e as estruturas do canto do *M. gilvus* se alteram em relação ao ambiente urbano. Para alcançar esses objetivos dividimos o trabalho em dois capítulos. O primeiro buscava investigar se indivíduos em ambientes urbanos eram mais agressivos quando comparados àqueles em áreas naturais, por meio do teste de duas hipóteses: 1. Os indivíduos seriam menos agressivos em áreas urbanas devido a baixa percepção do sinal sonoro em consequência ao alto ruído em regiões urbanizadas ou 2. Os indivíduos seriam mais agressivos em áreas urbanas, pois pressupomos que essas áreas possuem um maior agrupamento de recursos e indivíduos. O segundo capítulo buscava verificar a contribuição adaptação acústica (indivíduos buscam maximizar a transmissão do sinal) e da variação cultural (imprecisão no processo de aprendizagem com o aumento da distância entre os indivíduos) para a alteração no canto do *M. gilvus* ao longo de sua distribuição.

Entretanto, ambos os capítulos obtiveram uma resposta não significativa para parâmetros relacionados à urbanização. Isto é, encontramos que os indivíduos são igualmente agressivos em ambientes urbanos e naturais. Embora corroboramos parcialmente com a hipótese do isolamento cultural, pois indivíduos emitem cantos com estruturas acústicas distintas entre macrorregiões e em curtas distâncias; não corroboramos com a hipótese da adaptação acústica, pois não encontramos efeitos dos parâmetros ambientais nas estruturas do canto do *M. gilvus*. Associamos essas respostas principalmente à tolerância e facilidade da espécie em ocupar áreas antropizadas. Além disso, nossos resultados sugerem que outros fatores devem funcionar como pressões para a formação de microdialeto (semelhança no canto em curtas distâncias), como a qualidade individual, seleção intrasexual ou pressão social.

Este trabalho contribuí para entender que parâmetros como ruído ou o ambiente (urbano x não urbano) podem não estar ligados as diferenças na agressividade, mas indica que outros fatores podem influenciar nessa diferenciação. Neste estudo, não medimos como a qualidade e a quantidade de recurso alimentar em área urbana e a possível demanda energética inferior (comparada a ambientes naturais) pode afetar o Sabiá-da-Praia (ou outras espécies sinantrópicas) em relação ao seu comportamento agressivo, sendo este um fator que pode ser importante nessa questão. Logo, mesmo que neste estudo não encontramos diferença, acrescentar

essa nova medida em estudos futuros pode tornar mais evidente a relação entre a agressividade e distintos ambientes.

Não corroboramos a hipótese da adaptação acústica, porém recomendamos que futuros estudos filtrem de maneira mais precisa os parâmetros de urbanização utilizados, por exemplo utilizando ruído urbano como um parâmetro medido. Não evidenciamos como a relação entre a deriva gênica, o fluxo gênico e as diferenças do canto entre as populações podem afetar a variação geográfica do canto do *M. gilvus* podendo estes serem fatores relevantes para esta variação, uma vez que sugerimos que a presença da barreira de vegetação que separa as populações pode ter influência na diferenciação de microdialetos em determinada região.

Assim, salientamos a importância de futuros estudos persistirem em investigar a variação geográfica do canto de *M. gilvus* focando principalmente em fatores genéticos influenciam essa variação. Além disso, apesar de uma aparente conformidade com o meio urbano, vale salientar que há carência de estudos que avaliem a qualidade do hábitat e do alimento oferecido em ambientes urbanos e a sua influência no comportamento e aspectos da vida (e.g. sobrevivência e reprodução) do *M. gilvus*, podendo estes trabalhos serem importantes para o conhecimento e tomadas de decisões relacionadas à conservação da espécie.