

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**INFLUÊNCIA DO RÚIDO AMBIENTE EM CANÇÕES DE UM PÁSSARO OSCINE E  
UM SUBOSCINE DA MESMA POPULAÇÃO.**

Alfenas/MG

2014

**VERA LÚCIA CUNHA DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA DO RUÍDO AMBIENTE EM CANÇÕES DE UM PÁSSARO OSCINE E  
UM SUBOSCINE DA MESMA POPULAÇÃO.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia  
Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Meio Ambiente, Sociedade e  
Diversidade Biológica.

Orientador: Rogério Grasseto Teixeira da Cunha.

Co-Orientador: Robert Jonh Young

Alfenas/MG

2014

Oliveira, Vera Lúcia Cunha.

Influência do ruído ambiente em canções de um pássaro oscine e um suboscine da mesma população / Vera Lúcia Cunha de Oliveira. - Alfenas, 2014.

52 f. -

Orientador: Rogério Grasseto Teixeira da Cunha  
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2014.  
Bibliografia.

1. Bioacústica. 2. Ruído urbano. 3. Poluição sonora. 4. Vocalização animal. 5. Passeriformes. I. Cunha, Rogério Grasseto Teixeira da. II. Título.

CDD: 591.594



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ecologia e Tecnologia Ambiental

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3299-1419 (Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)  
www.unifal-mg.edu.br/ppgecoambiental/



VERA LUCIA CUNHA DE OLIVEIRA

“INFLUÊNCIA DO RUÍDO AMBIENTE EM CANÇÕES DE UM PÁSSARO OSCINE  
E UM SUB OSCINE DA MESMA POPULAÇÃO.”

A Banca examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de Mestre em  
Ecologia e Tecnologia Ambiental pela  
Universidade Federal de Alfenas. Área de  
Pesquisa: Meio Ambiente, Sociedade e  
Diversidade Biológica.

Aprovado em: 30/10/2014

Prof. Dr. Rogério Grasseto Teixeira da Cunha  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: [Assinatura]

Prof. Dr. Vinicius Xavier da Silva  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: [Assinatura]

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Ferreira Monticelli  
Instituição: FFCLRP-USP

Assinatura: [Assinatura]

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Alfenas pelo apoio oferecido.

Ao Prof. Dr. Rogério Grassetto Teixeira da Cunha, pela orientação, amizade, dedicação sem igual, conhecimentos transmitidos com muita paciência e pela confiança depositada na realização deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação pela colaboração relacionada às dúvidas com as documentações e prazos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia dos Vertebrados da PUC-Minas, em especial ao Laboratório de Bioacústica pela disponibilidade dos equipamentos.

Ao amigo Diogo Olivetti pela elaboração do mapa da área de estudo.

Ao Engenheiro acústico Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante, pelo apoio na utilização dos instrumentos, dicas e ideias indispensáveis à elaboração deste trabalho.

A minha mãe do coração Eta, pelo carinho e apoio afetivo.

Aos colegas de trabalho pela compreensão e paciência.

Enfim, a todos que de uma forma ou outra me apoiaram em mais esta etapa.

## RESUMO

O ruído antropogênico pode afetar a comunicação acústica das espécies através do mascaramento, com possíveis efeitos sobre o valor adaptativo. Assim, diversas espécies de grupos distintos apresentam diferenças em características de suas vocalizações ou em seu comportamento entre locais mais e menos ruidosos, permitindo-as sobreviver e reproduzir nos locais com mais ruído. As diferenças podem surgir por mudanças de curto (plasticidade vocal), médio (ontogênese) ou longo prazo (evolução). Para os mecanismos de curto e médio prazos, características intrínsecas das espécies podem interferir no processo, particularmente a forma pela qual ocorre o aprendizado. Dentro da ordem Passeriformes, os oscines apresentam aprendizado vocal, enquanto os suboscines não. Neste trabalho relatamos um estudo comparando as características das vocalizações de um oscine (corruíra, *Troglodytes musculus*) e um suboscine (bem-te-vi, *Pitangus sulphuratus*) de uma mesma população de cada espécie em dois locais de seu habitat com níveis de ruído distintos. Nós previmos que as vocalizações da corruíra apresentariam diferenças entre os locais, enquanto que as do bem-te-vi não, dadas as diferenças em plasticidade e aprendizado entre oscines e suboscines. Contrariando nossas previsões, praticamente nenhuma das características das vocalizações de ambas as espécies diferiu entre as áreas. Os resultados apontam para a possibilidade de que pode não haver adaptação acústica de curto prazo nestas espécies (ou que pode não haver diferenças entre oscines e suboscines ou aves que aprendem vs. as que não aprendem), embora haja diversas hipóteses alternativas.

Palavras-chave: Bioacústica. Ruído ambiental. Poluição sonora. Vocalização.

Subordem passeri. Plasticidade vocal.

## ABSTRACT

Anthropogenic noise may affect acoustic communication of species through masking, with potential fitness consequences. Several species from different groups then show differences in call features or behavior between noisier and quieter regions, allowing them to survive and reproduce in the noisy places. Differences may arise through short (call plasticity), medium (ontogenetic) or long-term (evolutionary) mechanisms. For the short and medium term mechanisms, intrinsic characteristics of the species may interfere with the modification of the signals, particularly the way that vocal learning occurs. Within the Passeriform order, the oscines show vocal learning, while the suboscines do not. Here we report a study comparing song characteristics of an oscine (southern house wren *Troglodytes musculus*) and a suboscine bird (great kiskadee *Pitangus sulphuratus*) of a single population at two different places of their habitat showing different noise levels. We predicted that the oscine bird would show differences in the calls between the regions, while the suboscine species would not show them, given the differences in song learning and plasticity between those groups. Contrary to our predictions, almost none of the song parameters of both the great kiskadee and the southern house wren differed between those areas. The results point to the possibility that there might not be short term acoustic adaptation in bird song features in these species (or that there might not be a difference between oscines and suboscines or learners vs. non-learners), but several alternative hypotheses exist.

Keywords: Bioacoustics. Environmental noise. Noise pollution. Vocalization.

Suborder passeri. Vocal plasticity.

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>09</b> |
| <b>2</b> | <b>DESENVOLVIMENTO</b> .....  | <b>12</b> |
| 2.1      | COMUNICAÇÃO ANIMAL .....  | 12        |
| 2.2      | INTERFERÊNCIAS DO AMBIENTE NO PROCESSO DE COMUNICAÇÃO ACÚSTICA .....  | 13        |
| 2.3      | IMPACTOS DO RUÍDO AMBIENTAL DE ORIGEM ANTRÓPICA NA VIDA SELVAGEM..... | 15        |
| 2.4      | MECANISMOS DE RESPOSTA AO RUÍDO DE ORIGEM ANTRÓPICA...                | 16        |
| 2.5      | CUSTO DO AJUSTAMENTO VOCAL.....                                       | 21        |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>3</b> | <b>ARTIGO</b> .....   | <b>29</b> |
|          | <b>Abstract</b> .....   | <b>30</b> |
|          | <b>Resumo</b> .....   | <b>31</b> |
| 1.       | <b>Introduction</b> .....   | <b>32</b> |
| 2.       | <b>Material and Methods</b> .....                                     | <b>35</b> |
| 3.       | <b>Results</b> .....  | <b>40</b> |
| 4.       | <b>Discussion</b> .....   | <b>40</b> |
|          | <b>Acknowledgements</b> .....   | <b>43</b> |
|          | <b>References</b> .....   | <b>44</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A recente urbanização têm causado diversas dificuldades às espécies animais. Um exemplo é a poluição sonora, que provoca modificações no ambiente acústico, as quais podem afetar a comunicação acústica de espécies animais, pela degradação e a atenuação dos sinais sonoros, podendo impactar a fauna de diferentes maneiras, além da influência na transmissão das emissões sonoras, provocando interferência em muitos aspectos da vida selvagem (atração, escolha de parceiros sexuais, detecção de predadores e defesa territorial) (KATTI; WARREN, 2004; PATÓN et al., 2011; SLABBERKOORN; PEET, 2003).

Porém, muitas espécies animais, inclusive de aves, conseguem reproduzir e sobreviver em ambientes ruidosos. Uma explicação para tal fato seria a plasticidade que facilitaria o ajuste vocal, reduzindo o mascaramento (BRUMM; SLABBERKOORN, 2005; ENDLER, 1993; WILEY, 1994).

Os ajustes podem ocorrer em diversas características. Por exemplo, com relação à amplitude, podemos observar seu aumento em resposta à elevação da intensidade do ruído (efeito Lombard), aumentando a eficiência da sinalização acústica, fenômeno conhecido também em seres humanos (MANABE; DOOLING, 1998).

Quando levamos em consideração a frequência das canções, o ruído antropogênico pode mascarar as emissões sonoras, especialmente as de frequências mais baixas (1-2 kHz), uma vez que o ruído ambiental é predominantemente de baixa frequência (MENDES, 2010; WOOD; YEZERINAC, 2006). Algumas aves, por exemplo, vivendo em ambientes urbanos, podem modificar suas canções, em particular as porções de baixa frequência, elevando-as (p. ex. WOOD; YEZERINAC, 2006). Os animais podem ainda alterar outras características das vocalizações (duração, repetição de sílabas etc. ou apresentar mudanças comportamentais (alterações nos horários das vocalizações, por exemplo).

Wood e Yezerinac (2006) propuseram algumas hipóteses alternativas, que não se excluem mutuamente sobre como estes ajustes poderiam surgir: uma resposta de curto prazo; adaptação ontogenética, ou seja, ajuste através da aprendizagem de vocalizações ou partes de vocalizações que são melhor

transmitida no ambiente (RABIN; GREENE, 2002); por fim, estes ajustes podem ser resultado de mudanças genéticas em populações de aves urbanas (evolução) (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006; SLABBEKOORN; SMITH, 2002). Ainda, os ajustes vocais são mais prováveis de ocorrer em uma característica da vocalização (amplitude, frequência ou de tempo) em que a espécie já apresenta uma maior variabilidade na sua canção (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006).

Como é recente a presença do ruído urbano, não é certo que os ajustes vocais observados em todas as espécies tenham se originado somente de forma evolutiva, embora esta possibilidade não deva ser excluída (WARREN et al., 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006).

Em relação aos outros dois mecanismos (ontogenético e resposta de curto prazo), a espécie que tem o canto aprendido tende a possuir um repertório maior, possuindo em tese um leque maior de canções menos afetadas pelo ruído para serem selecionadas (NASCIMENTO, 2007) e maior habilidade para perceber o mascaramento e alterar suas vocalizações (NORDEEN; NORDEEN, 1992; OKANOYA; YAMAGUCHI, 1997). Assim, dentro da ordem Passeriformes, o grupo dos oscines, com o canto baseado na aprendizagem teria maior capacidade de ajuste que os membros pertencentes aos suboscines, que possuem o canto inato. No entanto, existe ainda a dúvida se as espécies de suboscines também não poderiam ajustar as suas canções às mudanças do ambiente (CATCHPOLE; SLATER, 2008; KROODSMA, 1989; RÍOS-CHELÉN et al., 2012).

Apesar de um grande avanço no campo da bioacústica recentemente, existem ainda algumas questões a serem esclarecidas referentes à interferência do ruído ambiental no sistema de comunicação animal e as respostas das espécies, especialmente as aves, a esta interferência. Entendendo melhor como algumas espécies conseguem permanecer e reproduzir em ambientes ruidosos e outras são excluídas de tais ambientes. As respostas de curto prazo merecem atenção, pois quando se trata de ambientes antrópicos, as mudanças que ocorrem em decorrência do ruído são muito rápidas, necessitando de uma resposta também rápida da espécie para permanecer em tais ambientes.

Sendo a comunicação ligada a eventos da vida da espécie que influenciam sua sobrevivência, os responsáveis pela conservação e gestores públicos devem atentar para este assunto. O correto entendimento de como o ruído ambiental interfere na comunicação animal pode auxiliar nas suas tomadas de decisão.

Podem, por exemplo, buscar alternativas no sentido de limitar o impacto da poluição sonora sobre a vida animal e assim definir parques e reservas ambientais mais efetivos para a conservação das espécies.

Em nosso trabalho verificamos o efeito do nível de ruído ambiental de origem antrópica sobre características das vocalizações das espécies *Troglodytes musculus* (oscine) e *Pitangus sulphuratus* (suboscine), em uma escala pequena de espaço e tempo, espaço contínuo e nas mesmas populações, identificando possíveis diferenças entre os chamados emitidos por animais habitando locais com níveis de ruídos distintos e possíveis divergências nas respostas de oscine e suboscines.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Na tentativa de contribuir com os conhecimentos referentes à influência do ruído ambiental no sistema de comunicação animal, o presente trabalho verifica o efeito do nível de ruído ambiental de origem antrópica sobre características das vocalizações das espécies *Troglodytes musculus* (oscines) e *Pitangus sulphuratus* (suboscines). O trabalho foi conduzido em um único ambiente e com a mesma população de cada espécie, a fim de testar hipóteses sobre possíveis divergências nas respostas de curto prazo de oscines e suboscines, dadas as diferenças na ontogenia dos cantos das espécies destes dois grupos. É especialmente importante entender como as aves, para as quais a comunicação acústica tem grande importância, respondem às alterações sonoras de seus habitats, principalmente as de origem humana. Tal conhecimento irá colaborar para a preservação das espécies do grupo, particularmente daquelas que podem ser mais afetadas por tais mudanças acústicas e em um melhor planejamento de parques e reservas ambientais.

### 2.1 COMUNICAÇÃO ACÚSTICA

Nos animais, existem basicamente dois tipos de emissões sonoras: as vocalizações e a produção dos sons não vocais (MARQUES, 2008). Na primeira, os sons são produzidos por vibração de órgãos vocais específicos, como os presentes na laringe dos mamíferos ou na siringe das aves (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Já os sons não vocais são produzidos de uma diversidade de maneiras por movimentação ou vibração de outras partes do corpo ou de elementos do ambiente, através de ação do animal, como assobios ou as batidas com o pé de certos roedores, e o crocitar dos urubus, respectivamente (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011).

Estas emissões sonoras são denominadas de fonte biótica de sons. Outras duas fontes básicas de som são a geológica (sons produzidos por elementos abióticos do ambiente, tais como o barulho de ondas ou de chuva) e a antrópica

(ruídos e sons produzidos pelas atividades humanas) (PIERETTI et al., 2011; PIJANOWSKI, et al., 2011).

No caso da fonte biótica, a maioria dos sinais sonoros produzidos pelos animais, qualquer que seja a natureza da emissão, são manifestações comportamentais, estando envolvidas no processo de comunicação entre indivíduos (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011, ver HAUSER, 1996 para uma revisão geral do assunto do ponto de vista evolutivo).

Porém, em termos biológicos, necessitamos considerar as consequências deste processo. Assim, o fenômeno da comunicação pode ser definido, para estudos biológicos, como o processo em que emissores utilizam sinais ou ações capazes de produzir modificações no comportamento daqueles que os captam, os receptores (KREBS; DAVIES, 1996; porém BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011, e HAUSER, 1996 ressaltam a variedade de conceitos e definições de comunicação).

Quando estamos tratando de sinais sonoros, tais mudanças comportamentais podem ocorrer pelas informações que os sinais podem conter. Os sinais acústicos podem carregar informações referentes ao ambiente (presença de predadores, disponibilidade de recursos alimentares etc.), a identidade do vocalizador (tal como seu grupo social, idade, sexo, identidade individual), ou sobre características do emissor (seu tamanho corporal, habilidade, hierarquia ou estado de saúde, entre outras) (HAUSER, 1996).

O sinal pode conter ainda informações sobre o estado motivacional do emissor, conforme sugerido por Morton (1977), que propôs existir uma relação entre a frequência (e outras características estruturais) do som e o grau de agressividade. Assim, as vocalizações com frequências mais altas e tonais indicariam motivação para aproximação e afinidade, enquanto os sons com baixa frequência e ruidosos sinalizariam agressividade e repulsa.

Considerando as informações presentes nas emissões sonoras, as alterações comportamentais que os sons produzem nos receptores e a importância destas alterações para o próprio emissor, a comunicação acústica é essencial para uma grande quantidade de espécies. Ela é empregada em vários contextos, como proteção contra predadores, alimentação, reprodução (escolha e localização de parceiros), comunicação entre pais e filhotes e exibições agonísticas, entre outras (BLUMSTEIN; FERNÁNDEZ-JURICIC, 2010 e BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011).

## 2.2 INTERFERÊNCIAS DO AMBIENTE NO PROCESSO DE COMUNICAÇÃO ACÚSTICA

No entanto, em todos os casos de comunicação acústica, o som, antes de chegar ao receptor, transita pelo ambiente, e este o modifica principalmente através de dois processos, a atenuação, que é a redução de intensidade, e a degradação, que corresponde à diminuição da fidelidade (BLUMSTEIN; FERNÁNDEZ-JURICIC, 2010; MORTON, 1975; RABIN; GREENE, 2002). Estas alterações, por sua vez, podem influenciar o processo de comunicação (WILEY; RICHARDS, 1982). Outra possível fonte de interferência no processo de comunicação é a presença de ruídos, que mascaram o sinal emitido, interferindo na sua detecção e reconhecimento (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005; WILEY; RICHARDS, 1982). Estas “interferências” do ambiente tornam-se particularmente relevantes pelo fato de muitos sistemas de comunicação acústica serem utilizados no contexto reprodutivo (para repelir competidores e/ou atrair o sexo oposto, por exemplo). Assim, elas podem constituir-se em pressões seletivas para maximizar o processo de comunicação, atuando sobre o sinal em si e sobre o comportamento ou fisiologia do emissor, bem como do receptor como em Witte et al. (2005).

De fato, do lado do emissor, tem sido sugerido que os sinais vocais sejam adaptados para melhor transmissão no habitat em que determinada espécie vive, de acordo com as características bióticas e abióticas do meio que interferem no processo de comunicação, o que ficou conhecido como hipótese da adaptação acústica (BLUMSTEIN; FERNÁNDEZ-JURICIC, 2010). Por exemplo, observou-se que o espectro de frequência é maior em ambientes mais abertos, onde o mascaramento sobre o canto ocorre principalmente pelas flutuações irregulares de intensidade devida a fortes ventos (MORTON, 1975). Além disso, verificaram-se adaptações à maior quantidade de reverberações existentes em florestas, onde existe maior quantidade de superfícies dispersoras do som, capazes de influenciar na transmissão dos sinais (BADYAEV; LEAF, 1997). Pode-se dizer que, de certa forma, em condições naturais, as vocalizações estariam assim “sintonizadas” de modo a permitir melhor transmissão no ambiente ou, em outras palavras, que os animais conseguirão comunicar-se através de suas vocalizações a uma distância dependente das características do meio no qual se encontram (taxa de atenuação

do som, amplitude do ruído de fundo etc.), bem como da sensibilidade auditiva do receptor (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005; MORTON, 1975).

Além das características do ambiente que potencialmente interferem no processo de comunicação, em tempos mais recentes, particularmente após a revolução industrial, surgiu mais uma: os ruídos de origem antrópica. Atualmente, a presença de ruídos de origem antrópica é um componente presente em quase toda paisagem acústica em diversos locais, sendo, em alguns deles, o elemento dominante (LENGAGNE, 2008). Porém, sendo uma fonte de ruídos nova (em termos evolutivos) e amplamente disseminada, torna-se necessário estudar como os ruídos produzidos pelo homem afetam as várias espécies da fauna por meio de interferências nos processos de comunicação e como as espécies respondem a elas (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005). Vejamos primeiro alguns impactos gerais dos ruídos de origem humana, para depois analisarmos mais especificamente os efeitos sobre a comunicação acústica e as respostas dos animais a eles.

### 2.3 IMPACTOS DO RUÍDO DE ORIGEM ANTRÓPICA NA VIDA SELVAGEM

O ruído de fundo, principalmente o de origem antrópica, pode impactar a fauna de diferentes maneiras, revistos em Ortega (2012). O ruído pode, por exemplo, acabar por interferir na composição de espécies em determinado local (com adição de novas espécies e/ou perdas de outras, como por exemplo, no caso de competição de nichos pelas espécies, onde a diminuição de uma espécie pode favorecer a entrada de outras) (BLUMSTEIN; FERNÁNDEZ-JURICIC, 2010; BROTONS; FRANCIS et al., 2009; HERRANDO, 2001). Acredita-se que tais mudanças na composição das espécies devem levar a mudanças na estruturação das vocalizações, a fim de evitar o mascaramento provocado pelos novos sons biológicos (BLUMSTEIN; FERNÁNDEZ-JURICIC, 2010). O ruído pode ainda reduzir a abundância de certas espécies (por exemplo, RHEINDT, 2003). O ruído ambiental pode, eventualmente, interferir nas relações entre espécies, ao mascarar o ruído produzido por determinada espécie, utilizado por outra (um predador, por exemplo) para extrair informações sobre esta ou sobre o ambiente (hipótese levantada por FRANCIS et al., 2009 mas, até onde sabemos, ainda não testada). Além destes

efeitos, o ruído pode ainda afetar as espécies de diversas outras formas, tanto em seu comportamento e ecologia, quanto em sua saúde (ver breve revisão em Ortega (2012) e Slabbekoorn; Ripmeester (2007)).

Apesar da influência negativa do ruído urbano sobre a comunicação ser amplamente reconhecida, as cidades podem, paradoxalmente, auxiliar na conservação de algumas espécies. Com a intensa redução dos habitats naturais, os parques urbanos podem ser considerados uma opção, mesmo que não natural, para a conservação de espécies animais, que podem encontrar nestes locais ambientes adequados, sendo, na maioria das vezes, livres de predadores e com menor grau de ruído (PATÓN et al., 2011). De qualquer forma, o ruído traz impactos para as espécies e, talvez o mais evidente e universal seja sobre a comunicação. Este impacto e as respostas dos animais a ele é o tema do próximo tópico.

#### 2.4 MECANISMOS DE RESPOSTA AO RUÍDO DE ORIGEM ANTRÓPICA

A urbanização como um todo tem causado diversos problemas para muitas espécies animais, dentre eles os causados pela poluição sonora oriunda das atividades antrópicas, os quais podem afetar a comunicação acústica de espécies animais (ORTEGA, 2012; SLABBEKOORN; RIPMEESTER, 2008). Como vimos, o ruído de origem humana é mais uma dentre as características do ambiente que podem interferir no processo de comunicação. No entanto, qualquer que seja o tipo de interferência do ambiente, conforme sua magnitude, se não houver nenhuma alteração no comportamento ou fisiologia dos animais, a função do sinal e o processo de comunicação poderão ser prejudicados, ver revisões em Brumm; Slabbekoorn (2005) e Wiley; Richards (1982). Neste caso, a espécie será impactada, podendo até mesmo extinguir-se localmente, dada a gama de contextos nos quais a comunicação acústica é empregada, dentre eles o reprodutivo.

Uma das alterações possíveis é na estrutura do sinal. Assim, a transmissão do som poderá ser mais eficiente se os emissores modificarem alguma característica da chamada (amplitude, características temporais ou frequência, por exemplo, que são as características mais importantes e com maior probabilidade de ajuste) (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006); para aspectos conceituais gerais ver Blumstein;

Fernández-Juricic (2010); Brumm; Slabbekoorn (2005); Waser (1977); Wiley; Richards (1978, 1982). Podem ocorrer ainda alterações nos sistemas de percepção dos receptores (RABIN; GREENE, 2002).

Com relação à amplitude, diversas espécies, inclusive o homem, respondem ao aumento da intensidade sonora no ambiente acústico com o aumento desta característica, fenômeno conhecido como efeito Lombard (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005; LOMBARD, 1911). Este mecanismo pode aumentar a eficiência da sinalização acústica (MANABE; DOOLING, 1998), e é a resposta conhecida há mais tempo ao nível de ruído do ambiente, tendo sido observada em diversas espécies de grupos distintos: rouxinóis (BRUMM, 2004), mandarim, *Taeniopygia guttata* (CYNX, 1998), primatas, *Macaca fascicularis* e *M. nemestrina* (SINNOTT et al., 1975), codorna japonesa *Coturnix coturnix japonica* (POTASH, 1972), periquitos *Melopsitacus undulatus* (MANABE; DOOLING, 1998) e rãs *Leptodactylus albilabris* (LOPEZ et al., 1988). Os estudos sugerem que a regulação da amplitude vocal é uma forma generalizada de plasticidade vocal em animais adultos (CYNX, 1998). No entanto, embora bastante difundido, é provável que o ajuste do canto das aves ao ruído de fundo por meio de aumento de intensidade seja limitado pelo tamanho corporal (BRACKENBURY, 1979), bem como pelos custos energéticos da produção de sons mais intensos (OBERWEGER; GOLLER, 2001).

Quando levamos em consideração a frequência das emissões sonoras, verificamos que o ruído antropogénico pode mascará-las, especialmente os trechos ou elementos que ocorrem em frequências mais baixas (1-2 kHz), uma vez que o ruído ambiental é predominantemente de baixa frequência (MENDES, 2010; WOOD; YEZERINAC, 2006). Neste caso, as espécies com vocalizações de frequências mais baixas sofrem uma maior interferência do que aquelas em que as emissões sonoras possuem frequências dominantes mais altas (MENDES, 2011). Assim, como forma alternativa ou complementar para diminuir os efeitos do ruído, a energia espectral das vocalizações pode ser direcionada para as bandas de frequência que são menos ou não são afetadas pelo ruído, provavelmente as mais altas (BRUMM e TODT, 2002). A eficiência na comunicação poderá ainda ser melhorada através do uso de chamadas do repertório que não são mascaradas com o ruído de fundo (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006). Estes tipos de resposta já foram observados em algumas espécies de aves, répteis e alguns mamíferos, entre outros (DUBOIS;

MARTENS, 1984; BRUMM; SLABBEKOORN, 2005; HU, 2009; WOOD; YEZERINAC, 2006).

A ocorrência destes ajustes na frequência em resposta ao ruído está normalmente relacionada ao aumento na frequência mínima da vocalização (FERNÁNDEZ-JURICIC et al. 2005; SLABBEKOORN; PEET, 2003; WOOD; YEZERINAC, 2006). Apesar de ser possível a princípio, até então não temos conhecimento de que a alteração na frequência máxima tenha sido observada. Outro mecanismo de ajuste na estrutura da frequência que poderia ser utilizado pelas aves na tentativa de amenizar o mascaramento de ruídos de baixa frequência seria elevar toda a vocalização a frequências mais altas. Porém, também não se tem conhecimento de que esta forma de ajuste tenha ocorrido. O uso destes dois últimos tipos de ajuste pode ser dificultado por vários fatores que restringem as frequências máximas, como a angulação da cabeça e o formato do bico, entre outros fatores (NELSON et al., 2005; PALACIOS; TUBARO, 2000; PODOS et al., 2004; WESTNEAT et al., 1993). Outro meio pelo qual as aves poderiam ajustar a estrutura de frequência de suas vocalizações seria alterando a concentração de energia entre as frequências. Isto ocorreria pelo deslocamento de energia acústica para harmônicos que não se sobrepõem com o faixa de frequência do ruído, como observado em esquilos da Califórnia em resposta ao ruído de estradas (RABIN et al., 2003).

Além das alterações mais comuns, na intensidade e frequência das vocalizações, outras propriedades do som também podem ser alteradas devido às influências negativas do ruído de fundo, tais como a duração e o número de sílabas por chamado (BROWN, MALONEY, 1986; DOOLING, 1979; FOOTE et al., 2004; KLUMP; MAIER, 1990). Estas alterações estão de acordo com a teoria de que a probabilidade de comunicação sob condições de ruído pode ser melhorada através do aumento da redundância do sinal (SHANNON; WEAVER, 1949).

Há ainda outros mecanismos de natureza comportamental, não diretamente ligados às propriedades acústica dos sinais, que podem ser utilizados pelos animais como forma de amenizar os efeitos do ruído ambiental, como alteração no horário de vocalização (FULLER et al., 2007) ou escolha de locais menos ruidosos (MENDES, 2010; WARREN et al., 2006). No primeiro caso, como o ruído normalmente varia de intensidade ao longo do tempo, algumas espécies de aves podem ser capazes de ajustar o horário de sua vocalização para aproveitar os intervalos menos ruidosos,

evitando assim a interferência (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005; FICKEN et al., 1974; POPP, 1989; WARREN et al., 2006). Os animais podem também modificar o padrão temporal de suas chamadas para que coincidam com períodos de silêncio e também diminuir a média da duração das suas chamadas, para que se ajustem aos intervalos de silêncio (EGNOR et al., 2007).

Embora tratados separadamente, os diversos mecanismos descritos não são mutuamente exclusivos, como demonstrado em um primata do Novo Mundo, *Callithrix jacchus* (BRUMM, et al., 2004), o qual apresentou capacidade de adaptações vocais na amplitude e na duração das sílabas de seus chamados vocais.

Outra forma de amenizar a influência do ambiente acústico ruidoso seria aproveitar o fato dos animais possuírem uma variedade de sinais para a comunicação (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Com isso, elas podem focar a energia em outras modalidades de comunicação (BRUMM; SLABBEKOORN, 2005), pois, se ocorrer uma falha (devido à influência do ambiente acústico) na transmissão da mensagem, outras formas de comunicação poderiam ser utilizadas (HEBETS; PAPAJ, 2005; MØLLER; POMIANKOWSKI, 1993). Um exemplo ocorre em espécies nas quais os machos apresentam múltiplos sinais sexuais e enfatizam displays visuais, e não acústicos, em ambientes urbanos ruidosos (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006).

Qualquer que seja a natureza da mudança (característica do som ou comportamento), no entanto, ela pode surgir por três mecanismos básicos, não mutuamente exclusivos: curto (plasticidade), médio (ontogênese) ou longo prazo (evolução) (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006). Ainda, os ajustes vocais são mais fáceis de serem encontrados em uma característica da vocalização (amplitude, frequência ou de tempo) em que a espécie já apresenta uma maior variabilidade na sua emissão (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006).

Assim, os ambientes urbanos podem influenciar a evolução de características dos sinais acústicos em certas espécies, pois o ruído ambiental diminui a distância em que os sinais podem ser detectados (HU, 2009; LOHR, 2003). Porém, sendo relativamente recente a introdução do ruído urbano é pouco provável que os ajustes vocais observados em todas as espécies tenham surgido somente através da evolução natural, embora esta possibilidade não deva ser excluída (WARREN et al., 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006).

Já o ajuste ontogenético ocorre ao longo da vida do animal, com as mudanças não sendo fixadas, mas com as alterações ocorrendo dependendo do nível de ruído que o animal encontra em diferentes fases de sua vida. Em aves, ele pode ocorrer de diversas formas, como aprendizado de canções que transmitem melhor no ambiente (RABIN; GREENE, 2002) ou por eliminação posterior das que são transmitidas menos eficientemente, entre outros (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006).

A plasticidade vocal de certas espécies as permite modificar suas emissões individuais no curto prazo, em resposta a alterações temporárias do ambiente. As modificações de curto prazo podem ocorrer, por exemplo, pela utilização de uma vocalização constante do repertório da espécie, que não é influenciada pelo mascaramento ou pelo ajustamento temporário de suas características, tais como frequência, amplitude e estrutura temporal (BRUMM e SLABBEKOORN, 2005; WARREN et al., 2006; WOOD e YEZERINAC, 2006). Esta modalidade de ajuste foi observada, por exemplo, em anuros (PENNA; WEST, 2007) e baleias (MILLER et al., 2000).

Porém, as alterações comportamentais ontogenéticas e de curto prazo podem ser limitadas pela natureza da vocalização. Assim, acredita-se que as aves que apresentam o canto do tipo aprendido (como os passeriformes da subordem oscines) (VIELLIARD, 2005), tenham maior possibilidade de adequar-se a mudanças nas características sonoras ambientais (SLABBERKOORN; PEET, 2003). No caso das alterações de curto prazo, não existe a necessidade de aprendizagem de tais alterações, porém sua utilização para amenizar a influência negativa do ruído pode ser dificultada pela habilidade de um indivíduo que não possui o canto aprendido em detectar o mascaramento e alterar posteriormente suas vocalizações (NORDEEN; NORDEEN, 1992; OKANOYA; YAMAGUCHI, 1997). A aprendizagem do canto pode, então, aumentar a capacidade de ajuste de curto prazo nas vocalizações de uma espécie em resposta a um ambiente acústico alterado (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006). A espécie que tem o canto aprendido tende a possuir um repertório maior e, assim, poderá selecionar melhor as canções menos afetadas pelo ruído (NASCIMENTO, 2007).

Além do tipo de canto (aprendido vs. inato), o tipo de aprendizagem pode influenciar na capacidade de uma espécie de comunicar-se em ambientes ruidosos ou adaptar-se a eles (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006).

As espécies de aves com aprendizagem aberta, as quais podem continuar a adquirir e modificar suas canções ao longo de sua vida adulta (CHAIKEN et al., 1994), possuem uma maior capacidade de variar suas canções em resposta a mudanças ambientais (HULTSCH; TODT, 2004). Já as espécies com aprendizado fechado, que possuem o período de plasticidade concentrado na fase inicial da sua vida, apresentam limitações na capacidade de um ajustamento posterior da canção (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006).

Por outro lado, em alguns casos o ruído de origem antrópica pode gerar dificuldades no aprendizado do canto, uma vez que os pássaros não conseguem ouvir uns aos outros quando os níveis de ruídos são altos (MARQUES, 2009), o que é importante principalmente no período de plasticidade vocal (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006). Sendo que o feedback auditivo, durante o desenvolvimento da canção (período de plasticidade vocal), e até mesmo na idade adulta é importante para o desenvolvimento de canções normais (TSCHIDA; MOONEY, 2012).

## 2.5 CUSTO DO AJUSTAMENTO VOCAL

Apesar dos benefícios que o ajustamento vocal pode proporcionar às espécies animais, ele também pode apresentar custos, diminuindo assim o valor das alterações (WARREN et al., 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006).

Os custos do ajustamento vocal podem ser de diferentes tipos. Vocalizar mais alto em ambientes ruidosos pode, por exemplo, exigir um grande gasto de energia, o que pode explicar por que alguns animais não vocalizam com a máxima amplitude possível (WARREN et al., 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006). O ajuste da vocalização para frequências mais altas também pode impor custos energéticos, uma vez que estas podem requerer uma contração mais intensa de músculos e mais músculos em trabalho que as frequências mais baixas (LAMBRECHTS, 1996).

Um outro tipo de custo relaciona-se a um compromisso entre aumentar a relação entre sinal e ruído e a possibilidade de reduzir o reconhecimento do sinal ou levar a uma interpretação incorreta pelos receptores, devido à mudança das características do sinal (PATRICELLI; BLICKLEY, 2006). Como uma espécie é mais sensível às frequências mais comumente utilizadas em sua comunicação ao longo de sua evolução (OKANOYA; DOOLING, 1988), o aumento da eficácia de transmissão no ambiente barulhento pode levar a uma redução na percepção do

sinal (WOOD; YEZERINAC, 2006). No caso de não compreensão da mensagem, em algumas espécies de aves, por exemplo, os machos podem não ser reconhecidos como parceiros em potencial em virtude da modificação (SLABBEKOORN; PEET, 2003; WOOD; YEZERINAC, 2006). As frequências mais altas também são menos eficazes em se propagar através do ambiente, pois se atenuam mais, o que pode representar outro *trade-off* (WARREN et al., 2006). Por fim, alguns dos custos potenciais de ajuste vocal estarão presentes, independentemente do tipo de vocalização e da situação na qual ela ocorre, o que ocorre no caso do aumento da amplitude em locais ruidosos (WARREN et al., 2006; WOOD; YEZERINAC, 2006). Já outros custos de adaptação vocal irão variar dependendo do contexto no qual o sinal é utilizado, por exemplo, quando a alteração na frequência de vocalização afetar o reconhecimento individual (PATRICELLI; BLICKEY, 2006).

Em conclusão, há diferentes maneiras das espécies responderem ao ruído de origem antrópica e o compensarem, embora isto possa não ser isento de custos (ver próximo tópico). Estas respostas podem surgir de diferentes maneiras e características das espécies podem ser variáveis que interferem na possibilidade ou capacidade de ajuste. Assim, dada a ubiquidade dos ruídos de origem antrópica e seus impactos negativos sobre a comunicação acústica, com potenciais consequências sobre a sobrevivência e reprodução dos indivíduos e, assim, sobre a permanência de espécies e populações, o estudo dos tipos e capacidades de resposta das espécies e das variáveis que podem interferir no ajuste é crucial para a biologia da conservação.

## REFERÊNCIAS

- BADYAEV, A.V.; LEAF, E.S. Habitat associations of sons características in *phylloscopus* and *hippolais* warblers. **The Auk**. v. 114, n. 1, p. 40-46, 1997.
- BLUMSTEIN, D. T; FERNANDEZ-JURICIC, E. Acoustic Communication and Conservation. **In: A primer of conservation Behavior**. Massachusetts: Sinauer Associates Incorporated. 2010. p. 115-132.
- BRACKENBURY, J. H. Power capabilities of the avian sound producing system. **Journal of Experimental Biology**. v. 78, p. 163–166, 1979.
- BRADBURY, J. W.; VEHRENCAM, S. L., **Principles of animal communication**. 2 ed. Massachusetts: Sinauer Associates Incorporated, 2011.
- BROTONS, L.; HERRANDO, S. Reduced bird occurrence in pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area. **Landscape and Urban Planning**. v. 57, n. 2, p. 77-89, 2001.
- BROWN, C. H.; MALONEY, C. G. Temporal integration in two species of Old World monkeys: Blue monkeys (*Cercopithecus mitis*) and grey-cheeked mangabeys (*Cercocebus albigena*). **Journal of the Acoustical Society of America**. v. 79, n. 4, p. 1058-1064, 1986.
- BRUMM, H. ; TODT, D. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. **Animal Behaviour**. v. 63, n. 5, p. 891-897, 2002.
- BRUMM, H. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. **Journal of Animal Ecology**. v. 73, n. 3, p. 434-440, 2004.
- BRUMM, H. et al. Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a New World monkey. **The Journal of Experimental Biology**. v. 207, n. 3, p. 443-448, 2004.
- BRUMM, H.; SLABBEKOORN, H. Acoustic Communication in Noise. **Advances in the Study of Behaviour**. v.35, p.151-209, 2005.
- CATCHPOLE, C. K.; SLATER, P. J. B. **Bird song: biological themes and variations**. Cambridge: University Press, 2008. 348 p.
- CHAIKEN, M.; BOHNER, J; MARLER, P. Repertoire turnover and the timing of song acquisition in European Starlings. **Behaviour**. v.128, n. 1/2, p. 25–39, 1994.
- CYNX, J et al. Amplitude regulation of vocalization in noise by a songbird, *Taeniopygia guttata*. **Animal Behaviour**. v. 56, n. 1, p. 107-113, 1998.
- DOOLING, R. J. Temporal summation of pure tones in birds. **Journal of the Acoustical Society of America**. v. 65, n. 4, p. 1058-1060, 1979.

DUBOIS, A.; MARTENS, J. A Case of possible vocal convergence between frogs and birds in Himalayan torrents. **Journal of ornithology**. v.125, p. 455-463, 1984.

EGNOR, S.E. R; WICKELGREN, J. G; HAUSER, M. D. Tracking silence: adjusting vocal production to avoid acoustic. **Journal Comparative Physiology**. v.193, n. 4, p. 477-483, 2007.

ENDLER, J. A. Signals, signal conditions, and the direction of evolution. **The American Naturalist**. v. 139, p. S125-S153, 1992.

FERNÁNDEZ-JURICIC, E. et al. Microhabitat selection and singing behavior patterns of male House Finches (*Carpodacus mexicanus*) in urban parks in a heavily urbanized landscape in the western U.S. **Urban Habitats**. v. 3, n.1, p. 49-69, 2005.

FICKEN, R. W.; FICKEN, M. S.; HAILMAN, J. P. Temporal pattern shifts to avoid acoustic interference in singing birds. **Science**. v. 183, n. 4126, p. 762–763, 1974.

FOOTE, A. D.; OSBORNE, R. W.; HOELZEL; A. R. Whale–call response to masking boat noise. **Nature**. n. 428, p. 910, 2004.

FRANCIS, C. D.; ORTEGA, C. P.; CRUZ, A. Noise pollution changer avian communities and species Interactions, **Current Biology**. v. 19, n. 16, p. 1415-1419, 2009.

FULLER, R. A.; WARREN, P. H.; GASTON, K. J. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. **Biology Letters**. v. 3, n. 4, p. 368-370, 2007.

HAUSER, M. D. **The Evolution of communication**. 3. ed. Massachusetts: The Mit Press Cambridge, 1996

HEBETS, E. A.; PAPAJ, D. R. Complex signal function: Developing a framework of testable hypotheses. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 57, n. 3, p. 197–214, 2005.

HU, Y.; CARDOSO, G. C. Are bird species that vocalize at higher frequencies preadapted to inhabit noisy urban areas? **Behavioral Ecology**. v. 20, n. 6, p. 1268-1273, 2009.

HULTSCH, H.; TODT, D. Learning to sing. In: MARLER; SLABBEKOORN, H. **Nature's Music: The Science of Bird Song**, San Diego: Elsevier Academic. 2004. p. 80-106.

KATTI, M; WARREN, P. A. Tits, noise and urban bioacoustics. **Trends in Ecology and Evolution**. v. 19, n. 3, p. 109-110, 2004.

KLUMP, G. M.; MAIER, E. H. Temporal summation in the European starling (*Sturnus vulgaris*). **Journal of Comparative Psychology**. v. 104, n. 1, p. 94-100, 1990.

KREBS, J. R.; DAVIES, N. B. **Introdução à ecologia comportamental**. São Paulo: Ateneu, 1996.

KROODSMA, D. Male eastern phoeves (*Sayornis phoebe*; Tyrannidae, Passeriformes) fail to imitate songs. **Journal of Comparative Psychology**. v. 103, n. 3, p. 227-232, 1989.

LAMBRECHTS, M. M. Organization of birdsong and constraints on performance. In: KROODSMA, MILLER, E. H. **Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds**. New York: Cornell University Press, 1996. p. 305-320.

LENGAGNE, T. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. **Biological Conservation**. v. 141, n. 8, p. 2023–2031, 2008.

LOHR, B.; WRIGHT, T. F.; DOOLING, R. J. Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: Estimating the active space of a signal. **Animal Behaviour**. v. 65, n. 4, p. 763–777, 2003.

LOMBARD, E. Le signe de l'élévation de la voix. **Annales des Maladies de l'Oreille et du Larynx**. v. 37, p. 101-119, 1911.

LOPEZ, P. T. NARINS; P. M., LEWIS, E. R.; MOORE, S. W. Acoustically induced modification in the white-lipped frog. *Leptodactylus albilabris*. **Animal Behaviour**. v. 36, p. 1295-1308, 1988.

MANABE, K.; SADR, E. I.; DOOLING, R. J. Control of vocal intensity in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*): differential reinforcement of vocal intensity and the Lombard effect. **Journal of the Acoustical Society of America**. v.103, n. 2, p. 1190–1198, 1998.

MARQUES, A. B. **Abordagens sobre a bioacústica na ornitologia – Parte I – Conceitos básicos**. Atualidades Ornitológicas On-Line nº 146, p. 38-40, 2008.

MARQUES, A. B. **Abordagens sobre a bioacústica na ornitologia – Parte II – Bioacústica relacionada com outros campos do conhecimento**. Atualidades Ornitológicas On-Line nº 147, p. 33-35, 2009.

MENDES, S. et al. Evaluación del impacto de la contaminación acústica en el ranzo de vocalización de Paseriformes basaddo en el SIL – “Speech Interference Level”. **Revista de Acústica**. v. 41, n. 3 e 4, p 33-42, 2010.

MENDES, S.; COLINO-RABANAL, V. J.; PERIS, S. J. Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*), **Landscape and Urban Planning**. v. 99, n. 1, p. 51–57, 2011.

MILLER et al. Whale songs lengthen in response to sonar. **Nature**. n. 405, p. 903, 2000.

MØLLER, A. P.; POMIANKOWSKI, A. N. Why have birds got multiple sexual ornaments? **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 32, n. 3, p.167–176, 1993.

MORTON, E. S. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some bird and mammal sounds, **The American naturalist**. v. 111, n. 981, p. 855-869, 1977.

MORTON, E.S. Ecological sources of selection on avian sounds. **The American naturalist**. v. 109, n. 965, p. 17-34, 1975.

NASCIMENTO, V. D. **Variação geográfica no canto de três espécies de Oscines (aves), ao longo da BR-174, na região centro-norte da Amazônia 2007. 63f.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.

NELSON, B. S.; BECKERS, G. J.; SUTHERS, R. A. Vocal tract filtering and sound radiation in a songbird. **Journal of Experimental Biology**. v. 208, n. 2, p. 297–308, 2005.

NORDEEN, K. W.; NORDEEN, E. J. Auditory-feedback is necessary for the maintenance of stereotyped song in adult zebra finches. **Behavioral and Neural Biology**. v. 57, n. 1, p. 58–66, 1992.

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

OKANOYA, K.; DOOLING, R. F. Hearing in the Swamp Sparrow, *Melospiza georgiana*, and the Song Sparrow, *Melospiza melodia*. **Animal Behaviour**. v. 36, n. 3, p. 726–732, 1988.

OKANOYA, K.; YAMAGUCHI, A. Adult Bengalese Finches (*Lonchura striata* var. *domestica*) require real-time auditory feedback to produce normal song syntax. **Journal of Neurobiology**. v. 33, n. 4, p. 343–356, 1997.

ORTEGA, C.P. Effects of noise pollution on birds: A brief review of our knowledge. **Ornithological Monographs**. v. 2012, n. 74, p. 9-22, 2012.

PALACIOS, M. G; TUBARO, P. L. Does beak size affect acoustic frequencies in woodcreepers? **The Condor**. v. 102, n. 3, p. 553–560, 2000.

PATÓN, D. et al.. Tolerance to noise in 91 bird species from 27 urban gardens of Iberian Peninsula, **Landscape and Urban Planning**. v. 104, n. 1, p. 1-8, 2012.

PATRICELLI, G. L.; BLICKLEY, J. L. Avian communication in urban noise: Causes and consequences of vocal adjustment. **The Auk**. v.123, n. 3, p. 639–649, 2006.

PENNA, M., HAMILTON-WEST, C. Susceptibility of evoked vocal responses to noise exposure in a frog of the temperate austral forest. **Animal Behaviour**. v. 74, p. 45-56, 2007.

PIERETTI, M.; FARINA, A.; MORRI, D. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). **Ecological Indicators**. v. 11, n. 3, p. 868-873, 2010.

PIJANOWSKI, B. C. et al. Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. **BioScience**. v. 61, n. 3, p. 203-216, 2011.

PODOS, J.; SOUTHALL, J. A.; ROSSI-SANTOS., M. R. Vocal mechanics in Darwin's finches: Correlation of beak gape and song frequency. **Journal of Experimental Biology**. v. 207, n. 4, p. 607–619, 2004.

POPP, J. W. Temporal aspects of singing interactions among territorial Ovenbirds (*Seiurus aurocapillus*). **Ethology**. v. 82, n. 2, p. 127–133, 1989.

POTASH, L. M. Noise-induced changes in calls of the Japanese quail. **Psychonom Science**. v. 26, n. 5, p. 252-254, 1972.

RABIN, L. A., GREENE, C. M. Changes to acoustic communication systems in human-altered environments. **Journal of Comparative Psychology**. v. 116, n. 2, p.137-141, 2002.

RABIN, L. A. et al. Anthropogenic noise and its effects on animal communication: An interface between comparative psychology and conservation biology. **International Journal of Comparative Psychology**. v.16, p. 172–192, 2003.

RIOS-CHELÉN, A. A. et al. The learning advantage: Bird species that learn their song show a tighter adjustment of song to noisy environments than those that do not learn. **Journal of Evolutionary Biology**. v. 25, p. 2171-2180, 2012.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. The Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal**. v. 27, n. 3, p. 379–423, 1949.

SINNOTT, J. M.; STEBBINS, W. C.; MOODY, D. B. Regulation of voice amplitude by the monkey. **Journal of the Acoustical Society of American**. v. 58, p. 412-414, 1975.

SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E.A.P. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. **Molecular Ecology**. vol. 17, p. 72-83, 2008.

SLABBEKOORN, H.; SMITH, T. B. Bird song, ecology and speciation. **Philosophical Transactions of Royal Society**. v. 357, n. 1420, p. 493–503, 2002.

SLABBEKOORN, H. Singing in the wild: The ecology of birdsong. In: MARLER; SLABBEKOORN, H. **Nature's Music: The Science of Birdsong**. London: Academic Press/Elsevier. 2004. p. 178–205.

SLABBEKOORN, H.; PEET, M. Birds sing at a higher pitch in urban noise. **Nature**. v. 424, n. 6946, p. 267, 2003.

TSCHIDA, K.; MOONEY, R. The role of auditory feedback in vocal learning and maintenance. **Current Opinion in Neurobiology**. v. 22, p. 320-327, 2012.

VIELLIARD, J.M.E. A diversidade de sinais e sistemas de comunicação sonora na fauna brasileira. I **Seminário de Música Ciências e Tecnologia: Acústica Musical**. p. 145-152, 2005.

WARREN, P. S. et al. Urban bioacoustics: It's not just noise. **Animal Behaviour**. v. 71, n. 3, p. 491–502, 2006.

WASER, P.M. Sound localization by monkeys: A field experiment. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 2, n. 4, p. 427-431, 1977.

WESTNEAT, M. W. et al. Kinematics of birdsong: Functional correlation of cranial movements and acoustic features in sparrows. **Journal of Experimental Biology**. v.182, p.147–171, 1993.

WILEY, R. H. Errors, exaggeration, and deception in animal communication. In: REAL, L. **Behavioral Mechanisms in Ecology**. Chicago: University of Chicago, 1994. P. 157-189.

WILEY, R.H; RICHARDS, D.G. Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: Implications for the evolution of animal vocalizations. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. v. 3, p. 69-94, 1978.

WILEY, R. H; RICHARDS, D. G. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. In: KROODSMA, D. E.; MILLER, E. H.; QUELLET, H. **Acoustic Communication in birds**. Academic Press, 1982. v. I, cap. 5, p. 131-182.

WITTE, K. et al. How cricket frog females deal with a noisy world: habitat-related differences in auditory tuning, **Behavioral Ecology**. v. 16, n. 3, p. 571-579, 2005.

WOOD, W. E.; YEZERINAC, S. M. Song Sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. **The Auk**. v. 123, n. 3, p. 650–659, 2006.

### 3. ARTIGO

#### **Influence of environmental noise on songs of an oscine and a suboscine bird of the same population**

V. L. C. de Oliveira<sup>a</sup>, R. J. Young<sup>b</sup>, D. Guedes<sup>c</sup> and R. G. T. da Cunha<sup>ad</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, R. Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, Alfenas-MG, Brazil. CEP 37130-000

<sup>b</sup> University of Salford, School of Environment & Life Sciences, Peel Building Room G21, Salford, M5 4WT, UK.

<sup>c</sup> Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados, PUC Minas, Coração Eucarístico, Belo Horizonte MG, CEP 30535-650.

<sup>d</sup> Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas, R. Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, Alfenas-MG, Brazil. CEP 37130-000

With 1 figure

**Key words:** great kiskadee, southern house wren, environmental noise, song plasticity, short-term adaptation, *Pitangus sulphuratus*, *Troglodytes musculus*, Oscines, Suboscines, Passeriformes

**Palavras-chave:** bem-te-vi, corruíra, ruído ambiental, plasticidade vocal, adaptação de curto prazo, *Pitangus sulphuratus*, *Troglodytes musculus*, Oscines, Suboscines, Passeriformes

Running title: Environmental noise and passeriform song

## Abstract

Anthropogenic noise may affect acoustic communication of species through masking, with potential fitness consequences. Several species from different groups then show differences in call features or behavior between noisier and quieter regions, allowing them to survive and reproduce in the noisy places. Differences may arise through short (call plasticity), medium (ontogenetic) or long-term (evolutionary) mechanisms. For the short and medium term mechanisms, intrinsic characteristics of the species may interfere with the modification of the signals, particularly the way that vocal learning occurs. Within the Passeriform order, the oscines show vocal learning, while the suboscines do not. Here we report a study comparing song characteristics of an oscine (southern house wren *Troglodytes musculus*) and a suboscine bird (great kiskadee *Pitangus sulphuratus*) of a single population at two different places of their habitat showing different noise levels. We predicted that the oscine bird would show differences in the calls between the regions, while the suboscine species would not show them, given the differences in song learning and plasticity between those groups. Contrary to our predictions, almost none of the song parameters of both the great kiskadee and the southern house wren differed between those areas. The results point to the possibility that there might not be short term acoustic adaptation in bird song features in these species (or that there might not be a difference between oscines and suboscines or learners vs. non-learners), but several alternative hypotheses exist.

## **Influência do ruído ambiental sobre as canções de uma espécie de oscines e uma de suboscines da mesma população**

### **Resumo**

O ruído antropogênico pode afetar a comunicação acústica das espécies através do mascaramento, com possíveis efeitos sobre o valor adaptativo. Assim, diversas espécies de grupos distintos apresentam diferenças em características de suas vocalizações ou em seu comportamento entre locais mais e menos ruidosos, permitindo-as sobreviver e reproduzir nos locais com mais ruído. As diferenças podem surgir por mudanças de curto (plasticidade vocal), médio (ontogênese) ou longo prazos (evolução). Para os mecanismos de curto e médio prazos características intrínsecas das espécies podem interferir no processo, particularmente a forma pela qual ocorre o aprendizado. Dentro da ordem Passeriformes, os oscines apresentam aprendizado vocal, enquanto os suboscines não. Neste trabalho relatamos um estudo comparando as características das vocalizações de um oscine (corruíra, *Troglodytes musculus*) e um suboscine (bem-te-vi, *Pitangus sulphuratus*) das mesmas populações em dois locais de seu habitat com níveis de ruído distintos. Nós previmos que as vocalizações da corruíra apresentariam diferenças entre os locais, enquanto que as do bem-te-vi não, dadas as diferenças em plasticidade e aprendizado entre oscines e suboscines. Contrariando nossas previsões, praticamente nenhuma das características das vocalizações de ambas as espécies diferiu entre as áreas. Os resultados apontam para a possibilidade de que pode não haver adaptação acústica de curto prazo nestas espécies (ou que pode não haver diferenças entre oscines e suboscines ou aves que aprendem vs. as que não aprendem), embora haja diversas hipóteses alternativas.

## 1. Introduction

The process of urbanization has negatively affected animals in several ways: one of these impacts is caused by acoustic pollution (Warren et al., 2006), which affects animals in natural environments as well, due to the overall increase of anthropogenic noise. Anthropogenic noise typically shows low frequency and high amplitude, and may thus mask vocal signals, mainly from those species calling at low frequencies (Rheindt, 2003; Wood and Yezerinac, 2006; Mendes et al., 2010). Such masking, in turn, may affect animal communication, interfering with signal function (Warren et al., 2006), ultimately with fitness consequences (Halfwerk et al., 2011).

However, many species are capable of colonizing and remaining in noisy environments, by somehow modifying their signals (see Endler, 1992 for a general theoretical standpoint and Brumm and Slabbekoorn, 2005 for a review) and/or changing their behavior (e.g. Egnor et al., 2007; Fuller et al., 2007). With respect to vocalizations, changes can occur in one or more features of the calls (especially in amplitude and frequency, but also in timing and other features - Brumm and Slabbekoorn, 2005; Patricelli and Blickley, 2006). An increase in amplitude in response to background noise, the Lombard effect, is a mechanism known for a long time, and has already been observed in several animal groups (Cynx et al., 1998; Brumm and Todt 2002). Animals have also been observed to alter call duration, showing longer calls under noisy circumstances (e.g. Miller et al., 2010; Ríos-Chelén et al., 2012a). Animals may also adjust temporal patterns of their calls, by selecting quieter periods for their vocal emissions (Egnor et al., 2007) or calling at different periods of the day (Fuller et al., 2007).

The most studied modification has been in frequency though. Such change has been registered, for example, in amphibians (Sun and Narins, 2005), and mostly with birds (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008). Birds living in noise habitats may avoid the masking

due to anthropogenic noise by increasing the minimum frequency of their calls (Slabbekoorn and Peet, 2003; Fernandez-Juricic et al. 2005; Slabbekoorn and Boer-Visser, 2006; Wood and Yezerinac, 2006; Bermúdez-Cuamatizim et al., 2009; Ripmeester et al., 2010), by shifting the entire call upwards (Mendes et al., 2010) or by changing the structure of their songs through an increased use of high-frequency syllables (Brumm and Slater, 2006; Slabbekoorn and Boer-Visser, 2006; Halfwerk and Slabbekoorn, 2009).

Wood and Yezerinac (2006) have proposed several non-mutually exclusive hypotheses (developed further by Patricelli and Blickley, 2006, see also Brumm and Slabbekoorn, 2005) as to the mechanism of such adjustments: a short-term response to an increase in environmental noise (by choosing an unmasked call or by temporarily changing some of its characteristics such as frequency); medium-term ontogenetic changes, which may be brought about by different mechanisms (retaining the most successful calls, selective attrition or changes during learning); lastly, changes may be the result of long-term, evolutionary changes, due to natural selection.

Studies have already demonstrated the occurrence of the first two mechanisms. For example, authors have shown that birds can respond to increased noise levels by adjusting their calls in the short term (Halfwerk and Slabbekoorn, 2009; Verzijden et al., 2010, see Slabbekoorn, 2013 for a review). Other studies have shown changes that were attributed to selective learning (Slabbekoorn and Peet, 2003).

However, for some of these potential mechanisms, intrinsic characteristics of the species may interfere with the modification of the signals, particularly the way that vocal learning occurs. Within the Passeriformes order, for example, there are doubts if the suboscines, the suborder whose species do not learn their songs, could show some of the modifications indicated above (Kroodsma, 1989; Catchpole and Slater, 2008, but see Ríos-Chelén et al., 2012b). Species with learned songs tend to show a larger repertoire and, thus,

may better select those songs that are less affected by noise (Nascimento, 2007). They also show a larger capacity to detect masking and make adjustments to their songs (Nordeen and Nordeen, 1992; Okanoya and Yamaguchi, 1997).

In this study we analyzed how the level of anthropogenic noise affects the characteristics of the songs of two common urban bird species in southeastern Brazil, the southern house wren *Troglodytes musculus* Naumann, 1823 (an oscine), and the great kiskadee *Pitangus sulphuratus* (Linnaeus, 1766) (a suboscine). The study was conducted at a fine spatial scale, with the birds belonging to a single population inhabiting contiguous habitats with different noise levels. By restricting the analysis to a single populations, we have greatly reduced the possibility of evolutionary-level adaptations to the different noise levels and medium-term ontogenetic changes, unless the birds do not move between the areas at all, a highly unlikely scenario. Thus, the responses, if any, must be short-term ones. Therefore, we predicted that the oscine bird would show differences in the calls between the regions with different noise levels, while the suboscine species would not show them, given the differences in song plasticity between those groups. We also based this prediction on the results of Ríos-Chelén et al. (2012b) who found much stronger effect sizes in correlations between minimum frequency and noise amplitude for the southern wrens than for the great kiskadee (within a larger set of both oscines and suboscines species). We further predicted that the calls of the house wrens in the noisiest regions would show: a greater number of different syllables in each song; a greater number of different syllables in the intermediate (repetitive) region of the song; a greater number of syllables in the intermediate region; longer syllable duration; longer song duration; higher minimum, maximum and peak frequency; and greater versatility both in the whole song and in its intermediate region. Predictions concerning frequency follow from the several studies showing frequency changing upwards in noisier areas. Predictions regarding duration, number of syllables, versatility and number of repetitions follow from

basic information theory, which would predict that, under higher levels of noise in the system (in the sense of communication, not sound noise), there needs to be higher signal levels. A higher signal/noise ratio can be achieved by increasing signal length or repeating it more often.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. Study area**

The study was carried out at the campus of the University PUC-Minas, at Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, which has an area with buildings and intense human activity adjacent to a small patch of forest, both of which harbor the two study species (Figure 1).

### **2.2. General study design**

We compared noise levels and acoustic features of the songs of the two study species between the forest patch (henceforth forest) and the urbanized area (henceforth campus).

**Figure 1 approximately here.**

### **2.3. Data collection**

#### **2.3.1. Measurement and estimation of noise level**

Environmental noise was measured with a sound level meter Bruel & Kjaer 2270. At each sampling point, we measured amplitude during ten minutes, at the same period of time at which calls were recorded; that is, between 0600 and 0900 hrs and between 1700 and 1830 hrs. At a given location we conducted two different measurements, on different days. Sampling was carried out at different locations, both in the forest and in the campus, either at song recording locations (as located by a GPS device, see below) or around them, with three to four measurements around each one, thus ensuring that noise levels were measured at or near all recording locations. The sound level meter was placed on a tripod, parallel to the

ground, 1.5m above it, and at places with no physical barrier located closer than 3m from the meter. The sound level meter was calibrated for each new measurement, following the recommendations of the manufacturer.

This equipment registers  $Leq$  (equivalent continuous sound level) at different frequency ranges (Rossing, 2007). It thus carries out a spectral analysis of the noise, allowing measuring and registering the  $Leq$  values in octave or octave-thirds bands (Rossing, 2007).

Noise level for each species was then estimated differently from the usual method of computing a weighted equivalent sound pressure, criteria employed for human noise protection. Following Cavalcante (2009), we believe that an analysis of the impact of noise levels on bird calls must be carried out only at those frequency ranges which may cause a higher impact on the communication of such species. We thus used his method, with some modifications. The first step for this procedure is to obtain the whole frequency range of the calls of the species of interest, which we did this extracting the lowest minimum frequency and the highest maximum frequency of our own set of calls, also checking in the published literature if they fell within the normal range of the species. We then took this minimum frequency value and found the octave-third whose lower limit was just below it. Next we took the maximum frequency value and found the octave-third whose upper limit was just above it. All octave-thirds between those two, including them, were then used to estimate noise level at each environment for each bird species. Improving upon Cavalcante's (2009) procedure, instead of using the absolute minimum and maximum frequency values, we used the frequency 5% and 95%, as calculated by the software Raven. These are the frequency values that split the frequency range of a given selection (such as a call) into two intervals containing 5% and 95% of the energy (Frequency 5%) or 95% and 5% (Frequency 95%) of the energy (Charif et al., 2010). The reason for doing so is that an animal vocalization usually has energy spread over a large frequency range, but most of this energy (and, thus, probably most of the

information contained in it) is concentrated in a much smaller frequency range. We thus believe that these values are more biologically sound than the absolute minimum and maximum frequency values. Besides, this approach is also more robust, reliable and objective than the manual choice of maximum and minimum frequencies (Cortopassi, 2006). Then, for each measurement location, we computed both the logarithmic sum ( $L_{\text{esp}}$ ) and average ( $L_{\text{eq(esp)}}$ ) of the noise levels at all octave-thirds calculated as above. We then averaged the estimators from the two samplings at each location. Since we are dealing with decibels, note that summing and averaging values is not just arithmetically summing and averaging them. We needed to first calculate the sound amplitude ratios based on which the decibel values were calculated, then summing or averaging these values, and, lastly, computing again the averaged decibel value. This procedure was carried out for each species independently.

### **2.3.2. Song recording**

We recorded songs from both species opportunistically with a Zoom H4n and a unidirectional Yoga HT-81 microphone, with a foam windscreen. Recordings were carried out in October/2012 and October and December/2013, during the southern hemisphere spring, between 0600 and 0900 and 1700 and 1830 hrs, periods of a higher bird singing activity. We attempted to minimize sound barriers between the bird and the recorder, mainly trying to avoid places with dense undergrowth or with physical barriers. We registered coordinates of the recording locations with a Garmin GPS device GPSMap 60CSX or GPSMap 62s. Recordings were carried out both in the forest and in the campus.

### **2.3.3. Song selection and sound measurements**

Since we carried out recordings opportunistically, some locations were located close to other ones. Thus, as we did not have a way to discriminate individuals in the recordings, we determined that to be used in the analyses, a recording had to be located at least 50m from another one. To check this, we plotted the GPS locations in ArcGis 10.1®

software and drew 50m buffers around song recording point. Note that a more proper measure would be to base this distance on home range values of each study species; however, these are not available in the published scientific literature. Thus, given the smallness of the study site, we adopted this criterion in an attempt to set up a compromise between independence of data points and sample size. We are aware that we cannot ascertain that these “independent” data points are truly different individuals. Equally, we may have thrown away true independent data points.

For each sample point of each species, we computed spectrograms (graphical representations of the sounds in which time is on the x axis, frequency on the y axis and intensity is coded in shades of grey) in the software Raven Pro 1.4. In each recording, we chose the best quality songs or syllables. A good recording should be clear in the spectrogram (faint spectrograms were thus avoided), not show overlap with sounds of other species or of individuals of the same species, have a low level of background noise and do not show signs of clipping or spurious sounds. If a recording location did not have any good quality recording, it was excluded from further analyses. A syllable was defined as a continuous trace in the spectrogram with no interruption longer than 10ms (Nelson, 1989). When the same syllable was found at different places in the calls of the same or other individuals of the same species it was given the same code (Briefer et al., 2010). A selection box was then drawn around the chosen calls/syllables, encompassing its full duration and visible frequency range. Then, for each selection, we extracted measurements, which we considered appropriate for the songs of each species. All the measurements of a given variable of each recording location were averaged before statistical analysis.

The great kiskadee song has characteristically three syllables, giving its onomatopoeic name in different languages. However, the song varies from one up to five syllables, but the last one is always present, the number of introductory ones being the

variable part. For this species, we measured frequency 5% and 95% (see Cortopassi, 2006 on the use of these variables instead of minimum and maximum frequencies), peak frequency (frequency with more energy within the song), song duration and number of initial syllables. We also measured the first four parameters for the last syllable.

The southern house wren song is more complex, and can be divided into three parts (start, middle and end sections) (Corbo, 2007). The song starts with a section composed by different syllables that are rarely repeated (start), followed by a middle section, in which the syllables are repeated several times, ending with a section with the same characteristic of the initial one, but comprised of different syllables (Corbo, 2007). For this species we measured frequency 5% and 95%, peak frequency and duration both of the song and of the middle section. Furthermore, we computed the versatility (number of different syllables/total number of syllables – Ríos-Chelén et al., 2012a) and entropy of the full song and the number of syllable repetitions of the middle section.

#### **2.4.2. Data analysis**

To compare environmental sound levels between the forest and the campus, we first tested data for normality and homoscedasticity. The data for the southern house wren complied with both requirements and we compared the values with a t-test. The noise data for the great kiskadee proved to be normal, but heteroscedastic, and we compared the values with the non-parametric Mann-Whitney test.

For each acoustic parameter, we also first tested them for normality and homoscedasticity. For the normal data, we compared the values between campus and forest with t-test. If data were not normal, but homoscedastic, we still carried out t-tests, since they are quite robust to deviations from normality. For the non-homoscedastic data, we employed the non-parametric Mann-Whitney test. All tests were two-tailed and  $\alpha$  was set at 0.05.

### 3. Results

Noise levels within the singing frequency range of the great kiskadee were different between forest and campus ( $L_{\text{esp}}$  Mann-Whitney  $U = 5$ ,  $N_1 = 14$ ,  $N_2 = 23$ ,  $p < 0.001$ ;  $L_{\text{eq(esp)}}$  Mann-Whitney  $U = 5$ ,  $N_1 = 14$ ,  $N_2 = 23$ ,  $p < 0.001$ ), with campus showing higher levels of noise as expected (Table 1). Similar results were obtained for the southern house wren ( $L_{\text{esp}}$   $t = -10.47$ ,  $df = 35$ ,  $p < 0.001$ ;  $L_{\text{eq(esp)}}$   $t = -10.51$ ,  $df = 35$ ,  $p < 0.001$ , Table 1).

Despite these differences, when we analyzed parameters of the great kiskadee song, only duration proved to be significantly different between forest and campus (Table 2), and in the opposite directions of our predictions, showing longer duration in the forest. The same occurred with the parameters of the southern house wren song (Table 3), for which none of the parameters proved to be different between the campus and the forest. Also, the parameter  $F_{95\%}$  closely approached significance, and the difference was in the expected direction, with campus songs showing higher frequency values than those of the forest.

**Tables located approximately here**

### 4. Discussion

Through accurate field measurements and employing biologically relevant noise parameters, we showed that noise levels were different between two contiguous urban areas for both study species, with a forested area being almost 10 decibels quieter than an adjacent area with buildings and strong human activity, as expected. Recall that decibels are measured on a logarithmic scale. Thus, there is a ten times reduction in sound pressure, not a ten units decrease. However, contrary to our predictions, almost none of the song parameters of both the great kiskadee and the southern house wren differed between those areas. One parameter of the great kiskadee song (duration) was statistically different between the regions, but in the opposite direction to what we had predicted, with forest songs showing longer durations. None of the parameters of the southern house wren song were different between the campus

and the forest, and one (F95%) approached significance, and in the expected direction (campuses songs with higher frequency).

Our reduced sample size may have influenced our results, but the independence criterion we employed precluded employing other songs from our recordings, and the reduced size of the study area proved to be limiting in obtaining further recordings. Future studies with a similar design should be conducted in adjacent, but larger areas. Another factor that may have contributed to the wren results is the high level of individual variation in their songs (see Corbo, 2007). High levels of individual variation could make it difficult to obtain statistically significant results.

Besides these potential methodological issues, there are several non-mutually exclusive biological hypotheses to explain such unexpected results. First, since all these birds probably belong to the same populations, it may be the case that the whole population has already gone through a long or medium-term change in their song. Thus, the songs are already “tuned” to the noisiest part of its range, not showing any short-term change in response to the quieter area. To test this hypothesis, one should compare song parameters between this population and populations of the same species inhabiting forest fragments in distant, rural areas, or within protected areas. Then, we would expect the songs of the populations of the rural/protected areas to be different from those of our population. Depending on the kind of mechanism responsible for the change (evolutionary vs. ontogenetic) one could expect differences between oscines and suboscines in the second, but not in the first mechanism. This design also allows testing another hypothesis, namely, that these species do not show capacity to adjust their song levels (this would then leave open the question as to how they were able to adapt so well to the urban environment). Some multi-species studies have already shown that not all species living in noisier places show song changes (Cardoso and Atwell, 2011; Dowling et al., 2011).

Another possibility is that the birds may simply show changes in amplitude (Lombard effect), and the songs of the noisier areas are just louder than those of the quieter areas. To test this, it would be necessary to measure amplitude in the field, something that is particularly challenging within forested areas, given the presence of obstacles between source and meter and the lack of control of distance or difficulty of measuring it accurately.

A fourth explanation is that the level of noise in the campus area of our study is not as high as other areas with human noise and, thus, this population does not suffer interference from the noise, eliminating the pressure for a change. Our measured noise levels in the campus are in line with some studies that have measured noise in cities and/or close to roads (Slabbekoorn and Peet, 2003; Ríos-Chelén et al., 2012a), but not with others (Dowling et al., 2011; Halfwerk et al., 2011; Páton et al., 2012). Nonetheless, previous studies have shown song changes at noise levels similar to ours (e.g. Ríos-Chelén et al., 2012a). Thus, in order to check this possibility, one could either compare the songs of these species at sites showing a broader range of noise levels or carry out an experiment, exposing the birds to different sound levels (as in Halfwerk and Slabbekoorn, 2009; Verzijden et al., 2010).

In conclusion, we did not find that two Neotropical bird species (an oscine and a suboscine) belonging to a single populations show different songs according to the noise levels of the environment. Although our results are non-conclusive, and there are several alternative hypotheses, they point to the possibility that there might not be short term acoustic adaptation in bird song features in these species (or that there might not be a difference between oscines and suboscines or learners vs. non-learners). In light of current increase in the extent of influence of human noise in several environments, addressing this question may become ever more important in the near future, and this kind of study should be replicated with a range of species, environments and noise levels.

**Acknowledgements**

We thank Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante for help with the sound level meter and useful discussions on the experimental design. Diogo Olivetti helped us producing the map of the study area. PUC-Minas kindly allowed us to carry out the field data collection.

## References

- BERMÚDEZ-CUAMATZIN, E., RÍOS-CHELÉN, AA., GIL, D. and GARCIA, CM., 2009. Strategies of song adaptation to urban noise in the house finch: syllable pitch plasticity or differential syllable use? *Behaviour*, vol. 146, p. 1269-1286.
- BIOACOUSTICS RESEARCH PROGRAM., 2011. Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.4) [Computer software]. The Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY. Available from: <http://www.birds.cornell.edu/raven>.
- BRIEFER, E, OSIEJUK, TS, RYBAK, F and AUBIN, T., 2010. Are bird song complexity and song sharing shaped by habitat structure? An information theory and statistical approach. *Journal of Theoretical Biology*, vol. 262, p. 151-164.
- BRUMM, H. and SLABBEKOORN, H., 2005. Acoustic Communication in Noise. *Advances in the Study of Behaviour*, vol. 35, p.151-209.
- BRUMM, H. and SLATER, PJB., 2005. Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 60, p. 475-481.
- BRUMM, H. and TODT, D., 2002. Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Animal Behavior*, vol. 63, p. 891-897.
- CARDOSO, GC., ATWELL, JW., 2011. On the relation between loudness and the increased song frequency of urban birds. *Animal Behaviour*, vol. 82, p. 831-836.
- CATCHPOLE, CK. and SLATER, PJB., 2008. Bird song: biological themes and variations. Cambridge: University Press, 348 p.
- CAVALCANTE, KVSM., 2009. Avaliação acústica ambiental de habitats de passeriformes expostos a ruídos antrópicos em Minas Gerais e São Paulo. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 124 p. Dissertação de mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia.

- CORBO, MC., 2007. Tratamento multimídia da variação individual do canto de *Troglodytes aedon* (troglodytidae) na cidade de Campinas, Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 177 p. Dissertação de Mestrado em Multimeios - Instituto de Artes da Universidade Estadual de Campinas.
- CHARIF, RA, WAACK, AM and STRICKMAN, LM., 2010. Raven Pro 1.4 User's Manual. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology, 379 p.
- CORTOPASSI, KA. Automated and Robust Measurement of Signal Features., 2006. Available from: <<http://www.birds.cornell.edu/brp/research/algorithm/automated-and-robust-measurement-of-signal-features>> Access in: 7 jul. 2014.
- CYNX, J, LEWIS, R, TAVEL, B. and TSE, H., 1998. Amplitude regulation of vocalization in noise by a songbird, *Taeniopygia guttata*. *Animal Behaviour*, vol. 56, no. 1, p. 107-113.
- DOWLING, JL, LUTHER, DA. and MARRA, PP., 2011. Comparative effects of urban development and anthropogenic noise on bird songs. *Behavioral ecology*, vol. 23, p. 201-209.
- ENDLER, J. A., 1992. Signals, signal conditions, and the direction of evolution. *The American Naturalist*, vol. 139, p. S125-S153.
- EGNOR, SER, WICKELGREN, JG and HAUSER, MD., 2007. Tracking silence: adjusting vocal production to avoid acoustic. *Journal Comparative Physiology*, vol.193, no. 4, p. 477-483.
- ESRI., 2012. ArcGIS Desktop: Release 10.1 Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute
- FERNÁNDEZ-JURICIC, E., POSTON, R, COLLINBUS, KD, MORGAN, T, BASTAIN, B., MARIN, C., JONES, K and TREMINO, T., 2005. Microhabitat selection and singing behavior patterns of male House Finches (*Carpodacus mexicanus*) in

urban parks in a heavily urbanized landscape in the western U.S. *Urban Habitats*, vol. 3, no.1, p. 49-69.

FULLER, RA., WARREN, PH., GASTON, KJ., 2007. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters*, vol. 3, no. 4, p. 368-370.

HALFWERK, W., HOLLEMAN, LJM., LESSELLS, CM. and SLABBEKOORN, H., 2011. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of applied ecology*, vol. 48, p. 210-219.

HALFWERK, W. and SLABBEKOORN, H., 2009. A behavioral mechanism explaining noise-dependent frequency use in urban birdsong. *Animal Behaviour*, vol. 78 p. 1301-1307.

KROODSMA, D., 1989. Male eastern phoeves (*Sayornis phoeve*; Tyrannidae, Passeriformes) fail to imitate songs. *Journal of Comparative Psychology*, vol. 103, no. 3, p. 227-232.

MENDES, S., CAVALCANTE, KVSM., COLINO-RABANAL, VJ. and PERIS, SJ., 2010. Evaluación del impacto de la contaminación acústica en el rango de vocalización de Paseriformes basado en el SIL – “Speech Interference Level”. *Revista de Acústica*, vol. 41, no. 3-4, p. 33-42.

MILLER, PJO., BIASSONI, N., SAMUELS, A. and TYACK, PL., 2000. Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature*, vol. 405, p. 903.

NASCIMENTO, VD. 2007. Variação geográfica no canto de três espécies de Oscines (aves), ao longo da BR-174, na região centro-norte da Amazônia. Manaus: INPA/UFAM. 63f. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas.

NELSON, DA., 1989. The importance of invariant and distinctive features in species recognition of bird song, *The Condor*, vol. 91, no. 1, p. 120-130.

- NORDEEN, KW. and NORDEEN, EJ., 1992. Auditory-feedback is necessary for the maintenance of stereotyped song in adult zebra finches. *Behavioral and Neural Biology*, vol. 57, no. 1, p. 58–66.
- OKANOYA, K. and YAMAGUCHI, A., 1997. Adult Bengalese Finches (*Lonchura striata* var. *domestica*) require real-time auditory feedback to produce normal song syntax. *Journal of Neurobiology*, vol. 33, no. 4, p. 343–356.
- PATÓN, D., ROMERO, F., CUENCA, J. and ESCUDERO, JC., 2012. Tolerance to noise in 91 bird species from 27 urban gardens of Iberian Peninsula. *Landscape and Urban Planning*, vol. 104, no. 1, p. 1-8, 2012.
- PATRICELLI, GL. and BLICKLEY, JL., 2006. Avian communication in urban noise: Causes and consequences of vocal adjustment. *The Auk*, vol.123, no. 3, p. 639–649.
- RHEINDT, FE., 2003. The impact of roads on birds: Does songs frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal of Ornithology*, vol. 144, no. 3. P. 295-306.
- RÍOS-CHELÉN, AA., QUIRÓZ-GUERRERO, E., GIL, D. and GARCIA, CM., 2012. Dealing with urban noise: vermilion flycatchers sing longer songs in noisier territories. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 67, p. 145-152.
- RÍOS-CHELÉN, AA; SALABERRIA, C., BARBOSA, I., MACIAS-GARCIA, C. and GIL, D., 2012. The learning advantage: bird species that learn their song show a tighter adjustment of song to noisy environments than those that do not learn. *Journal of Evolutionary Biology*, vol. 25, p. 2171-2180.
- RIPMEESTER, EAP., MULDER, M. and SLABBEKOORN, H., 2010. Habitat-dependent acoustic divergence affects playback response in urban and forest populations of the European blackbird. *Behavioral Ecology*, vol. 21, p. 876-883.

- SLABBEKOORN, H. and BOER-VISSER, AD., 2006. Cities Change the Songs of Birds. *Behavioural Biology*, vol. 16, no. 23, p. 2326-2331.
- SLABBEKOORN, H. and PEET, M., 2003. Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, vol. 424, no. 6946, p. 267.
- SLABBEKOORN, H. and RIPMEESTER, EAP., 2008. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, vol. 17 p. 72-83.
- SUN, JWC. and NARINS, PA., 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation*, vol. 121, p. 419-427.
- VERZIJDEN, MN., RIPMEESTER, EAP., OHMS, VR., SNELDERWAARD, P. and SLABBEKOORN, H., 2010. Immediate spectral flexibility in singing chiffchaffs during experimental exposure to highway noise. *The journal of experimental biology*, vol. 213, p. 2575-2581.
- WARREN, PS., KATTI, M., ERMANN, M. and BRAZEL, A., 2006. Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour*, vol. 71, no. 3, p. 491–502.
- WILEY, RH., 1994. Errors, exaggeration, and deception in animal communication. In: REAL, L. *Behavioral Mechanisms in Ecology*. Chicago: University of Chicago, p. 157-189. Este você fala que ia ver se entrava.
- WOOD, WE. and YEZERINAC, SM., 2006. Song Sparrow (*Melospiza melodia*) song varies with urban noise. *The Auk*, v. 123, n. 3, p. 650–659.

**Figure legends**

**Figure 1** – Location of the field site and satellite image showing the adjacent forest and urbanized areas.

**Table 1** – Noise levels in decibels in the forest and in the campus environments of the two study species at PUC Minas, Belo Horizonte, Brazil.

|   |                                | Forest     | Campus     |
|---|--------------------------------|------------|------------|
|   |                                | N=14       | N=23       |
| Great kiskadee ( <i>Pitangus sulphuratus</i> )      | Mean $L_{\text{esp}}$ (SD)     | 45.8 (3.3) | 53.3 (1.5) |
|   | Median $L_{\text{esp}}$        | 45.4       | 53.4       |
|   | Mean $L_{\text{eq(esp)}}$ (SD) | 36.3 (3.3) | 43.8 (1.5) |
|   | Median $L_{\text{eq(esp)}}$    | 35.9       | 43.8       |
| Southern house wren ( <i>Troglodytes musculus</i> ) | Mean $L_{\text{esp}}$ (SD)     | 43.2 (3.1) | 51.6 (1.8) |
|   | Median $L_{\text{esp}}$        | 42.8       | 51.3       |
|   | Mean $L_{\text{eq(esp)}}$ (SD) | 34.1 (3.1) | 42.6 (1.8) |
|   | Median $L_{\text{eq(esp)}}$    | 33.8       | 42.4       |

**Table 2** – Comparison of parameters of the great kiskadee song between the forest and the campus environments at PUC Minas, Belo Horizonte, Brazil.

|                                   | Forest<br>(N=9)<br>Mean (SD) | Campus<br>(N=5)<br>Mean (SD) | Statistic       | p-value      |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| F5% (Hz)                          | 2062 (409)                   | 2142 (274)                   | t = -0.39       | 0.7          |
| F95% (Hz)                         | 3845 (463)                   | 3727 (350)                   | t = 0.49        | 0.63         |
| Duration 90% (s)                  | <b>0.81 (0.11)</b>           | <b>0.7 (0.05)</b>            | <b>t = 2.33</b> | <b>0.038</b> |
| Peak frequency (Hz)               | 3363 (299)                   | 3314 (267)                   | t = 0.30        | 0.77         |
| Number of initial syllables       | 2 (0.5)                      | 1.8 (0.3)                    | t = 1.05        | 0.31         |
| F5% last syllable (Hz)            | 1847 (445)                   | 2016 (209)                   | t = - 0.79      | 0.44         |
| F95% last syllable (Hz)           | 3562 (497)                   | 3269 (434)                   | t = 1.10        | 0.29         |
| Duration 90% last syllable (s)    | 0.24 (0.05)                  | 0.24 (0.06)                  | t = - 0.17      | 0.87         |
| Peak frequency last syllable (Hz) | 2818 (335)                   | 2815 (387)                   | t = 0.02        | 0.99         |

**Table 3** – Comparison of parameters of the southern house wren song between the forest and the campus environments at PUC Minas, Belo Horizonte, Brazil.

|   | Forest<br>(N=11)<br>Mean (SD) | Campus<br>(N=8)<br>Mean (SD) | Statistic | p-value |
|---|-------------------------------|------------------------------|-----------|---------|
| F5% (Hz)  | 2483 (335)                    | 2400 (240)                   | t = 0.60  | 0.56    |
| F95% (Hz)   | 4722 (542)                    | 5320 (717)                   | t = -2.07 | 0.05    |
| Duration 90% (s)                                    | 1.02 (0.27)                   | 1.18 (0.23)                  | t = -1.40 | 0.18    |
| Peak frequency (Hz)                                 | 3506 (299)                    | 3543 (224)                   | t = -0.30 | 0.77    |
| Total number of syllables                           | 17.4 (3.1)                    | 17.9 (1.7)                   | t = -0.36 | 0.73    |
| Number of different syllables                       | 9.2 (2.1)                     | 9.3 (2.4)                    | t = -0.10 | 0.93    |
| Number of repetitions in the middle section         | 9.5 (2.3)                     | 9.4 (2.4)                    | t = 0.10  | 0.92    |
| Number of different syllables in the middle section | 2.45 (0.93)                   | 2.25 (0.46)                  | U = 36    | 0.47    |
| Versatility   | 0.53 (0.12)                   | 0.52 (0.13)                  | t = 0.14  | 0.89    |

**Figure 1**



