

O CANTO COMO SINAL DE QUALIDADE E IDENTIDADE EM MACHOS  
DE *Saltator similis* (AVES: THRAUPIDAE)

**RICARDO BRIOSCHI LYRA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

JUNHO DE 2017



O CANTO COMO SINAL DE QUALIDADE E IDENTIDADE EM MACHOS  
DE *Saltator similis* (AVES: THRAUPIDAE)

**RICARDO BRIOSCHI LYRA**

Dissertação apresentada ao Centro de  
Biotecnologia e Biociências, da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense, como parte das  
exigências para obtenção do título de Mestre em  
Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Carlos Ramón Ruiz-Miranda, PhD

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

JULHO DE 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do Centro de Biociências e Biotecnologia  
da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

682 / 2017

Lyra, Ricardo Brioschi

O canto como sinal de qualidade e identidade em machos de *Saltator similis* (Aves: Thraupidae) / Ricardo Brioschi Lyra. -- Campos dos Goytacazes, 2017.  
vii, 45, [3] f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) –  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de  
Biociências e Biotecnologia. Laboratório de Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecologia de Organismos

Orientador: Ruiz-Miranda, Carlos Ramón

Bibliografia: f. 38-43

1. Bioacústica 2. Condição física 3. Seleção sexual 4. Comunicação  
animal 5. Força da mordida I. Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro II. Título

591.5  
L992c

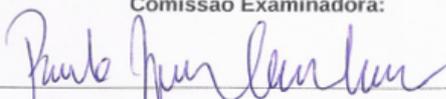
O CANTO COMO SINAL DE QUALIDADE E IDENTIDADE DE MACHOS EM UM  
PASSERIFORME SEM DIMORFISMO SEXUAL, O TRINCA-FERRO (AVES: THRAUPIDAE)

RICARDO BRIOSCHI LYRA

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e  
Biotecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense,  
como parte das exigências para obtenção do título de Mestre  
em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em 24 de março de 2017.

Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Paulo Henrique Chaves Cordeiro – MNRJ

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Ana Maria Matoso Viana Bailez – LEF/CCTA-UENF

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leandro Rabello Monteiro – LCA/CBB-UENF

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos R. Ruiz-Miranda – Orientador – LCA/CBB-UENF

## AGRADECIMENTOS

- ✓ Ao Professor Carlos Ramón Ruiz-Miranda pela oportunidade concedida para a realização do presente trabalho, além da ajuda e orientação no mesmo e também pela “camaradagem” no processo;
- ✓ A CAPES e a UENF pela bolsa concedida, sem a qual não seria possível o desenvolvimento do projeto;
- ✓ Ao Setor de Etologia, Reintrodução e Conservação de Animais Silvestres (SERCAS) da UENF, pelo espaço e recursos disponibilizados para o trabalho;
- ✓ Ao Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) da UENF pela disponibilidade do uso de seus recursos durante o período de realização deste trabalho;
- ✓ A Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPGERN) pela prontidão em responder quaisquer dúvidas;
- ✓ Aos professores integrantes da banca de defesa de projeto: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Matoso Viana, Prof. Dr. Leandro Rabello Monteiro, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina Gaglianone;
- ✓ Aos professores integrantes da banca de defesa da dissertação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Maria Matoso Viana, Prof. Dr. Leandro Rabello Monteiro, Dr. Paulo Henrique Chaves Cordeiro, Prof. Dr. Omar Eduardo Obailez e Prof. Dr.<sup>a</sup>. MaLinda Henry por aceitarem fazer parte da mesma e pelas colaborações e sugestões oferecidas;
- ✓ À professora Ana Maria Matoso Viana pela supervisão e pelo auxílio com todas documentações durante o período de afastamento do meu orientador;
- ✓ Ao professor Leandro Rabello Monteiro pelo grande auxílio no desenvolvimento das análises estatísticas e pelas colaborações na discussão dos resultados;
- ✓ Ao professor Marcelo Rodrigues Nogueira pelas sugestões valiosas para a organização para a defesa;
- ✓ A todos os professores associados ao LCA e PPGERN da UENF por participarem de alguma forma no meu processo de formação acadêmica e também à coordenadora do programa de pós-graduação, Ilana Rosental Zalmon pela disponibilidade e boa vontade nos momentos em que precisei de ajuda na resolução de questões burocráticas;

- ✓ A todos os funcionários e técnicos do LCA e PPGERN da UENF que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, em especial ao Técnico Ivanilton Ribeiro, pela ajuda nas tarefas cotidianas e pelo cuidado compartilhado com os Trinca Ferros;
- ✓ A toda minha família, especialmente meus pais Elson Augusto Lyra Souza e Lucimere Brioschi e também a minha namorada Sara Gütler Lübe, pelo incentivo constante, apoio moral e paciência, além de todo amor que compartilhamos, essencial para conseguir superar todas as dificuldades encontradas durante esse período;
- ✓ Aos amigos de longa data (dos tempos de Alegre e anteriores) e também àqueles de períodos mais recentes (todos que conheci em Campos) que, independente da distância, sei que torcem por mim, assim como torço por eles;
- ✓ A todos que trabalham ou trabalharam no SERCAS pela dedicação e conversas interessantes que permitiram novas ideias para o trabalho, em especial Erica Andrade Maciel, pelo carinho e cuidado compartilhado com os Trinca Ferros, principalmente durante o período de chegada dos mesmos, período este bastante atribulado e de muitas preocupações com o bem estar dos animais;
- ✓ A Livia Dias Cavalcante pelos inúmeros *brainstorms*, além das dificuldades compartilhadas e superadas em conjunto;
- ✓ Ao amigo Breno da Rocha Mellado pela ajuda ao fotografar os animais;
- ✓ Aos Trinca Ferros participantes do trabalho, agradeço e peço desculpas por todos os transtornos que passaram desde os momentos iniciais de captura (não realizada por nós), transporte e manutenção em cativeiro.

## Sumário

Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. Introdução.....	3
2. Objetivos.....	7
3. Materiais e Métodos.....	7
3.1. Condições de Cativeiro.....	7
3.2. Gravação.....	8
3.3. Análise dos espectrogramas.....	9
3.4. Taxas de Vocalização.....	13
3.5. Medidas morfométricas.....	14
3.6. Força de mordida.....	17
3.7. Cálculo do índice de condição física.....	18
3.8. Relações entre Estrutura Acústica, Morfologia, Condição Física e Força de Mordida.....	19
3.9. Variação vocal entre indivíduos.....	21
3.10. Considerações sobre as análises estatísticas.....	21
4. Resultados.....	22

4.1. Descrição breve quanto às mensurações.....	22
4.2. Taxas de vocalização.....	25
4.3. Cálculo do índice de condição física.....	25
4.4. Relação entre Variação Morfométrica e Força de Mordida.....	26
4.5. Relações entre canto, condição física e força de mordida.....	28
4.6. Variação vocal entre indivíduos.....	30
5. Discussão.....	32
5.1. Comparativo das taxas para os períodos da manhã e da tarde.....	32
5.2. Relações entre as variáveis morfométricas e a Força de Mordida.....	33
5.3. Relações entre o canto, condição física e força de mordida.....	34
5.4. Variação vocal entre indivíduos.....	36
6. Conclusões.....	37
7. Referências Bibliográficas.....	39
Anexo 1. Informações sobre a realização das yPCAs.....	45

## Índice de figuras

Figura 1 - O Trinca Ferro ( <i>Saltator similis</i> ). Foto: Ricardo B. Lyra.....	5
Figura 2 - Espectrogramas representativos dos cantos principais de cada indivíduo gravado. O eixo x representa o tempo em segundos e o eixo y a frequência em Hertz (para os Trinca Ferros 14, 21 e 25) e em KiloHertz (para os demais) . Cada Trinca Ferro (TF) se encontra representado por um número, referente à ordem de registro no SERCAS.....	9
Figura 3 - Espectrograma representando a mensuração de algumas das variáveis acústicas. O eixo x representa o tempo e o eixo y a Frequência. As variáveis representadas são Frequência inicial (Fi), Frequência final (Ff), Grau de Inclinação (Ginc), Frequência mais alta (FAGuda), Frequência mais baixa (Fgrave), FAGuda - FGrave (Dfreq) , Frequência máxima (FMax).....	11
Figura 4 - Espectrograma representando as Taxa Geral (TG) e Taxa de Canto Inteiro (TC). Como pode ser visto, em TG está incluído um canto incompleto, pois falta a última sílaba (região representada pelo círculo vermelho).....	14
Figura 5 - Representação aproximada das variáveis morfométricas utilizadas. A) amarelo - Largura Pós-Orbital (LPO), azul claro - largura do bico na base verde - largura do bico na narina, vermelho - narina-ponta, azul escuro - cúlmen exposto; B) azul claro - largura da faixa superciliar, verde - comprimento da faixa superciliar, amarelo - comprimento da cabeça, vermelho - altura do bico na base, azul - altura do bico na narina; C) azul - diâmetro do tarso (sempre na posição ilustrada), vermelho - comprimento do tarso. Fotos: Breno Mellado.....	16

<p>Figura 6: Procedimento para obtenção da força de mordida. Na foto, um indivíduo de <i>Saltator similis</i> se encontra mordendo a região do sensor sensível à pressão aplicada. Foto: Breno Mellado.....</p>	18
<p>Figura 7: Correlação entre o logaritmo do Peso (LogPeso) e A) o logaritmo do Diâmetro do Tarso (LodTdiam) e B) o logaritmo do Comprimento do Tarso (LogTcomp), em base e.....</p>	25
<p>Figura 8 - Regressão entre força de mordida e o primeiro yPC das variáveis morfométricas. As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% da regressão.....</p>	27
<p>Figura 9 - Regressão entre o índice de condição física (ICF) e o primeiro yPC das variáveis acústicas. As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% da regressão.....</p>	29

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Variáveis acústicas mensuradas e suas referentes abreviações utilizadas.....	12
Tabela 2 - Variáveis morfométricas e suas respectivas com desvio padrão....	23
Tabela 3 - Variáveis Acústicas com suas respectivas médias e desvio padrão. .....	24
Tabela 4 - Coeficientes do primeiro componente principal das variáveis morfométricas informado pela força de mordida.....	28
Tabela 5 - Coeficientes do primeiro componente principal das variáveis acústicas informado pelo índice de condição física (ICF).....	30
Tabela 6 - Matriz de confusão proveniente da validação cruzada da Análise de Função Discriminante, com porcentagem de classificações corretas para cada indivíduo. A classificação original está nas linhas e a predita nas colunas.....	31
Tabela 7 - Coeficientes das funções lineares para os três primeiros eixos (LD1, LD2 e LD3) da Análise Linear Discriminante. As variáveis com maior influência se encontram com os coeficientes destacados em negrito.....	31
Tabela 8 - Variáveis mais influentes dentro dos modelos da Análise Linear Discriminante (nos três primeiros eixos lineares - LD1, LD2 e LD3) e da PCA-Y-Aware para o Índice de Condição Física (yPC1).....	32

**Resumo:** O canto das aves é comumente associado com processos ecológicos importantes, como a seleção sexual e a defesa de territórios. Apesar disso, pouco se sabe sobre qual tipo de informação pode ser transmitido entre indivíduos. Para atuar em tais contextos sociais, o canto deve sinalizar honestamente a qualidade do emissor. Tal qualidade, pode ser indicada pela condição física e força de mordida, entre outros fatores. O Trinca Ferro é uma boa espécie modelo para avaliar tais relações pois os machos defendem seus territórios ao longo do ano, além de possuir um canto característico relativamente estereotipado, o qual se acredita estar associado à seleção sexual, devido à ausência de dimorfismo sexual aparente. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é avaliar a individualidade no canto do Trinca Ferro e como esta informação se relaciona com indicadores de condição física, morfologia e *fitness*. Foi conduzida uma Análise Linear Discriminante (ALD) com a finalidade de verificar a ocorrência de individualidade vocal além de destacar as principais variáveis acústicas associadas à mesma. Para avaliar a relação entre o índice de condição física, força de mordida, morfometria e as variáveis acústicas, foram conduzidas PCAs-Y-Aware. As variáveis morfométricas, particularmente a Largura Pós-Orbital (LPO), explicaram 23% da variação da força de mordida. A LPO é associada com a área cranial em que os músculos adutores da mandíbula se inserem. A variação acústica explicou 40% da variação do índice de condição física, mas uma pequena, não significativa, parte da força de mordida (8%). O modelo da ALD baseada nas variáveis acústicas apresentou 96,84% de acurácia. Algumas das variáveis acústicas que mais atuaram na classificação individual foram as mesmas que apresentaram grande influência na análise da condição física. Tais resultados sugerem que o canto, para a espécie, atua como um sinal honesto da condição física dos indivíduos, adequando o mesmo ao modelo dos Bons Genes para seleção sexual.

**Abstract:** Birdsongs are commonly associated with important ecological and evolutionary processes, such as territorial defense and sexual selection. Despite this, little is known about the kind of information transmitted between individuals. To act in such social contexts, the song should be an honest signal of the quality of the emitter. Such quality may be indicated by the body condition and bite force. The green-winged saltator is a good model species to assess such relations because the males defend their territories throughout the year, besides possessing a relatively stereotyped characteristic song, which is believed to be associated with sexual selection, due to the apparent absence of sexual dimorphism. Therefore, the main objective of the present work is to assess individual differences in the green-winged saltator's song and how it relates to body condition, morphology and bite force as fitness indicators. We conducted a Linear Discriminant Analysis (ALD) with the purpose of verifying the occurrence of vocal individuality and identifying the principal acoustic variables associated with it. To evaluate the relationship between the body condition index, bite force, morphometric and bioacoustics variables, we conducted Y-Aware PCAs. The morphometric variables, particularly head width, explained 23% of bite force variation. The head width is associated with the cranial area in which the mandible adductor muscles are inserted. The acoustic variation explained 40% of body condition index variation, but a small non-significant amount of bite force (8%). The ALD model based on acoustic variables presented 96,84% of accuracy. Some of the acoustic variables that are more relevant for the individual classification were the same that presented high influence in the physical condition analysis. These results suggest that the song, for the species, act as an honest signal of an individual's body condition, fitting in the Good Genes model of sexual selection.

## 1. Introdução

Para Aves, supõe-se que o canto possui valor adaptativo alto, estando diretamente relacionado ao *fitness*, seja atuando sobre o processo de localização de indivíduos, ou associado ao processo de seleção sexual, através da defesa de territórios e escolha de parceiros (Catchpole, 1987; Kroodsma & Byers, 1991; Slabbekoorn & Smith, 2002). Para atuar no processo de seleção sexual, devem estar contidas informações que influenciem sobre a escolha dos parceiros reprodutivos, como, por exemplo, a condição física. Para a defesa de territórios, além da condição física ser um atributo importante, há informações sobre outros atributos que poderiam influenciar o sucesso de defesa, tais como a força de mordida. Ambos conjuntos de informações, poderiam atuar como uma ferramenta prévia de avaliação de risco quanto a possíveis conflitos interindividuais.

Com base em informações para grupos taxonômicos diversos (Morcegos - August, 1985; e Aves - García, *et al.*, 2014), pode-se dizer que a comunicação pode ocorrer de forma a promover diferenças inter e intraespecíficas, com o segundo caso envolvendo variações populacionais e até mesmo individuais, ou seja, pode atuar em níveis hierárquicos diversos (Charrier & Harcourt, 2006; Tubaro & Lijtmaer, 2006; Lehongre *et al.*, 2008; Garamszegi *et al.*, 2008). Apesar de estudos como esses explorarem a individualidade vocal e seu contexto ecológico, poucos abordam que tipo de informação pode estar contida nos sons emitidos pelos indivíduos (Laiolo *et al.*, 2004).

A capacidade de identificação entre os indivíduos possui reflexos importantes sobre a ecologia dos mesmos. Mathevon *et al.* (2003) ilustra a associação entre reconhecimento social e sucesso reprodutivo em seu trabalho sobre a variação individual em duas espécies de gaivotas do gênero *Larus*, uma nidícola e uma nidífuga, onde em ambas ocorrem colônias reprodutivas. Neste trabalho constataram que para a espécie com o segundo tipo de comportamento, a variação vocal interindividual é maior, podendo estar associada ao fato de que, para sobreviver, a prole deve reconhecer seus pais e

se direcionar aos mesmos, diferentemente do primeiro caso, no qual os pais se dirigem aos próprios ninhos, onde se encontram seus filhotes.

Em aves neotropicais com territórios permanentes, uma hipótese proposta para explicar as relações competitivas entre machos é a *Dear Enemy Hypothesis* – DEH (Fisher, 1954). A DEH postula que as interações sociais agonísticas serão menos intensas quando forem entre vizinhos, por possuírem territórios estabelecidos e as chances de invasão entre vizinhos ser menor, reduzindo assim a competição pelo recurso espacial. Uma predição dessa hipótese é que o canto dos machos nessas espécies será pouco variável entre indivíduos e o repertório de cantos será pequeno. Uma das premissas da DEH é que haja alguma forma de reconhecimento individual, tal como assinaturas vocais (Fisher, 1954; Temeles, 1994). Apesar de alguns estudos abordarem o assunto descrevendo a ocorrência da DEH, as relações entre quais informações estão contidas no processo de comunicação entre os vizinhos permanece desconhecida (Nelson & Poesel, 2007; Brunton, 2008). Talvez haja informações indicativas de que um indivíduo possa sobrepujar o outro, em caso de conflito, relacionadas por exemplo à força de mordida ou atuando como um indicador honesto de condição física.

Neste contexto se insere o Trinca Ferro (*Saltator similis*, Passeriformes: Thraupidae; Figura 1), por ser uma espécie monogâmica que defende seu território ao longo de todo o ano, além de possuir um canto característico relativamente estereotipado, o qual acredita-se estar associado à seleção sexual, devido ao fato de não possuir dimorfismo sexual aparente. Ainda sobre seu canto, supõe-se a ocorrência de individualidade, devido também ao descrito acima (Sick, 1997; Piacentini *et al.*, 2015). Tais características tornam a espécie adequada ao contexto da DEH, tornando possível avaliar as questões supracitadas sobre a comunicação em tal contexto.



Figura 1 - O Trinca Ferro (*Saltator similis*). Foto: Ricardo B. Lyra.

Diversos aspectos podem estar relacionados à qualidade de um indivíduo, dentre estes, merecem destaque a condição física e a força de mordida. A condição física representa o estado energético (disponibilidade de reservas – gordura e proteínas) e tem relação com variáveis de peso e tamanho (Johnson *et al.*, 1985; Schamber *et al.*, 2009; Peig & Green, 2010). O estado energético pode estar associado, entre outros fatores, com melhores condições de saúde e/ou acesso a recursos. Assim, a condição física pode atuar como um sinal importante, por exemplo, no processo de seleção sexual. A força de mordida, por sua vez, pode também apresentar relações diversas com a ecologia dos organismos, principalmente, para o presente trabalho, no que se refere ao *trade-off* entre capacidade de velocidade na abertura do bico e força de mordida máxima aplicável. Tal relação pode estar associada ao tamanho corporal e formato do crânio, como observado para outros organismos (Vanhooydonck *et al.*, 2010; Corbin *et al.*, 2015). Além disso, a capacidade de modulação dos sons emitidos possui relação com o *trade-off* acima citado, tendo em vista que pode representar a capacidade vocal do indivíduo. Tal capacidade foi observada associada aos processos de comunicação em nível interespecífico para aves (Herrel *et al.*, 2005), porém, não há relatos para tais

relações em nível individual. Raciocínio contrário é o de que a força de mordida atua como sinal honesto de qualidade e pode ser transmitida como informação presente no canto.

Segundo a Hipótese dos Bons genes (*Good Genes Hypothesis*), se as vocalizações são realmente essenciais à escolha de parceiros reprodutivos, espera-se que o mesmo, além de possuir distinção entre indivíduos, deva conter informações que levem a escolhas preferenciais, tendendo à perfis ótimos que indicam certas relações genéticas, assim como para outras características associadas a esse tipo de seleção (Howard *et al.*, 1994; Houle & Kondrashov, 2002; Mays & Hill, 2004; Reinhold, 2004). Alguns trabalhos abordam tal papel ecológico e evolutivo, mostrando que as variações acústicas podem estar associadas a outros caracteres com reflexo sobre a aptidão individual (Ballentine *et al.*, 2004; Laiolo *et al.*, 2004). Estudando os Tentilhões de Darwin, Podos (2001) percebeu que variações na estrutura do canto, associadas principalmente a medidas de forma do bico e peso, podem ter gerado um mecanismo de isolamento entre as espécies por meio da comunicação, auxiliando no processo de especiação. Ainda sobre os Tentilhões, um possível *trade-off* entre força de mordida e velocidade de movimentação do bico pode ter apresentado grande influência sobre a irradiação adaptativa ocorrida no arquipélago de Galápagos (Podos & Nowicki, 2004; Podos *et al.*, 2004; Herrel *et al.*, 2009). É válido ressaltar que a maioria das espécies de Tentilhões de Galápagos possuem dimorfismos sexual evidente, diferentemente da espécie modelo utilizada no presente trabalho. A importância intraespecífica de diferenças na força de mordida e no tamanho do bico não têm sido estudadas.

A relação entre condição física e estrutura do canto pode ser entendida através da Teoria de Fonte-Filtro. Essa teoria postula que o som é produzido em uma estrutura fonadora, como a Seringe, e modulado em estruturas associadas, como a Traquéia e o Bico (em Aves) (Westneat *et al.*, 1993; Brittan-Powell & Dooling, 1997; Fletcher *et al.*, 2004; Riede *et al.*, 2006). Assim sendo, é de se esperar que as capacidades de produção e modulação do som possam variar entre indivíduos, devido por exemplo à motivação,

personalidade, tamanho e/ou condição física e energética, entre outros aspectos (Cucco & Malacarne, 1999; Slabberkoorn & Smith, 2002; Buchanan *et al.*, 2003; Garamszegi *et al.*, 2008; Akçay *et al.*, 2014).

Neste âmbito, surgem duas questões correlacionadas: 1) Qual informação se encontra presente no processo de comunicação entre os indivíduos? Esta indagação pode ser explorada por diversas abordagens, duas das quais envolvem a individualidade e a qualidade do emissor. 2) Dentre as informações transmitidas no processo de comunicação, quais possuem relação com a individualidade? Tal pergunta leva a uma importante relação: se a individualidade nas vocalizações representa um reflexo do estado do emissor, atuando como um indicador honesto de qualidade, ou se é apenas proveniente de diferenças morfológicas inerentes a cada indivíduo.

O presente trabalho tem por objetivo responder as seguintes perguntas: 1) Há diferenças individuais consistentes no canto dos machos? 2) O canto contém informações sobre condição física e/ou força de mordida? 3) A força de mordida está correlacionada a outras medições de condição física?

## **2. Objetivos**

O presente trabalho tem por objetivo principal verificar se o canto do Trinca Ferro contém informações sobre a condição física em nível individual, além de avaliar como a individualidade no canto se relaciona com tais variáveis. Deseja-se também verificar a relação da morfologia corporal com a força de mordida, com a finalidade de compreender quais aspectos morfológicos do indivíduo possuem melhor relação com a mesma.

## **3. Materiais e Métodos**

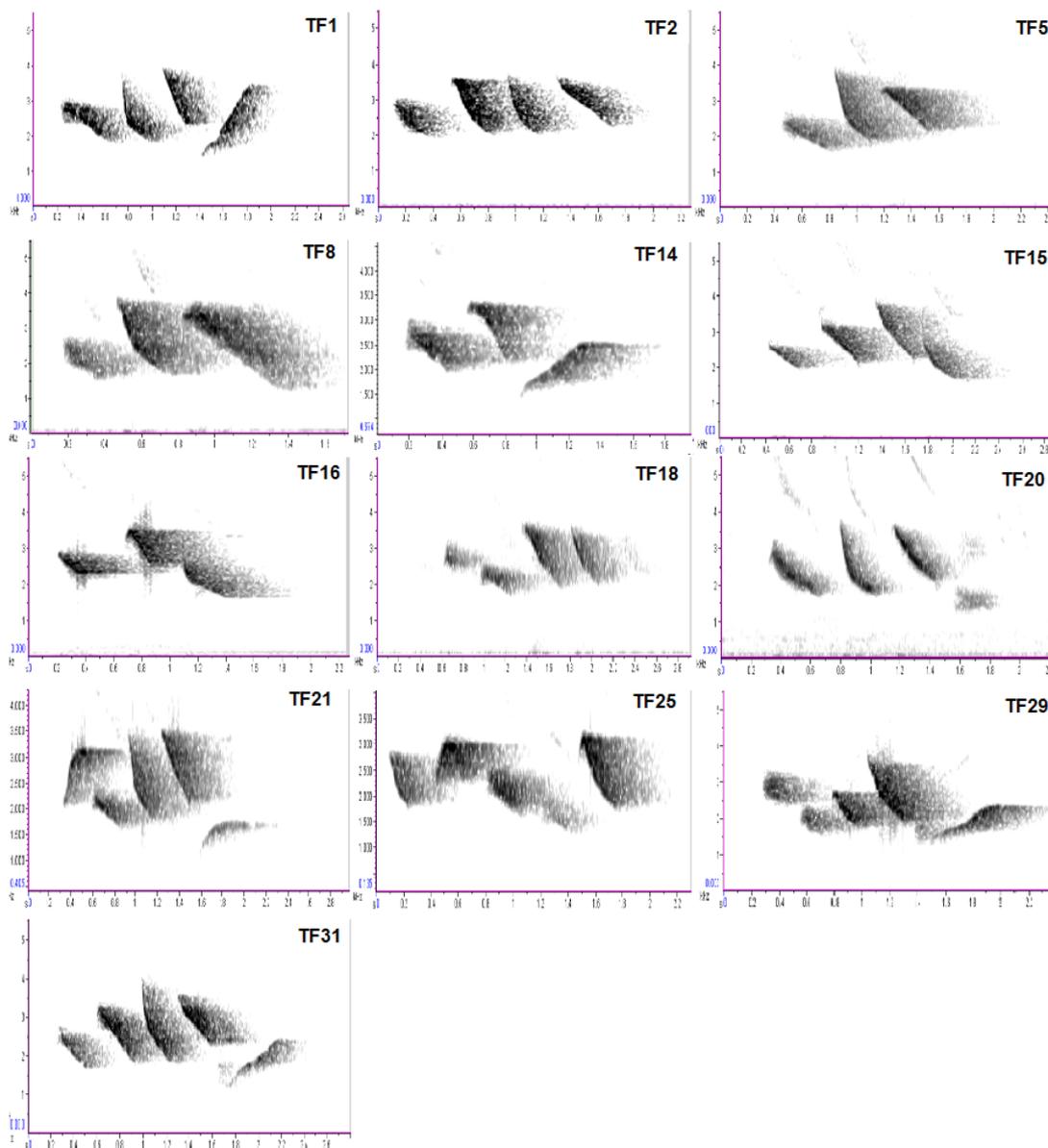
### **3.1. Condições de Cativeiro**

O estudo foi conduzido no Setor de Etologia, Reintrodução e Conservação de Animais Silvestres (SERCAS), localizado na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Todos os animais cativos passaram por sexagem, realizada pelos laboratórios ADN Diagnóstico e Soluções Moleculares e AVEX Tecnologia Biomolecular. Apenas machos foram utilizados

no estudo e, durante o período de gravação, todos foram submetidos às mesmas condições de tratamento, possuindo água e comida *ad libitum*. Os indivíduos foram mantidos em uma sala refrigerada, com temperatura estabelecida em 28°C, onde foi feito o isolamento visual entre os mesmos, porém, não o acústico. Anteriormente às gravações, houve um período de aclimação à sala que durou dois meses. Devido à influência que a carga parasitária poderia gerar sobre o experimento, todos os indivíduos passaram por etapas de tratamento com antiparasíticos e reforço vitamínico, idênticas e concomitantes. Durante o período de gravação, segundo avaliações veterinárias, as cargas parasitárias eram próximas entre todos os indivíduos, enquadrando-se dentro dos limites normais para Aves em cativeiro (dados não publicados, fornecidos pelos veterinários responsáveis).

### **3.2. Gravação**

Foram realizadas gravações com duração entre 15 e 30 minutos para 13 machos de *S. similis* em condições controladas, numa sala isolada. As gravações foram feitas com um microfone Sennheiser ME66 localizado a dois metros de distância do indivíduo em gravação e a 1,5 metros de altura. Foi utilizado um gravador Marantz PMD660 (taxa de amostragem de 44,1 KHz e resolução de 16 bits). As vocalizações foram gravadas entre setembro de 2015 e outubro de 2016, nos períodos da manhã (de 08:00 às 11:00 horas) e da tarde (de 13:00 às 15:00 horas). Foram realizadas três baterias de gravação por indivíduo, separadas por um período de tempo de uma semana, a fim de minimizar a influência do estado fisiológico de cada indivíduo em um mesmo dia sobre o canto. Foram isolados 5 cantos para cada indivíduo em cada bateria, obtendo-se 30 cantos por ave, com a exceção de alguns indivíduos que não vocalizaram o suficiente no período da tarde, gerando um mínimo de 19 cantos completos dentre todos os casos. Alguns indivíduos apresentam mais de um tipo de canto, porém, apenas o canto principal de cada um foi incluído na análise. O canto principal foi estabelecido como o mais frequente dentre o repertório de cada indivíduo e os selecionados se enquadram no tipo de canto que o conhecimento popular denomina como Boiadeiro (Figura 2).

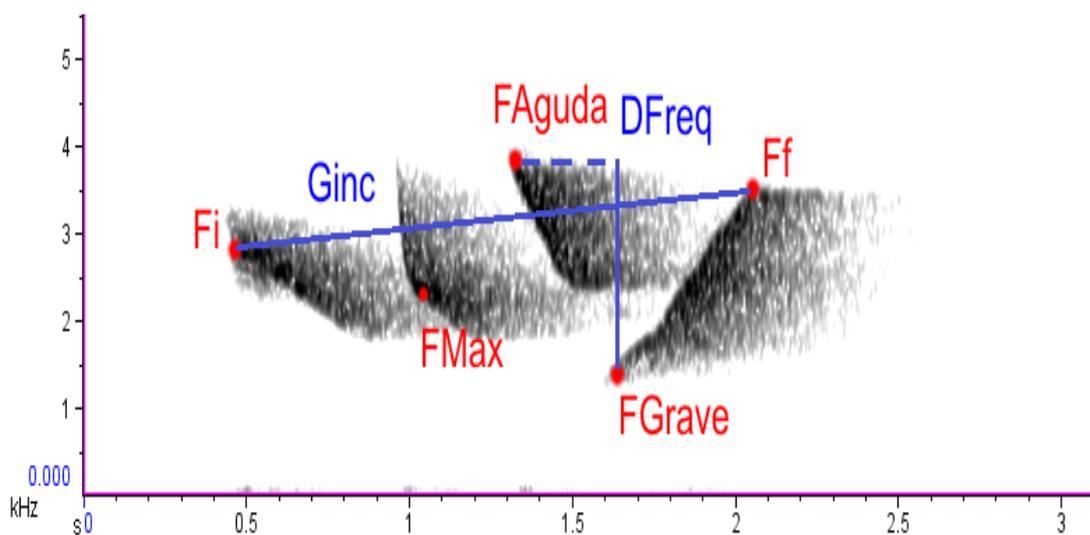


**Figura 2** - Espectrogramas representativos dos cantos principais de cada indivíduo gravado. O eixo x representa o tempo em segundos e o eixo y a frequência em Hertz (para os Trinca Ferros 14, 21 e 25) e em KiloHertz (para os demais) . Cada Trinca Ferro (TF) se encontra representado por um número, referente à ordem de registro no SERCAS.

### 3.3. Análise dos espectrogramas

As gravações foram inicialmente analisadas com uso do *software* Signal 4.0 (Engineering Design, 2009 ) com a finalidade de obtenção dos cantos isolados

de cada ave e também para o cálculo das taxas de vocalização. A análise e obtenção dos parâmetros espectrográficos foi realizada no *software* RavenPro 1.4 (The Cornell Lab of Ornithology, 2011). Os cantos foram avaliados de duas formas: (1) como uma unidade inteira – segundo a Teoria de Redundância de Sinal, a qual diz que a informação do som se encontra de forma integrada entre os componentes (nesse caso as sílabas) da vocalização; e (2) tratando sílabas como unidades separadas – segundo a Teoria de Mensagens Múltiplas, que se refere a diferentes componentes da vocalização possuindo diferentes funções informativas (Marler, 1960). Para o segundo caso, devido à inconstância das sílabas produzidas entre os indivíduos, tanto em número, quanto em ordem e estrutura (Figura 2), optou-se por trabalhar apenas com a primeira e a última sílaba dos cantos de cada indivíduo. Os parâmetros isolados para a análise do Canto Inteiro foram Frequência Aguda (F<sub>Aguda</sub>) – frequências apresentando maiores valores em Hertz; Frequência Grave (F<sub>Grave</sub>) – frequências apresentando menores valores em Hertz; Delta de Frequência (DFreq) – comprimento de banda de frequência ocupada ( $DFreq = F_{Aguda} - F_{Grave}$ ); Duração (Dur) – duração em segundos do ponto inicial (P<sub>i</sub>) ao ponto final (P<sub>f</sub>) do canto; Frequência Máxima (F<sub>Max</sub>) – Frequência contendo maior energia; Sílaba Pico (SPico) – sílaba em que se encontra a F<sub>Max</sub>; Número de Sílabas (NSil); e Grau de Inclinação (Ginc) – Taxa calculada pela subtração da Frequência Inicial (F<sub>i</sub>) pela Frequência Final (F<sub>f</sub>) e conseguinte divisão do resultado pela Duração do canto inteiro  $[(F_i - F_f)/Dur]$ . Com relação à análise de sílabas específicas (primeira e última), os parâmetros obtidos para cada uma foram F<sub>Aguda</sub>, F<sub>Grave</sub>, DFreq, Dur, F<sub>max</sub> e Ginc (Figura 3). Todos os valores de frequências foram avaliados na escala de KHz e os de tempo na escala de segundos. O tipo de janela dos espectrogramas foi padronizado como Hann e o tamanho do DFT em 1024 amostras. A tabela 1 informa as variáveis utilizadas e suas abreviações utilizadas posteriormente no texto, atuando como um glossário.



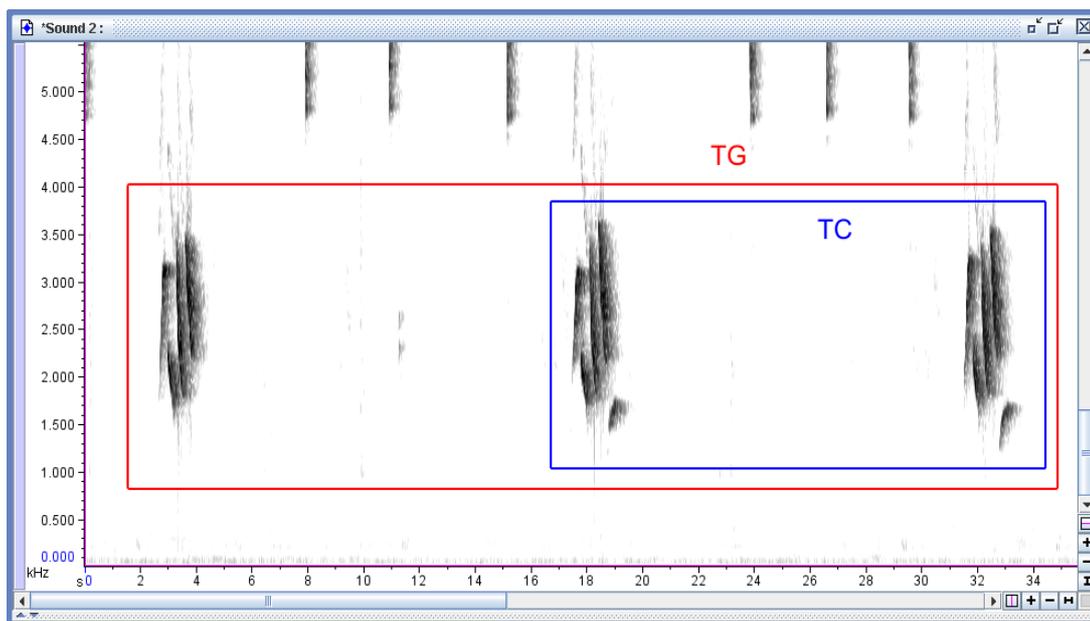
**Figura 3** - Espectrograma representando a mensuração de algumas das variáveis acústicas. O eixo x representa o tempo e o eixo y a Frequência. As variáveis representadas são Frequência inicial (Fi), Frequência final (Ff), Grau de Inclinação (Ginc), Frequência mais alta (FAGuda), Frequência mais baixa (Fgrave), FAGuda – FGrave (DFreq) , Frequência máxima (FMax).

Tabela 1 - Variáveis acústicas mensuradas e suas referentes abreviações utilizadas.

<b>Variável</b>	<b>Abreviação</b>
Frequência Grave do Canto Inteiro	FGraveCI
Frequência Aguda do Canto Inteiro	FAgudaCI
Delta de Frequência do Canto Inteiro	DFreqCI
Duração do Canto Inteiro	DurCI
Frequência Máxima do Canto Inteiro	FMaxCI
Grau de Inclinação do Canto Inteiro	GincCI
Número de Sílabas	NSil
Sílaba Pico	SilPico
Frequência Grave da Primeira Sílabas	FGravePS
Frequência Aguda da Primeira Sílabas	FAgudaPS
Delta de Frequência da Primeira Sílabas	DFreqPS
Duração da Primeira Sílabas	DurPS
Frequência Máxima da Primeira Sílabas	FMaxPS
Frequência Grave da Última Sílabas	FGraveUS
Frequência Aguda da Última Sílabas	AgudaUS
Delta de Frequência da Última Sílabas	DFreqUS
Duração da Última Sílabas	DurUS
Frequência Máxima da Última Sílabas	FMaxUS
Grau de Inclinação da Última Sílabas	GincUS

### 3.4. Taxas de Vocalização

As taxas de vocalização de cada indivíduo foram classificadas em dois tipos (Figura 4): 1) Taxa de cantos completos (TC), onde foram quantificadas apenas vocalizações em que todas as sílabas do canto completo do indivíduo se encontravam presentes; e 2) Taxa Geral (TG), em que foram quantificadas apenas vocalizações onde pelo menos duas sílabas se encontrassem emitidas em um intervalo de tempo próximo, incluindo os cantos completos. Os valores das taxas foram obtidos do número de emissões dividido pelo tempo de duração da gravação em que estão presentes. Além disso, foram obtidas as taxas de canto com relação ao horário de gravação – Manhã (M) *versus* Tarde (T). Assim, obteve-se as seguintes combinações para as taxas: TCM – Taxa de cantos completos para a manhã; TCT – Taxa de cantos completos para a tarde; TGM – Taxa Geral para a manhã; TGT – Taxa Geral para a tarde; TCMT – Taxas de cantos completos e Geral combinadas para o período da manhã; e TGMT – Taxas de cantos completos e Geral combinadas para o período da Tarde. Foi realizado um teste t pareado para cada tipo de taxa (TC e TG) e período do dia (TCM vs. TCT; e TGM vs. TGT), com a finalidade de saber se há diferença significativa em algum dos casos quanto ao período do dia. Caso não houvesse diferença para nenhum dos dois, trabalhar-se-ia com as taxas de ambos os períodos do dia de forma combinada (TCMT e TGMT) ao se analisar a individualidade, a fim de se obter uma variável representativa da consistência do canto. Além disso, dentre as duas finais, optou-se por trabalhar apenas com a taxa geral (TGMT), por ser uma representação mais ampla do uso do espaço acústico. Esta, por sua vez, foi submetida a regressões lineares com a força de mordida e com o índice de condição física, com a finalidade de verificar se, por si só, atua como indicador honesto de qualidade.



**Figura 4** - Espectrograma representando as Taxa Geral (TG) e Taxa de Canto Inteiro (TC). Como pode ser visto, em TG está incluído um canto incompleto, pois falta a última sílaba (região representada pelo círculo vermelho).

### 3.5. Medidas morfométricas

Os parâmetros morfométricos avaliados foram: comprimento do Tarso (Tcomp) – distância do calcanhar ao ponto mais anterior do tarso, com a pata dobrada; diâmetro do Tarso (Tdiam) – medida sempre obtida como referência as porções ventral e dorsal do tarso e nunca as laterais, tal observação é importante pois o tarso dos animais estudados não se apresentou perfeitamente circular; comprimento da faixa superciliar (FScomp) – distância do ponto mais rostral ao mais dorsal da faixa superciliar; largura da faixa superciliar (Fslarg) – medida na região central mais larga da faixa; comprimento da cabeça (CompCab) – distância do ponto mais dorsal do crânio até a ponta do bico; Cúlmen exposto (CExp) – distância do ponto mais proximal (base) ao mais distal (ponta) do bico; distância da narina à ponta do bico (NarPon); largura do bico na base (Blarg); largura do bico na narina (Nlarg); altura do bico na base (Balt); altura do bico na narina (Nalt); Largura do crânio da região pós-orbital (LPO) – *head width* em Herrel *et al.* (2005); e Peso (Figura 5). Para obter tais medidas foram utilizados um paquímetro digital Mitutoyo com precisão de

0,01 milímetros. Para a pesagem, os indivíduos foram capturados e mantidos dentro de sacos pretos de pano, para se obter o valor do peso, em seguida, os animais eram novamente colocados nas gaiolas e se obtinha o peso do saco sem o indivíduo. Subtrações do peso do indivíduo mais o saco pelo peso do saco revelaram os pesos de cada indivíduo. Para tal procedimento foi utilizada uma balança My Weigh, modelo 3001P/7001DX, com precisão de 1 grama.

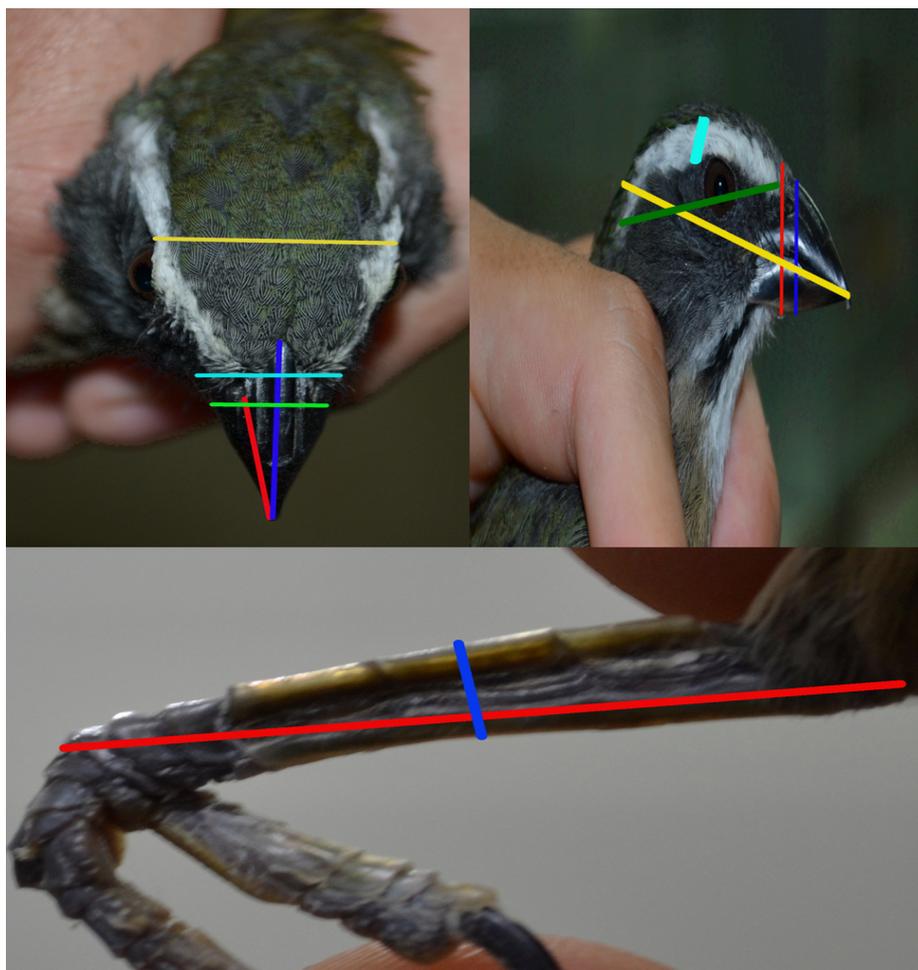


Figura 5 - Representação aproximada das variáveis morfométricas utilizadas. A) amarelo – Largura Pós-Orbital (LPO), azul claro – largura do bico na base verde - largura do bico na narina, vermelho – narina-ponta, azul escuro – cúlmen exposto; B) azul claro – largura da faixa superciliar, verde – comprimento da faixa superciliar, amarelo – comprimento da cabeça, vermelho – altura do bico na base, azul – altura do bico na narina; C) azul – diâmetro do tarso (sempre na posição ilustrada), vermelho – comprimento do tarso. Fotos: Breno Mellado.

### **3.6. Força de mordida**

A força de mordida dos animais foi medida utilizando o ELF<sup>™</sup> Force Measurement System da Tekscan®. Este sistema usa um sensor piezo-resistivo Flexiforce® B201, proposto por Freeman & Lemen (2008) para a medição de forças de mordida em pequenos mamíferos. Os sensores foram presos a palitos de madeira com aproximadamente 0,5 mm de espessura e oferecidos aos animais para morder durante a manipulação. Um operador segurava o animal, enquanto o outro segurava o sensor frontalmente, de modo a fazer com que o animal mordesse sempre na mesma posição e que todo o bico fosse utilizado na mordida. O sistema ELF grava forças de mordida em intervalos de 0,125 segundos em uma planilha, permitindo a estimativa da força de mordida como o máximo observado em um intervalo total de 30 segundos de experimentação. O sistema foi calibrado com um dinamômetro digital (Instrutemp), que mede a força exercida por um operador sobre o sensor de força e permite a verificação dos valores medidos pelo sistema da Tekscan. Todas as forças foram medidas em Newtons (Figura 6). A força de medida máxima deve estar associada à condição física e ao valor adaptativo (fitness) individual (Anderson et al., 2008), podendo ser utilizada como medida de performance em conjunto com outros índices.



Figura 6: Procedimento para obtenção da força de mordida. Na foto, um indivíduo de *Saltator similis* se encontra mordendo a região do sensor sensível à pressão aplicada. Foto: Breno Mellado.

### 3.7. Cálculo do índice de condição física

Um objetivo do estudo é caracterizar o tamanho do corpo dos Trinca Ferros e obter referências sobre a condição física dos indivíduos. Para tal, foi utilizado o *Scaled Mass Index* (SMI, no presente trabalho referido como Índice de Condição Física - ICF) (Peig & Green, 2009; 2010), com a finalidade de averiguar se a variação no canto é um indicativo da condição física dos indivíduos. Algumas das medidas comumente utilizadas, como o tamanho da asa e o comprimento total, não foram utilizadas porque elas dependem do comprimento das penas e devido à variação inter-individual no estágio de desenvolvimento das mesmas, o nível de ruído aumentaria consideravelmente. O tarso por sua vez é uma estrutura que, após cessar seu período de crescimento, tende a apresentar um tamanho constante ao longo da vida do indivíduo. Como todos os indivíduos analisados são adultos, não há variação decorrente do estágio de desenvolvimento para a última estrutura. Foram selecionadas como variáveis indicativas de tamanho corporal o Comprimento e Diâmetro do Tarso. Estas medidas foram correlacionadas com a variável Peso, com a finalidade de selecionar dentre as duas a que apresentasse maior

associação com o Peso (Peig & Green, 2009). O índice de condição física (ICF) foi então calculado como

$$ICF_i = P_i * (Tdiam_0 / Tdiam_i)^{b_{SMA}}$$

onde  $P_i$  e  $Tdiam_i$  representam o peso e o diâmetro do tarso do indivíduo  $i$ , respectivamente;  $b_{SMA}$  é o coeficiente estimado pela regressão do eixo maior padronizado (*Standardized Major Axis Regression*) de  $\ln(\text{Peso})$  em  $\ln(\text{Tdiam})$ ;  $Tdiam_0$  é a média aritmética de  $Tdiam$ . Este índice de condição física é o valor predito da variável Peso após correção de acordo com sua relação com o diâmetro do tarso, sendo associado aos resíduos do modelo de regressão, mas expresso na mesma escala da variável Peso original (Peig & Green, 2009).

### **3.8. Relações entre Estrutura Acústica, Morfologia, Condição Física e Força de Mordida**

A estrutura acústica dos cantos e a morfologia são representados por conjuntos de variáveis, as quais apresentam correlações entre si por fazer parte de um todo (o organismo, ou a estrutura do canto). Estas correlações podem ser fortes, interferindo no ajuste de modelos lineares de predição por gerar colinearidade das variáveis independentes e a consequente instabilidade dos parâmetros estimados (Sokal & Rohlf, 2012). Uma maneira de lidar com este problema é sumarizar o conjunto de variáveis independentes por meio de uma análise de componentes principais (PCA), e utilizar os escores dos PCs como preditores na regressão, procedimento conhecido como regressão de componentes principais (*Principal Components Regression*) (Jolliffe, 2002). É possível ainda utilizar algum critério para determinar um subconjunto de componentes principais a serem utilizados como preditores, no entanto, existe alguma controvérsia sobre a utilidade destes critérios no contexto da regressão, já que a maximização de variâncias realizada pelos componentes principais não “enxerga” a relação das variáveis independentes e dependentes (Hadi & Ling, 1998).

Uma alternativa recentemente proposta para a regressão de componentes principais é o *y-aware PCA* (Zumel, 2016), uma análise de

componentes principais informada pela variação da variável independente  $y$ , em tradução livre, referido daqui em diante como  $y$ PCA. Este método se aproveita de uma característica da PCA, que é a sensibilidade à escala das variáveis (Krzanowski, 2000; Jolliffe, 2002). Como o critério utilizado para gerar os componentes é o de máxima variância, as variáveis que variam na maior escala acabam tendo maior peso na definição dos primeiros componentes. No  $y$ PCA, a matriz de dados original com as variáveis independentes ( $\mathbf{X}$ ) é transformada de acordo com os coeficientes de regressão da variável independente ( $y$ ) em cada uma das variáveis do conjunto  $\mathbf{X}$  (Zumel, 2016), da seguinte maneira:

$$X_{ij}^* = b_j X_{ij} - \text{média}(b_j X_{ij}),$$

onde  $b_j$  é o coeficiente de regressão de  $y$  na  $j$ -ésima variável independente. Desta maneira, todas as variáveis em  $\mathbf{X}^*$  são expressas na mesma escala da variável dependente, e as variáveis que apresentam maiores coeficientes de regressão acabam variando em maior escala e conseqüentemente tendo maior peso na determinação dos primeiros  $y$ PCs. O primeiro  $y$ PC será a combinação linear das variáveis independentes que deve apresentar maior capacidade de predição da variável dependente e os coeficientes deste PC mostram a contribuição de cada variável no conjunto para o cálculo dos escores preditores.

Para avaliar quais variáveis morfométricas melhor explicam a variação da força de mordida foram gerados modelos de regressão nos componentes principais  $y$ -aware ( $y$ PCA), de modo que as variáveis morfométricas preditoras tivessem sua escala transformada para a da força de mordida (dependente). Um outro ponto importante é compreender se a força de mordida está associada à condição física do indivíduo. Para tal, foi realizada uma regressão linear entre ICF e força de mordida.

A capacidade de predição de condição física a partir da estrutura acústica foi avaliada a partir de uma regressão linear do ICF nos escores do  $y$ PCA com variáveis acústicas transformadas para a escala da condição física (variável

dependente). O mesmo procedimento foi realizado utilizando força de mordida como variável dependente.

As variáveis que mais explicaram a variação foram destacadas. Em seguida, foram comparadas qualitativamente as variáveis acústicas associadas à condição física com as que melhor explicaram a individualidade, destacando quais foram as mais influentes dentro dos modelos, com base nos escores, com a finalidade de averiguar se as que explicaram melhor a individualidade são as que tiveram melhor correlação com os valores do índice de condição física. A mesma análise foi conduzida para avaliar a relação do canto com a força de mordida.

### **3.9. Variação vocal entre indivíduos**

A ocorrência de individualidade vocal no canto do Trinca Ferro foi verificada através de uma Análise Discriminante Linear (LDA) (Venables & Ripley, 2002) com todas as variáveis acústicas dos três conjuntos de dados: Canto Inteiro, Primeira Sílabas e Última Sílabas para identificar a procedência do canto em relação ao indivíduo que o produziu. A análise discriminante busca eixos multivariados (as funções discriminantes) que são combinações lineares das variáveis originais que maximizam a variação entre grupos (no nosso caso indivíduos), padronizando a variação dentro dos grupos (Krzanowski, 2000). Para cada indivíduo foram gravados entre 19 e 30 cantos e estes foram agrupados de acordo com o número do indivíduo que o gerou. A análise discriminante permitiu avaliar as principais variáveis acústicas envolvidas na identificação individual, além de estimar a confiabilidade das classificações por uma análise de validação (cross-validation), sempre deixando um canto fora da geração da função e estimando a procedência do canto a posteriori (Krzanowski, 2000).

### **3.10. Considerações sobre as análises estatísticas**

Todas as análises estatísticas foram conduzidas no *software* R, versão 1.0.136 (R Core Team, 2017). Foram utilizados os pacotes MASS (Venables & Ripley, 2002) e comandos básicos do R. O Anexo 1 traz informações sobre a

realização das yPCAs, mostrando como foi realizada a montagem da função utilizada para organizar a matriz de dados adequadamente às análises.

Outra observação importante se refere ao tamanho amostral dos diferentes conjuntos de dados. Todos os machos disponíveis (21 indivíduos) foram utilizados para a escolha do Índice de Condição Física. Como o Trinca Ferro 14 (TF 14) morreu anteriormente à medição de sua força de mordida, para a yPCA entre força de mordida e as variáveis morfométricas, foram utilizados 20 indivíduos. O mesmo se aplica para a regressão entre força de mordida e ICF. Como nem todos os machos vocalizam, as análises acústicas envolveram 13 indivíduos (cálculo das taxas e Análises Lineares Discriminantes, bem como a yPCA com ICF). Devido ao falecimento do TF 14, a yPCA para as variáveis acústicas com força de a mordida envolveu 12 indivíduos.

## **4. Resultados**

### **4.1. Descrição breve quanto às mensurações**

As médias e desvio padrão para a força de mordida e o índice de condição física foram, respectivamente, 12,42 +/- 2,4 N e 47,33 +/- 4,16. As médias e desvios-padrão para as variáveis morfométricas e acústicas se encontram representadas nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Variáveis morfométricas e suas respectivas com desvio padrão.

<b>Variável</b>	<b>Média e desvio padrão</b>
Peso	49,85 +/- 8,36 g
Comprimento da faixa superciliar	26,12 +/- 2,12 mm
Largura da faixa superciliar	2,55 +/- 0,47 mm
Comprimento da cabeça	39,97 +/- 1,43 mm
Cúlmen exposto	17,94 +/- 1,79 mm
Altura da base do bico	12,64 +/- 0,49 mm
Largura da base do bico	11,51 +/- 0,49 mm
Narina-Ponta	15,05 +/- 0,99 mm
Altura da narina	11,85 +/- 0,55 mm
Largura da narina	9,62 +/- 0,86 mm
Largura Pós-Orbital (LPO)	16,18 +/- 0,65 mm
Comprimento do tarso	29,6 +/- 1,08 mm
Diâmetro do tarso	3,06 +/- 0,56 mm

Tabela 3 – Variáveis Acústicas com suas respectivas médias e desvio padrão.

<b>Variável</b>	<b>Média e Desvio Padrão</b>
Frequência grave do canto inteiro	1450,73 +/- 234,4 Hz
Frequência aguda do canto Inteiro	3709,61 +/- 210,64 Hz
Delta de frequência do canto inteiro	2261,07 +/- 314,98 Hz
Duração do canto inteiro	1,59 +/- 0,28 s
Frequência máxima do canto inteiro	2935,64 +/- 336,4 Hz
Grau de inclinação do canto inteiro	0,44 +/- 0,44 Hz/s
Número de sílabas	4,15 +/- 0,79
Sílaba pico	2,8 +/- 0,95
Frequência grave da primeira sílaba	1967,12 +/- 390,04 Hz
Frequência aguda da primeira sílaba	2998,34 +/- 1643,75 Hz
Delta de frequência da primeira sílaba	940,87 +/- 285,39 Hz
Duração da primeira sílaba	0,23 +/- 0,09 s
Frequência máxima da primeira sílaba	2522,05 +/- 408,13 Hz
Grau de inclinação da primeira sílaba	2829,23 +/- 1221,34 Hz/s
Frequência grave da última sílaba	1631,18 +/- 359,66 Hz
Frequência aguda da última sílaba	2786,84 +/- 644,29 Hz
Delta de frequência da última sílaba	1157,56 +/- 519,55 Hz
Duração da última sílaba	0,32 +/- 0,098 s
Frequência máxima da última sílaba	2438,31 +/- 1227,87 Hz
Grau de Inclinação da última sílaba	1886,11 +/- 3394,34 Hz/s

## 4.2. Taxas de vocalização

Não houve diferenças entre os períodos da manhã e da tarde para Taxa de Canto ( $t = 1,36$ ,  $p = 0,19$ ,  $df = 12$ ), nem para Taxa Geral ( $t = 0,38$ ,  $p = 0,70$ ,  $df = 12$ ). . Nas análises posteriores, as taxas desses períodos do dia foram combinadas (TCMT e TGMT). Optou-se por trabalhar com TGMT, por ser uma representação mais geral do uso de espaço sonoro. As regressões lineares entre TGMT e a força de mordida e o índice de condição física não apresentaram resultados significativos ( $p = 0,46$  e  $R^2 = 0,05$ ; e  $p = 0,25$  e  $R^2 = 0,12$ , respectivamente).

## 4.3. Cálculo do índice de condição física

Ambas medidas do tarso apresentaram relação significativa com o Peso em escala de logaritmos naturais (comprimento do tarso,  $r = 0,465$ ,  $P = 0,038$  ; diâmetro do tarso,  $r = 0,555$ ,  $P = 0,01106$ ) . Segundo o critério utilizado (maior correlação), a variável escolhida para compor o ICF foi o diâmetro do tarso. É possível visualizar as relações na figura 7.

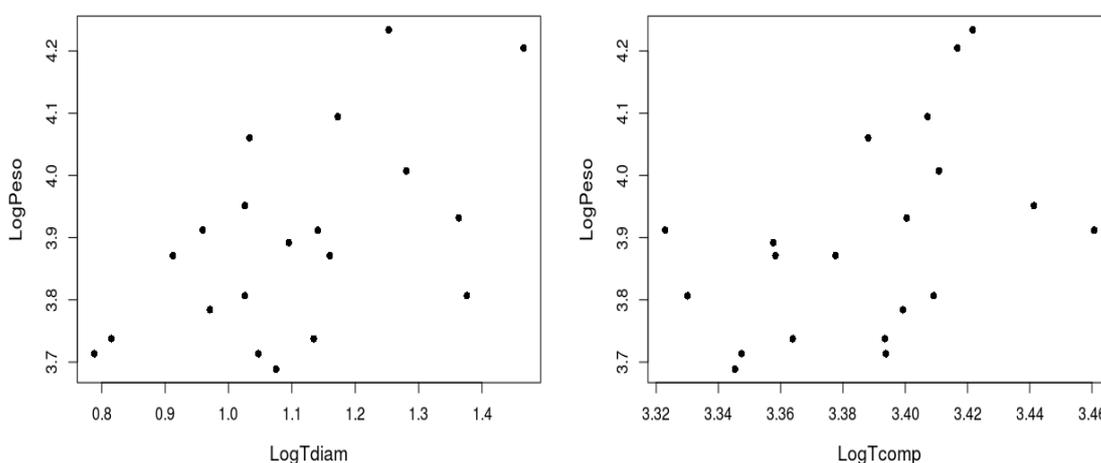
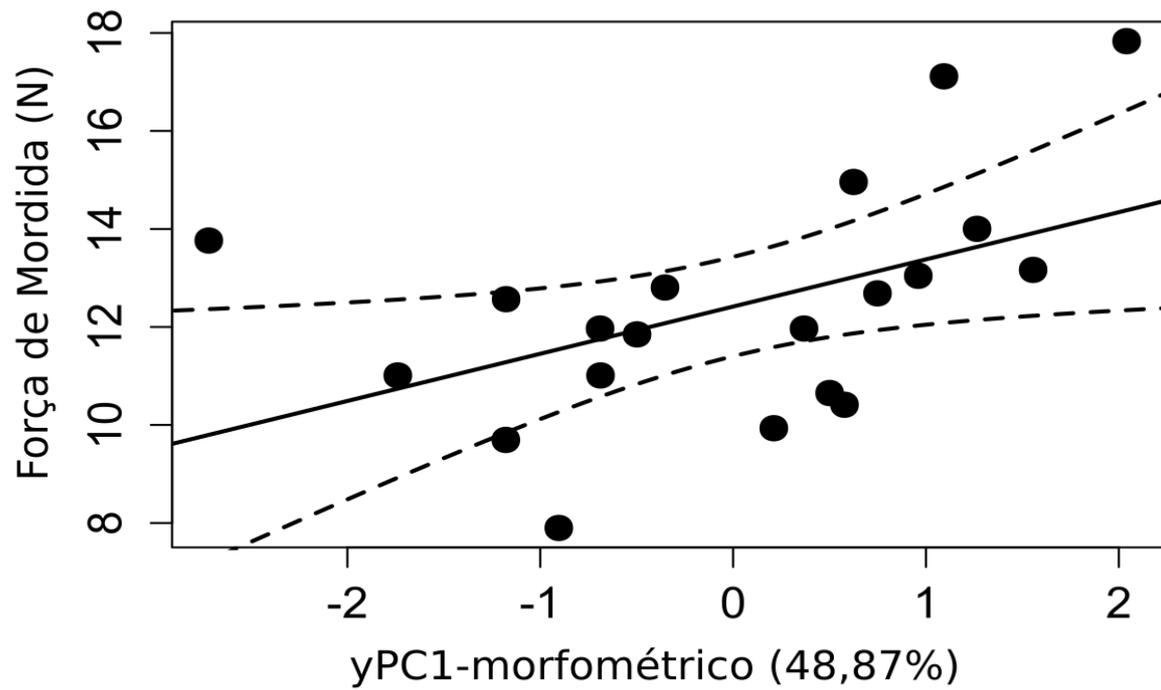


Figura 7: Correlação entre o logaritmo do Peso (LogPeso) e A) o logaritmo do Diâmetro do Tarso (LodTdiam) e B) o logaritmo do Comprimento do Tarso (LogTcomp), em base e.

#### **4.4. Relação entre Variação Morfométrica e Força de Mordida**

O conjunto de variáveis morfométricas sumarizado pelo primeiro yPC, explicou uma proporção razoável da força de mordida ( $R^2 = 0,23$ ,  $P = 0,03$ ; ; Figura 8). O yPC1 incorporou 48,87% da variação total das variáveis morfométricas. As variáveis que mais tiveram influência no yPC1, e por consequência, na força de mordida foram Largura Pós-Orbital e Comprimento da Cabeça. Além disso, apesar de em um menor grau, pode ser vista influência positiva de outras variáveis referentes ao bico (Cúlmen Exposto e Altura na Narina). O diâmetro do tarso também possui influência positiva (Tabela 2). É importante destacar que tais variáveis influenciam de forma positiva a força de mordida (e.g. quanto maior a LPO, maior a força de mordida) e que, em especial, o LPO possuiu uma relação forte com a mesma. A regressão linear entre ICF e força de mordida não apresentou resultados significativos ( $R^2 = 0,003$ ,  $P = 0,79$ ).



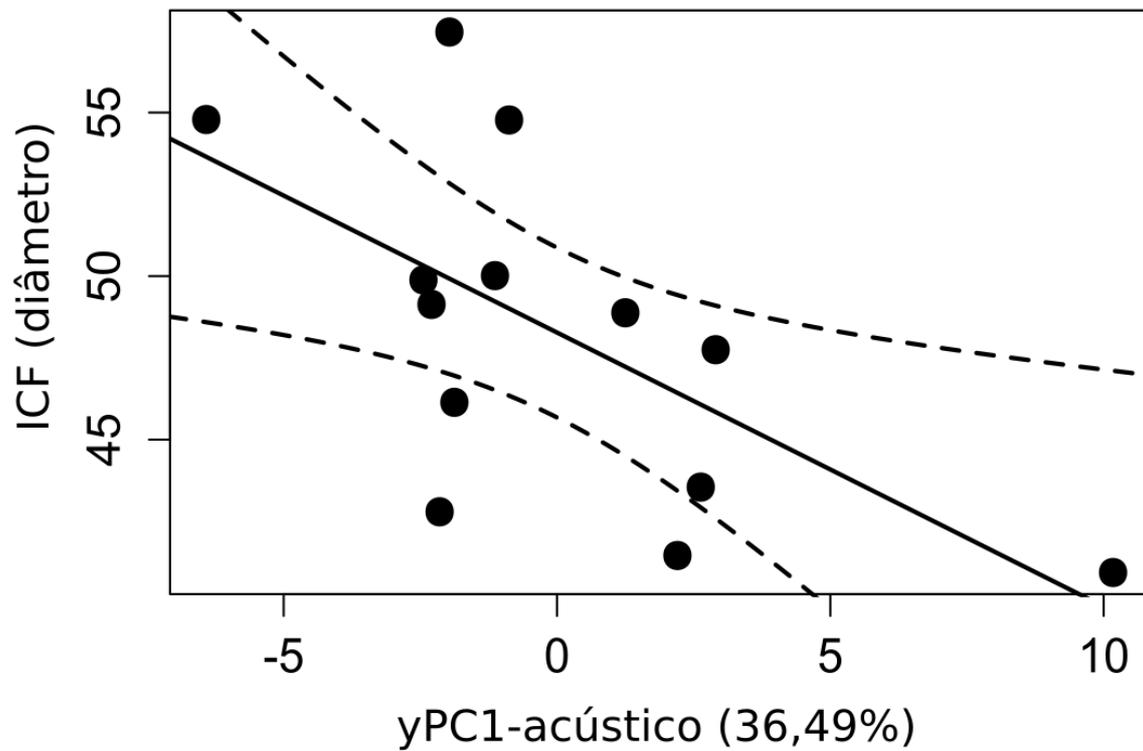
**Figura 8** - Regressão entre força de mordida e o primeiro yPC das variáveis morfométricas. As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% da regressão.

**Tabela 4** - Coeficientes do primeiro componente principal das variáveis morfométricas informado pela força de mordida.

Variável	Coeficientes yPC1
Peso	0,06745
Comprimento da Faixa Superciliar	-0,03930
Largura da Faixa Superciliar	-0,01193
Comprimento da cabeça	<b>0,37056</b>
Cúlmen Exposto	0,15118
Altura na base do bico	-0,00042
Largura na base do bico	0,00100
Narina-Ponta	-0,08093
Altura na narina	0,12093
Largura na narina	0,02291
Largura Pós-Orbital	<b>0,87432</b>
Comprimento do Tarso	0,08785
Diâmetro do Tarso	0,19932

#### 4.5. Relações entre canto, condição física e força de mordida

O modelo de regressão do ICF no primeiro yPC das variáveis acústicas apresentou resultados significativos e explicou aproximadamente 40% da variação do ICF ( $R^2 = 0,4033$   $P = 0,0197$ ; Figura 9). O yPC1 sumarizou 36,49% da variação total das variáveis acústicas. As variáveis que apresentaram maiores contribuições foram DurCI, FgraveCI e DurUS (Tabela 3). É importante destacar que tais variáveis apresentaram influência positiva sobre o índice, ou seja, quanto mais longas a duração das sílabas e do canto e mais graves as frequências utilizadas, maior o valor do índice de condição física. A análise de regressão entre força de mordida e o primeiro yPC acústico não foi significativa e explicou uma proporção muito baixa da variação ( $R^2 = 0,0867$ ,  $P = 0,3526$ ).



**Figura 9** - Regressão entre o índice de condição física (ICF) e o primeiro yPC das variáveis acústicas. As linhas tracejadas indicam o intervalo de confiança de 95% da regressão.

**Tabela 5** - Coeficientes do primeiro componente principal das variáveis acústicas informado pelo índice de condição física (ICF).

Variável	yPC1
Frequência grave (Canto Inteiro)	<b>-0,350608715</b>
Frequência aguda (Canto Inteiro)	-0,159454675
Delta de frequência (Canto Inteiro)	-0,099199312
Duração (Canto Inteiro)	<b>-0,638192375</b>
Frequência máxima (Canto Inteiro)	-0,235470852
Número de sílabas	-0,235911230
Sílaba pico	-0,150828572
Grau de inclinação (Canto Inteiro)	-0,059847820
Frequência grave (Primeira Sílabas)	0,027511528
Frequência aguda (Primeira Sílabas)	-0,022962118
Delta de frequência (Primeira Sílabas)	0,029477588
Duração (Primeira Sílabas)	0,033474389
Frequência máxima (Primeira Sílabas)	-0,077062256
Grau de inclinação (Primeira Sílabas)	-0,022284813
Frequência grave (Última Sílabas)	-0,282766566
Frequência aguda (Última Sílabas)	-0,014549661
Delta de frequência (Última Sílabas)	-0,213759591
Duração (Última Sílabas)	<b>-0,399523569</b>
Frequência máxima (Última Sílabas)	-0,031093669
Grau de inclinação (Última Sílabas)	-0,029600479
Taxa Geral Manhã/Tarde	-0,007306956

#### 4.6. Variação vocal entre indivíduos

O modelo obtido através da Análise Discriminante apresentou uma taxa de classificação correta dos cantos de 96,86%. A porcentagem de classificação correta para cada indivíduo é apresentada na Tabela 4. Os eixos discriminantes LD1, LD2 e LD3 explicaram 44,78%, 23,40% e 11,05% da variação observada entre indivíduos, totalizando 79,23% da variação total do modelo. Com base na influência destes eixos (principalmente quanto ao LD1, por representar, uma maior influência sobre a classificação geral dos indivíduos), em ordem decrescente de influência na classificação individual, as variáveis se apresentam da seguinte forma: DurPS, DurUS, GincCI e DurCI (Tabela 5). A Tabela 6 mostra as variáveis mais influentes da Análise Linear Discriminante e da PCA-Y-Aware para o Índice de Condição Física.

**Tabela 6** - Matriz de confusão proveniente da validação cruzada da Análise de Função Discriminante, com porcentagem de classificações corretas para cada indivíduo. A classificação original está nas linhas e a predita nas colunas.

Indivíduo	1	2	5	8	14	15	16	18	20	21	25	29	31	% correta
1	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2	0	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	93,33
5	0	1	21	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	84
8	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
14	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	100
15	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	100
16	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	100
18	0	0	1	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	93,33
20	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	100
21	0	0	0	1	0	0	0	0	0	29	0	0	0	96,67
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	95,24
29	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	29	0	96,67
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	100

**Tabela 7** - Coeficientes das funções lineares para os três primeiros eixos (LD1, LD2 e LD3) da Análise Linear Discriminante. As variáveis com maior influência se encontram com os coeficientes destacados em negrito.

Variável Acústica	LD1	LD2	LD3
Frequência Grave (Canto Inteiro)	0,000038	0,000087	-0,000022
Frequência Aguda (Canto Inteiro)	-0,001868	0,000787	0,002746
Delta de Frequência (Canto Inteiro)	0,001797	-0,000929	-0,003058
Duração (Canto Inteiro)	<b>-1,122872</b>	<b>-0,709126</b>	<b>-2,502008</b>
Frequência Máxima (Canto Inteiro)	0,000087	-0,000152	-0,000097
Grau de inclinação (Canto Inteiro)	<b>-2,207522</b>	<b>-0,070912</b>	<b>-2,502008</b>
Número de sílabas	0,609338	-0,032165	0,628770
Sílaba Pico	0,104223	-0,075781	0,082827
Frequência Grave (Última Sílabas)	-0,004988	-0,004484	-0,001872
Frequência Aguda (Última Sílabas)	-0,000863	0,003871	0,001438
Delta de Frequência (Última Sílabas)	-0,001443	0,003161	-0,001333
Duração (Última Sílabas)	<b>-6,788455</b>	<b>-16,60544</b>	<b>20,30392</b>
Frequência Máxima (Última Sílabas)	-0,000025	0,0000099	-0,000001
Grau de inclinação (Última Sílabas)	-0,001064	-0,001057	-0,000111
Frequência Grave (Primeira Sílabas)	0,005796	-0,004801	0,005588
Frequência Aguda (Primeira Sílabas)	-0,003334	0,003091	0,000981
Delta de Frequência (Primeira Sílabas)	0,008819	-0,007191	-0,000591
Duração (Primeira Sílabas)	<b>-12,00812</b>	<b>25,59427</b>	<b>-9,611428</b>
Frequência Máxima (Primeira Sílabas)	0,000765	0,000194	-0,000482
Grau de inclinação (Primeira Sílabas)	-0,000496	0,000464	0,000145

**Tabela 8** - Variáveis mais influentes dentro dos modelos da Análise Linear Discriminante (nos três primeiros eixos lineares - LD1, LD2 e LD3) e da PCA-Y-Aware para o Índice de Condição Física (yPC1).

<b>Variáveis</b>	<b>LD1</b>	<b>LD2</b>	<b>LD3</b>	<b>yPC1</b>
Duração (Primeira Sílabas)	-	25,59427	-	0,033474389
Duração (Última Sílabas)	12,00812	-	9,611428	-0,399523569
Grau de inclinação (Canto Inteiro)	6,788455	16,60544	-	-0,059847820
Duração (Canto Inteiro)	2,207522	0,070912	2,502008	-0,638192375
Frequência grave (Canto Inteiro)	1,122872	0,709126	2,502008	-0,350608715
	0,000038	0,000087	-	
			0,000022	

## 5. Discussão

### 5.1. Comparativo das taxas para os períodos da manhã e da tarde

Algumas espécies de Aves possuem pico de atividade vocal em períodos específicos do dia, como o amanhecer e o entardecer, reduzindo suas atividades nos horários entre os mesmos, isso leva a fenômenos interessantes, como por exemplo os Coros da Manhã – *Dawn Choruses* (Dabelsteen & Mathevon, 2002; Hasan & Badri, 2016). Este não aparenta ser o caso para o Trinca Ferro. Com base nos resultados dos testes t pareados, pode-se concluir que, ao menos em cativeiro, a espécie não possui alterações significativas na suas taxas de canto, tanto quando trata-se apenas da taxa envolvendo apenas os cantos inteiros, quanto a taxa geral de vocalizações. Aparentemente, enquanto expostos à luz, indivíduos de *Saltator similis* tendem a manter sua atividade vocal. Foi possível observar esse padrão de atividade vocal no contato cotidiano com os indivíduos cativos utilizados no decorrer do presente trabalho. Em outro exemplo, foi observado um indivíduo vocalizando ativamente no período noturno em um estabelecimento em Vitória, Espírito Santo, enquanto exposto à iluminação artificial (Observações pessoais, não publicadas).

Quanto à atuação das taxas como sinalizadores de qualidade, os resultados não foram significativos. Isto indica que a taxa de atividade vocal não aparenta transmitir informações sobre a condição física ou força de mordida de cada indivíduo. Neste ponto é importante destacar que outras abordagens podem ser realizadas no que se refere ao uso do espaço sonoro ao longo tempo, relacionado à sinalização honesta (Performance Vocal – Moseley *et al.* 2013; Geberzahn & Aubin, 2014; Luther *et al.*, 2015; Podos *et al.*, 2016) e que, as conclusões deste trabalho, isoladamente, não descartam a possibilidade de tal variável acústica possuir papel importante no cotidiano da espécie em questão.

## **5.2. Relações entre as variáveis morfométricas e a Força de Mordida**

De todas as variáveis, as que mais tiveram influência sobre a força de mordida foram referentes ao crânio e ao bico (LPO, Comprimento da Cabeça, Narina-Ponta e Cúlmen Exposto) e a combinação das mesmas pode estimar, pelo menos aproximadamente, os tamanho e área craniais. Mais do que isso, é interessante destacar que das variáveis referentes ao tamanho do corpo, apenas o diâmetro do tarso apresentou certo grau de relação que merece destaque. De uma forma geral, não há forte relação aparente entre a Força de Mordida e o tamanho e/ou peso corporal como um todo, o que reforça a possibilidade de que os mesmos não sejam tão influentes sobre a capacidade máxima de força que um indivíduo pode aplicar em sua mordida, mas sim, como acima citado, o volume dos músculos associados à cinética do bico. Herrel *et al.* (2005) encontraram forte relação de LPO com a Força de Mordida em seu trabalho com os Tentilhões de Darwin. Neste trabalho, argumentam que, por representar a região de inserção dos músculos adutores da mandíbula, LPO possui relação positiva com a força máxima que cada espécie pode aplicar em sua mordida. O presente trabalho mostra que, assim como ocorre entre as espécies de tentilhões, para *S. similis*, a LPO atua positivamente sobre a força de mordida em nível individual, primeira descrição na literatura de tal associação para tal nível hierárquico. Se há influências (e quais são) dos tamanho e forma craniais, bem como do corpo em geral sobre a Força de Mordida, ou se há correlações com contextos comportamentais como

personalidade e/ou uso de recursos alimentares, afetando por fim o valor adaptativo para a espécie, é algo a ser avaliado em trabalhos posteriores.

### **5.3. Relações entre o canto, condição física e força de mordida**

Primeiramente, deve-se destacar que a força de mordida não possui relação com a condição física (ICF) dos indivíduos estudados, porém, isso não exclui a possibilidade da FM atuar por si só como uma avaliação da qualidade. Essa falta de relação sugere que ICF e a força de mordida representam aspectos diferentes da qualidade individual dos machos, ICF relacionado à condição física e força de mordida à capacidade de morder, associada, por exemplo, à capacidade de brigar e forragear (Anderson *et al.*, 2008; Cornette *et al.*, 2015).

De acordo com os resultados obtidos para o conjunto de dados utilizado, há relação significativa entre a variação no canto com o índice de condição física, portanto, o primeiro estaria sinalizando honestamente o segundo. Além disso, o valor da influência do PC1 sobre a variação do índice em questão se apresentou alto, indicando uma interação forte no modelo. Com base nessas observações, é possível que, para *S. similis*, o canto possua caráter informativo a respeito da condição física do emissor, enquadrando tal vocalização adequadamente à possibilidade de ocorrência de seleção sexual segundo a Hipótese dos Bons Genes. Apesar disso, não é descartável a possibilidade da atuação segundo outros modelos de seleção sexual, como a seleção por Similaridade Genética ou Heterozigosidade (Mays & Hill, 2004). Ainda quanto a este ponto, não deixa de ser interessante observar que as variáveis DurCI e DurUS - as que melhor explicam a variação em ICFdiam, foram importantes na classificação individual de acordo com o modelo da LDA, indicando uma possível atuação da individualidade vocal como sinal honesto de condição física. Apesar disso, é possível que tal variável seja, de fato, reflexo da capacidade vocal de cada indivíduo, por exemplo, caso seja necessária uma maior quantidade de energia por parte do indivíduo para estender a duração da

primeira sílaba. Raciocínio similar é válido também para as variáveis de Frequência em geral, tendo em vista que indivíduos podem modular intencionalmente o som de forma a realizar *shifts* para frequências mais altas, o que demanda gasto energético maior. Isto pode ser observado em situações onde as espécies precisam realizar um ajuste acústico, como em locais em que ocorre sobreposição do ruído às frequências utilizadas no processo de comunicação, por exemplo as cidades (Goodwin & Podos, 2013; Nemeth *et al.*, 2013).

Além do papel no processo de Seleção Sexual, deve-se destacar que a relação aqui discutida também é aplicável num contexto de defesa de territórios, para evitar interações agonísticas e, conseqüentemente, reduzir a pressão da competição pelo recurso espacial. Tal observação se baseia na ideia de que indivíduos, ao emitirem suas vocalizações, transmitem informações sobre a sua condição física. Os receptores do sinal podem realizar uma avaliação das possíveis habilidades competitivas do oponente, em caso de conflito (Geberzahn & Aubin, 2013; Akçay *et al.*, 2015). Este fato contribui para a crença popular de que o Trinca Ferro é uma espécie que defende seus territórios contra invasores, além de direcionar o foco para a Hipótese do Inimigo Querido (Fisher, 1954; Temeles, 1994; Brunton, 2008).

Quanto à análise para a força de mordida, não foram encontrados resultados significativos e as forças de interação também apresentaram valores baixos. Tais resultados indicam que, para os indivíduos do estudo e para as variáveis acústicas testadas, o canto não atua como indicador honesto da Força de Mordida. Deve-se destacar que o presente trabalho não aborda a influência da forma do corpo e de estruturas específicas sobre a variação acústica, o que faz com que seja incorreto assumir a independência entre força de mordida e canto, pois pode haver alguma relação indireta, não avaliada. Tal observação segue a hipótese de que determinadas estruturas associadas à variação na força de mordida influenciam também a capacidade de controle de movimentação do bico e, conseqüentemente, de modulação do som, a destacar a Largura Pós-Orbital – *head width*, e o *trade-off* entre velocidade de movimentação da mandíbula e complexidade no canto, relação observada

entre as espécies de Tentilhões em Galápagos (Podos, 2001; Podos & Nowicki, 2004; Podos *et al.*, 2004; Ballentine *et al.*, 2004; Herrel *et al.*, 2005; Herrel *et al.*, 2009).

#### **5.4. Variação vocal entre indivíduos**

As altas taxas de acerto na classificação individual dentro do modelo, somadas à acurácia geral, indicam que as variáveis acústicas utilizadas permitem identificar os indivíduos a partir de seus cantos, o que responde a pergunta sobre ocorrência de individualidade no canto da espécie, confirmando a mesma. O fato de as variáveis que mais influenciaram sobre a classificação serem representativas tanto de partes isoladas, quanto do canto inteiro, leva à conclusão inicial de que, possivelmente, o componente de individualidade do sinal transmitido se encontra distribuído tanto ao longo do canto como um todo – se enquadrando na Teoria de Redundância de Sinal, quanto em partes isoladas – de acordo com a Teoria de Mensagens Múltiplas (Marler, 1960). O Grau de Inclinação do Canto Inteiro ter sido uma das variáveis de maior influência no modelo indica que talvez a capacidade de modulação do som possa ser um parâmetro importante sobre a individualidade vocal. Outros trabalhos abordam a questão de que tal capacidade, associada à complexidade do canto produzido, podem atuar como indicadores honestos de qualidade dos indivíduos (Spencer *et al.*, 2003; Boogert *et al.*, 2008; Geberzahn & Aubin, 2013). Apesar de no presente estudo GincCI ser uma representação superficial da capacidade de modulação sonora do indivíduo, tal variável não leva em conta as mudanças ascendentes e descendentes nas frequências, ocorridas ao longo de toda a duração do canto. Devido a isso, podemos apenas hipotetizar que para *S.similis* pode ocorrer a mesma relação entre capacidade de modulação e qualidade do indivíduo. Para elucidar tal questão são necessários mais estudos. A Duração da Primeira Sílabas foi a variável mais influente sobre a classificação do modelo, o que pode estar associado à questões da ontogenia do canto de cada indivíduo. Ao aprenderem seu canto, as Aves sofrem influência do repertório vocal populacional ao qual são expostas, o que mantém assinaturas vocais populacionais (Baker & Cunningham, 1985; Leader

et al., 2002). O não controle sobre a proveniência populacional dos indivíduos torna impossível distinguir se a DurPS possui variação grande entre os indivíduos devido ao simples fato de serem provenientes de populações diferentes, com regionalismos vocais diferenciados, ou se são de fato reflexo da capacidade vocal de cada um. Apesar disso, é possível que tal variável seja, de fato, reflexo da capacidade vocal de cada indivíduo, por exemplo, caso seja necessária uma maior quantidade de energia por parte do indivíduo para estender a duração da primeira sílaba. Uma forma de contornar tais questões é trabalhar apenas com indivíduos oriundos de uma mesma população e expostos ao mesmo universo sonoro durante a fase de ontogenia do canto. A condução de tal tipo de experimento é viável para a espécie em questão, tendo em vista a relativa facilidade de reprodução em cativeiro.

## 6. Conclusões

Primeiramente, o presente trabalho corrobora a hipótese de que ocorre individualidade vocal em *Saltator similis*. A acurácia do modelo da LDA reforça ainda mais a possibilidade de tal mecanismo social ser importante, uma das predições da DEH. Quanto a quais informações podem estar associadas ao canto, pôde-se observar que o mesmo atua como sinal honesto de condição física do emissor, tornando tal característica adequada ao modelo de Seleção Sexual segundo a Teoria dos Bons Genes. Referências sobre condição física podem indicar também a capacidade de sobrepujar outros indivíduos em interações agonísticas como conflitos físicos, o que dá suporte à ideia de que os Trinca Ferros estabelecem e defendem seus territórios; e que o canto serve como sinalização para possíveis invasores, auxiliando na redução da competição pelo recurso espacial. Apesar de não apresentar correlação direta com a Força de Mordida, o canto pode estar associado à mesma de forma indireta, tal raciocínio se baseia na observação de que dentre as variáveis morfométricas que possuíram forte correlação com a Força de Mordida, encontram-se referências ao bico e regiões do crânio importantes para a cinética do mesmo. Tais estruturas são essenciais ao processo de modulação do som e, conseqüentemente, à capacidade vocal dos indivíduos. Apesar de tal

raciocínio, *a priori*, possuir sentido, são necessários mais estudos correlacionando a variação da forma do crânio e do bico com a vocal. Quanto à Força de Mordida e sua relação com as medidas corporais, pôde-se observar que as variáveis mais influentes foram, se combinadas, referentes ao formato, tamanho e área cranial. Especialmente, a variável Largura Pós-Orbital merece destaque, pois havia sido demonstrado possuir forte influência sobre a Força de Mordida, devido ao fato de representar a região no crânio onde se inserem os músculos adutores da mandíbula; porém, a observação dessa relação em nível de indivíduo se apresenta para Aves pela primeira vez no presente trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

- AKÇAY, Ç.; CAMPBELL, S. E.; BEECHER, M. D. Individual differences affect honest signalling in a songbird. *Proc. R. Soc. B*, v. 281, 2014.
- AKÇAY, Ç. *et al.* Quiet threats : soft song as an aggressive signal in birds. *Animal Behaviour*, v. 105, p. 267–274, 2015.
- ANDERSON, R. A.; MCBRAYER, L. D.; HERREL, A. Bite force in vertebrates: opportunities and caveats for use of a nonpareil whole-animal performance measure. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 93, n. 4, p. 709-720, 2008.
- AUGUST, P. V. Acoustical properties of the distress calls of *Artibeus jamaicensis* and *Phyllostomus hastatus* (Chiroptera: Phyllostomidae). *The Southwestern Naturalist*, 1985. Disponível em:
- BAKER, M. C.; CUNNINGHAM, M. A. The Biology of Bird-Song Dialects. *The Behavioral and Brain Sciences*, v. 8, p. 85–133, 1985.
- BALLENTINE, B.; HYMAN, J.; NOWICKI, S. Vocal performance influences female response to male bird song: An experimental test. *Behavioral Ecology*, v. 15, n. 1, p. 163–168, 2004.
- BOOGERT, N. J. B. *et al.* Song complexity correlates with learning ability in zebra finch males. *Animal Behaviour*, v. 76, n. 5, p. 1735–1741, 2008.
- BRITTAN-POWELL, E. F. *et al.* Mechanisms of vocal production in budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 101, n. 1, p. 578–589, 1997.
- BRUNTON, D. H. *et al.* A test of the dear enemy hypothesis in female New Zealand bellbirds (*Anthornis melanura*): Female neighbors as threats. *Behavioral Ecology*, v. 19, n. 4, p. 791–798, 2008.
- BUCHANAN, K. L. *et al.* Song as an honest signal of past developmental stress in the European starling (*Sturnus vulgaris*). *Proc. R. Soc. Lond.*, v. 270, p. 1149–1156, 2003.
- CATCHPOLE, C. K. Bird Song , Sexual Selection and Female Choice. *TREE*, v. 2, n. 4, p. 94–97, 1987.
- CHARRIER, I.; HARCOURT, R. G. Individual vocal identity in mother and pup australian sea lions (*Neophoca cinerea*). *Journal of Mammalogy*, v. 87, n. 5, p. 929–938, 2006.

CORBIN, C. E.; LOWENBERGER, L. K.; GRAY, B. L. Linkage and trade-off in trophic morphology and behavioural performance of birds. *Functional Ecology*, v. 29, n. 6, p. 808–815, 2015.

CORNETTE, R. *et al.* Does bite force provide a competitive advantage in shrews? The case of the greater white-toothed shrew. *Biological Journal of Linnean Society*, v. 114, p. 795–807, 2015.

CUCCO, M.; MALACARNE, G. IS THE SONG OF BLACK REDSTART MALES AN HONEST SIGNAL OF STATUS? *The Condor*, v. 101, p. 689–694, 1999.

DABELSTEEN, T.; MATHEVON, N. Why do songbirds sing intensively at dawn? *Acta Ethol*, v. 4, p. 65–72, 2002.

Engineering Design. Signal for Windows (Version 5.10.29). 2009.

FISHER, J. Evolution and bird sociality. *Evolution as a Process*, p. 71–83, 1954.

FLETCHER, N. H. *et al.* A. Vocal tract filtering and the “coo” of doves. *J. Acoust. Soc. Am.*, v. 116, n. 6, p. 3750-3756, 2004.

FREEMAN, P. W.; LEMEN, C. A. Measuring Bite Force in Small Mammals With a Piezo-Resistive Sensor. *Journal of Mammalogy*, v. 89, n. 2, p. 513–517, 2008.

GARAMSZEGI, L. Z.; EENS, M.; TÖRÖK, J. Birds Reveal their Personality when Singing. *PLoS ONE*, v. 3, n. 7, 7 p., 2008.

GARCÍA, N. C. *et al.* Intraspecific and interspecific vocal variation in three Neotropical cardinalids ( Passeriformes : Fringillidae ) and its relationship with body mass. *Emu*, v. 114, p. 129–136, 2014.

GEBERZAHN, N.; AUBIN, T. How a songbird with a continuous singing style modulates its song when territorially challenged. *Behav Ecol Sociobiol*, 12 p., 2013.

GEBERZAHN, N.; AUBIN, T. Assessing vocal performance in complex birdsong : a novel approach. *BMC Biology*, ed. 12, v. 58, p. 1–9, 2014.

GOODWIN, S. E.; PODOS, J. Shift of song frequencies in response to masking tones. *Animal Behaviour*, v. 85, n. 2, p. 435–440, 2013.

HADI, A. S.; LING, R. F. Some cautionary notes on the use of principal components regression. *The American Statistician*, v. 52, p. 15-19, 1998.

HASAN, N. M.; BADRI, M. Effect of Ambient Temperature on Dawn Chorus of House Sparrows. *Environment and Ecology Research*, v. 4, n. 3, p. 161–168, 2016.

HERREL, A. et al. Evolution of bite force in Darwin's finches: A key role for head width. *Journal of Evolutionary Biology*, v. 18, n. 3, p. 669–675, 2005.

HERREL, A. et al. Force-velocity trade-off in Darwin's finch jaw function: A biomechanical basis for ecological speciation? *Functional Ecology*, v. 23, n. 1, p. 119–125, 2009.

HOULE, D.; KONDRASHOV, A. S. Coevolution of costly mate choice and condition-dependent display of good genes. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, v. 269, n. 1486, p. 97–104, 2002.

HOWARD, R. D.; WMHTEMAN, H. H.; SCHUELLER, T. I. Sexual Selection in American Toads : A Test of a Good-Genes Hypothesis Author ( s ): Richard D . Howard , Howard H . Whiteman and Teresa I . Schueller Published by : Society for the Study of Evolution Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2410386> . SEX. *Evolution*, v. 48, n. 4, p. 1286–1300, 1994.

JOHNSON, D. H. et al. An Evaluation of Condition Indices for Birds. *The Journal of Wildlife Management*, v. 49, n. 3, p. 569, 1985.

JOLLIFFE, I. T. Principal component analysis. *Springer-Verlag*, New York. 2002.

KROODSMA, D. E; BYERS, B. E. The Function ( s ) of Bird Song. *Amer. Zool.*, v. 31, p. 318-328, 1991.

KRZANOWSKI, W.J. Principles of multivariate analysis. *Oxford Univ. Pres*, 2000.

LAIOLO, T. et al. Distress calls may honestly signal bird quality to predators. *Proc. R. Soc. Lond.B*, n. 271, p. 513–515, 2004.

LEADER, N.; WRIGHT, J.; YOM-TOV, Y. Dialect Discrimination by Male Orange-Tufted Sunbirds ( *Nectarinia osea* ): Reactions to Own vs . Neighbor Dialects. *Ethology*, v. 108, p. 367–376, 2002.

LEHONGRE, K. et al. Individual signature in canary songs: Contribution of multiple levels of song structure. *Ethology*, v. 114, n. 5, p. 425–435, 2008.

LUTHER, D.; PHILLIPS, J.; DERRYBERRY, E. P. Not so sexy in the city : urban birds adjust songs Behavioral Ecology Not so sexy in the city : urban birds

adjust songs to noise but compromise vocal performance. *Behavioral Ecology*, 9 p., 2015.

MARLER, P. Bird songs and mate selection. *Animal sounds and communication*, v. 7, p. 348-367, 1960.

MATHEVON, N.; CHARRIER, I.; JOUVENTIN, P. Potential for individual recognition in acoustic signals: A comparative study of two gulls with different nesting patterns. *Comptes Rendus - Biologies*, v. 326, n. 3, p. 329–337, 2003.

MAYS, H. L.; HILL, G. E. Choosing mates: Good genes versus genes that are a good fit. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 19, n. 10, p. 554–559, 2004.

MOSELEY, D. L. et al. Responses to song playback vary with the vocal performance of both signal senders and receivers. *Proc R Soc B*, v. 280, 2013.

NELSON, D. A.; POESEL, A. Segregation of information in a complex acoustic signal: individual and dialect identity in white-crowned sparrow song. *Animal Behaviour*, v. 74, n. 4, p. 1073–1084, 2007.

NEMETH, E. et al. Bird song and anthropogenic noise : vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proc R Soc B*, v. 280p. 4–10, 2013.

PEIG, J.; GREEN, A. J. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: The scaled mass index as an alternative method. *Oikos*, v. 118, n. 12, p. 1883–1891, 2009.

PEIG, J.; GREEN, A. J. The paradigm of body condition: A critical reappraisal of current methods based on mass and length. *Functional Ecology*, v. 24, n. 6, p. 1323–1332, 2010.

PIACENTINI, V. DE Q. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 23, n. 2, p. 91–298, 2015.

PODOS, J. et al. A fine-scale , broadly applicable index of vocal performance : frequency excursion. *Animal Behaviour*, v. 116, p. 203–212, 2016.

PODOS, J.; NOWICKI, S. Beaks , Adaptation , and Vocal Evolution in Darwin ' s Finches. *BioScience*, v. 54, n. 6, p. 501–510, 2004.

PODOS, J.; SOUTHALL, J. A.; ROSSI-SANTOS, M. R. Vocal mechanics in Darwin's finches: correlation of beak gape and song frequency. *The Journal of experimental biology*, v. 207, p. 607–619, 2004.

PODOS, J. Correlated evolution of morphology and vocal signal structure in Darwin's finches. *Nature*, v. 409, n. 6817, p. 185–188, 2001.

R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REINHOLD, K. Modeling a version of the good-genes hypothesis: Female choice of locally adapted males. *Organisms Diversity and Evolution*, v. 4, n. 3, p. 157–163, 2004.

RIEDE, T. et al. Songbirds tune their vocal tract to the fundamental frequency of their song. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 103, n. 14, p. 5543–8, 2006.

SCHAMBER, J. L.; ESLER, D.; FLINT, P. L. Evaluating the validity of using unverified indices of body condition. *Journal of Avian Biology*, v. 40, n. 1, p. 49–56, 2009.

SICK, H. *Ornitologia Brasileira. Nova Fronteira*, ed. 3, 912 p., 1997.

SLABBEKOORN, H.; SMITH, T. B. Bird song, ecology and speciation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, v. 357, n. 1420, p. 493–503, 2002.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman and Co.: New York, ed. 4., 937 p., 2012.

SPENCER, K. A. et al. Song as an honest signal of developmental stress in the zebra finch (*Taeniopygia guttata*). *Hormones and Behavior*, v. 44, p. 132–139, 2003.

TEMELES, E. J. The role of neighbours in territorial systems: when are they 'dear enemies'? *Anim Behav.*, v. 47, p. 339–350, 1994. The Cornell Lab of Ornithology. Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.4). Ithaca, NY, 2011.

TUBARO, P. L.; LIJTMAER, D. A. Environmental Correlates of Song Structure in Forest Grosbeaks and Saltators. *The Condor*, v. 108, n. 1, p. 120–129, 2006.

VANHOOYDONCK, B. et al. Sex-specific evolution of bite performance in Liolaemus lizards (Iguania: Liolaemidae): The battle of the sexes. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 101, n. 2, p. 461–475, 2010.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. Modern Applied Statistics with S. 4 ed. Springer, 2002.

WESTNEAT, M. W.; DRIVE, S.; JR, J. H. L. KINEMATICS OF BIRDSONG : FUNCTIONAL CORRELATION OF CRANIAL MOVEMENTS AND ACOUSTIC FEATURES IN SPARROWS. *J. Exp. Biol.*, v. 171, p. 147–171, 1993.

ZUMEL, N. Principal components regression, Pt. 2: Y-aware methods. San Francisco, US: Win-vector LCC, 2016 Disponível em: [http://www.win-vector.com/blog/2016/05/pcr\\_part2\\_yaware/](http://www.win-vector.com/blog/2016/05/pcr_part2_yaware/)

## Anexo 1. Informações sobre a realização das yPCAs

Por se tratar de uma metodologia recente é válido trazer informações sobre como foram conduzidas as yPCAs. Para realizar tal método, foi necessário criar uma função (aqui chamada “preparematrix.R”), a qual prepara uma matriz com a disposição dos dados necessária para a análise. O *script* para criação da função segue abaixo:

```
prepare.matrix<-function(Y,X){
  b<-vector()
  Xaw<-matrix(0,nrow(X),ncol(X))
  colnames(Xaw)<-colnames(X)
  for(i in 1:ncol(X)){
    b[i]<-coefficients(lm(Y~X[,i]))[2]
  }
  for(i in 1:nrow(X)){
    for(j in 1:ncol(X)){
      Xaw[i,j]<-(X[i,j]*b[j])-mean(X[,j]*b[j])
    }
  }
  return(Xaw)
}
source("preparematrix.R")
```

Essa função transforma os dados originais de X para a escala da variável Y, usando regressão para calcular um vetor de b coeficiente antes de aplicar a transformação para PCA Y-Aware. Os argumentos da função são Y = a variável dependente (vetor ou objeto) e X = o conjunto de dados com X variáveis.

Após a criação da função, foi criado um objeto (aqui chamado "objetoYaw") fazendo uso da mesma. Este objeto irá conter a matriz organizada com os dados a serem utilizados na análise. Deve-se utilizar a função, destacando

dentro do conjunto de dados (aqui chamado "dados") qual será a variável dependente (aqui chamada "Y"). Deve-se também indicar quais as variáveis a serem incluídas na análise (aqui chamadas "X"):

```
objetoYaw<-prepare.matrix(dados$Y , X)
```

Por fim, foi utilizada a função comum ("prcomp") para criar o objeto "pcYaw", o qual contém os resultados para a Y-Aware PCA:

```
pcYaw<-prcomp(objetoYaw,center=F)
```