



Universidade de Brasília
Instituto de Biologia
Departamento de Ecologia

**Comunicação acústica em pica-pau-do-campo
(*Colaptes campestris*): caracterização estrutural
e contextos sociais e ecológicos de sinais sonoros**

Débora Goedert

Orientadora: Regina H. F. Macedo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Brasília, 2010

"(...) there is a woodpecker, which in every essential part of its organisation, even in its colouring, in the harsh tone of its voice, and undulatory flight, told me plainly of its close blood-relationship to our common species; yet it is a woodpecker which never climbs a tree!"

(Charles Darwin, 1859)

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1. Introdução	
1.1 Contextualização teórica.....	01
1.2 A espécie de estudo.....	04
1.3 Justificativa e objetivos.....	06
2. Material e métodos	
2.1 Área e período de estudo.....	07
2.2 Caracterização da população estudada: marcação dos indivíduos e identificação dos grupos sociais.....	07
2.3 Gravações das vocalizações.....	08
2.4 Análise das gravações.....	09
2.5 Contextos ecológicos e sociais.....	11
3. Resultados.....	11
4. Discussão.....	22
5. Considerações finais.....	28
Referências Bibliográficas.....	30
Apêndice I – Sobre sons e análise de sons.....	40
Apêndice II – Configurações programa, configurações do espectrograma e variáveis escolhidas	45
Apêndice III – Elementos.....	48
Apêndice IV – Estatísticas descritivas.....	54

AGRADECIMENTOS

“Words are cheap. The biggest thing you can say is 'elephant’”

(Charlie Chaplin)

Ainda assim eu me atiro ao desafio de colocar em palavras a enorme gratidão que sinto por tantos que me acompanharam nesse caminho. E ao fim desse caminho, ofereço parte da conquista:

- Aos meu pais, por toda a luta que possibilitou a escolha desse caminho e por toda força e compreensão.

- À minha outra família, pelo cuidado, carinho e companhia:

À Ligia Lins e à Bianca Fujita por estarem presentes em todos os bons e maus momentos. Pelas festas, bagunças e besteiras sempre tão necessárias e pelos ombros, ouvidos e sorvetes quando preciso. Esse caminho teria sido infinitamente mais difícil e completamente sem graça sem vocês. Obrigada!

À Carol Corado e ao Érik Kato que mesmo de tão longe estiveram sempre tão presentes. Obrigada por essa amizade tão bonita!

À Clarissa Barbosa e à Carolina Bernardo por tantas e tantas palavras trocadas. Aos amigos: Juliana B. Lionzo, Mariah J. P. Vargas, Manoela W. Cardoso, Mariana Abreu, Marina Sayuri, Isabel Rodrigues, Stefano Aires, Lilian Manica, Marcos Roca, Sérgio H. Carvalho, Felipe Aires e Matheus M. Andreozzi, pelas conversas, desabafos, cafés, cervejas, passeios, festas, etc. Obrigada por me manterem em um nível normal de sanidade! Ah, ok, nível socialmente aceitável! ;) Cheers!

À Liliane de Almeida Maia e à sua família, por me receberem com tanto carinho, permitindo que eu fizesse parte de momentos muito especiais.

- Aos colegas de laboratório, de pós e da “vida de biólogo” por serem também os amigos nas dificuldades e frustrações de uma vida maluca da qual a gente insiste em gostar! Por dividirem momentos muito agradáveis e compartilharem seu conhecimento em discussões e ajudas em disciplinas e trabalhos de campo. Por

serem os amigos de corredor, de pausas para café, de almoço e de congressos. Obrigada! Obrigada também às minhas colegas emprestadas Thais Kubik, Camilla Pagotto e Ana Maria Nievas por tanta força e carinho.

- A todos os que, tão pacientemente, tiveram disposição de discutir, revisar ou ensinar tantas coisas que me ajudaram a completar esse caminho: Rafael Maia, Raphael Igor Dias, Marcos Roca, Carlos de Araújo e Alexandre Dias. I thank the BRP staff at the Cornell Lab of Ornithology for making the Sound Analysis Workshop such a great experience, allowing us to learn so much in such a short time. I thank specially Russ Charif, Liz Rowland and Ann Ward for the huge patience in helping with doubts and in unraveling the craziests spectrographs. Agradeço ainda ao João Vitor Caetano e à Paula Siscu pela ajuda e companhia no campo, e ao David Cho e ao Flávio Brandão pela opinião imparcial na solução de quebra-cabeças.

- Àqueles que, mesmo sem esforço, serviram de inspiração e motivação pela dedicação e paixão que apresentam por seu trabalho. Àqueles também que, por acreditarem que eu era capaz, fizeram valer o restinho de combustível que sobrava. E como os caminhos às vezes nos desafiam além do esperado, agradeço imensamente aos professores Maria Luiza Gastal (UnB) e Glauco Machado (USP), pelas palavras de incentivo e por aquele empurrãozinho que aciona o carro quebrado. I also thank Liliana d'Alba, for sharing memories that made me realise how great you can be even when life is not that easy.

- Ao Raphael Igor Dias, que foi orientador, colega de trabalho, ajudante de campo e a quem eu devo grande parte dessa conquista e da minha formação profissional. Agradeço do fundo do coração por toda a paciência, discussões e ensinamentos. Agradeço ainda pela imensa amizade, tornando desnecessária a tolerância para convivência diária e permitindo momentos tão alegres e divertidos apesar da enorme quantidade de trabalho, poucas horas de sono e muito sol na cachola!

- Ao Rafael Maia, que faz “elefante” ser uma palavra muito pequena perto de tudo o que eu tenho a agradecer. Obrigada por todo amor, carinho e companheirismo, que tornam as dificuldades superáveis e os tropeços irrelevantes; pela força e incentivo nos momentos de dúvida, ainda mais pela compreensão nos momentos de desespero; pelos momentos de alegria que dão cor às paisagens do caminho; e por toda ajuda e ensinamentos compartilhados. Acima de tudo, obrigada por acreditar!

Agradeço, por fim:

- À funcionária Thais, da secretaria do programa de pós graduação em ecologia, pela ajuda com os incontáveis pepinos burocráticos; às funcionárias Ana e Sandra, por garantirem a limpeza e o café do departamento; e aos funcionários da Fazenda Água Limpa (UnB).

- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos fornecida e ao Decanato de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade de Brasília pelo auxílio financeiro para viagem a congresso.

- À professora Regina H. F. Macedo pela oportunidade de fazer parte do laboratório de comportamento animal, pelas críticas e sugestões, e pela contribuição imensurável à minha formação acadêmica.

- Aos membros da banca examinadora, por disponibilizarem seu tempo para criticar valiosamente o resultado final dessa estória toda.

RESUMO

Sinais sonoros são essenciais para a comunicação em aves, permitindo a identificação de espécies. Muitas vezes, ainda, estão relacionados ao contexto social ou ecológico do indivíduo emissor, e podem afetar significativamente a aptidão dos indivíduos que participam da interação, especialmente em espécies com alto grau de socialidade. Assim, buscou-se descrever e caracterizar os sinais sonoros em uma população de pica-pau-do-campo (*Colaptes campestris campestris*) do Brasil Central, bem como investigar se esses sinais podem ser relacionados a contextos sociais e ecológicos específicos. Durante o período de agosto de 2007 a dezembro de 2009, um total de 26 grupos sociais foram monitorados e tiveram suas vocalizações gravadas. Não houve registro de tamborilado, indicando que a comunicação acústica nessa espécie se dá apenas por sinais vocais. As cinco vocalizações mais comuns dentre as oito encontradas apresentam 12 tipos de elementos diferentes. Para cada uma das cinco vocalizações foram calculadas as estatísticas descritivas do número de elementos; intervalo entre elementos; duração dos elementos; frequência de maior amplitude; frequência máxima, mínima e central do primeiro tom; e banda de frequência do primeiro tom. São descritas também a combinação de elementos que compõe cada vocalização e os contextos identificados. Muitos contextos puderam ser identificados para cada vocalização, sendo que, para determinados contextos, foram utilizadas mais de uma vocalização. Foi observado, ainda, o uso de sinais visuais associados a algumas vocalizações. A variedade de contextos observada, o uso combinado de diferentes vocalizações e de sinais multimodais permite uma grande variedade de interações via comunicação acústica, apesar da ausência de tamborilado, condizente com a complexidade social da espécie. Esse trabalho é o primeiro a classificar as vocalizações do pica-pau-do-campo com base em sua estrutura acústica, o que permite a realização futura de estudos mais detalhados da comunicação dessa espécie.

ABSTRACT

Sonorous signals are crucial for communication in birds, providing clues for the species identification. These signals can also be related to the social or ecological contexts of the sender, and thus significantly affect the fitness of all individuals participating in the interaction, particularly individuals of highly social species. Therefore, the aims of this study was to describe and characterize the acoustic repertoire of the campo flicker (*Colaptes campestris campestris*) in a population of Central Brazil, and investigate whether these signals are related to particular social or ecological situations. A total of 26 social groups were monitored from August 2007 to December 2009 and had their acoustic signals recorded. There were no records of drumming, suggesting this species relies solely on vocal calls for communication. The five most common vocalizations out of eight calls found are composed by 12 different elements. Descriptive statistics are presented for each of these five calls on the number of elements; the interval between elements; the duration of elements; peak frequency; maximum, minimum and central frequencies of the first tone; and the bandwidth of the first tone. The elements composing each call and the situations associated with the calls are also described. There was a variety of situations associated with each call, and for some situations, more than one call was used. Visual signals were also displayed in association with some of the calls. The variety of contexts and both the use of different calls in combination and the use of multimodal signals result in a great diversity of possible interactions through acoustic communication, even in the absence of drumming, which is consistent with the social complexity of this species. This is the first study to classify the vocal call of the campo flicker based on the acoustic structure of the signals, therefore laying ground for future studies on the communication of this species.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização teórica

Comunicação é uma interação entre indivíduos na qual um sinal é transmitido por um emissor a um receptor (Krebs e Davies 1996). A comunicação pode aumentar a aptidão tanto do emissor quanto do receptor, através da redução de incerteza sobre os comportamentos de cada um (Searcy e Nowicki 2005; Font e Carazo 2010). Em primeiro lugar, um indivíduo pode emitir sinais que geram respostas previsíveis, sendo capaz de modificar o comportamento de outros, como ao atrair um indivíduo do sexo oposto ou afugentar competidores (Krebs e Davies 1996; Rendal *et al.* 2009). Ao mesmo tempo, o receptor é capaz de extrair informações funcionais (*sensu* Carazo e Font 2010) do sinal, tais como características do emissor, contextos ecológico e/ou social imediatos do emissor, bem como a previsão de comportamentos subsequentes do emissor (Carazo e Font 2010; Font e Carazo 2010; Seyfarth *et al.* 2010)

O aumento de aptidão dos indivíduos, porém, depende da confiabilidade e da honestidade do sinal (Searcy e Nowicki 2005; Scott-Phillips 2010; Seyfarth *et al.* 2010). A confiabilidade diz respeito à correta ou previsível associação entre o sinal e uma ou mais informações funcionais, enquanto a honestidade diz respeito ao uso do sinal em situações adequadas (Scott-Phillips 2010; Seyfarth *et al.* 2010). Caso não haja confiabilidade e honestidade nos sinais no balanço geral das interações, prevê-se que a seleção natural deva favorecer ausência de resposta por parte dos receptores (Scott-Phillips 2010) e o sinal deva desaparecer (Searcy e Nowicki 2005; Carazo e Font 2010).

A comunicação animal se dá através de sinais visuais, químicos ou até mesmo acústicos, podendo ser composto de sinais múltiplos que se reforçam (Johnstone 1998; Dugatkin 2004), e ocorrer entre indivíduos da mesma ou de diferentes espécies (e.g. Forsman e Monkkonen 2001; Goodale *et al.* 2010). Dentre as inúmeras formas de comunicação, o som pode ser destacado por sua flexibilidade, uma vez que um grande número de informações pode ser obtido em pouco tempo através de rápidas variações de tom, volume e estrutura harmônica (Krebs e Davies 1996). Além disso, possui peculiaridades como permitir a sinalização à longas distância (pois penetra no ambiente) e a potencial omnidirecionalidade (Slabbekoorn 2004).

Em aves, a comunicação sonora pode ser especialmente notada em pássaros de canto (Oscines), sendo que cantos são produzidos por machos durante a época

reprodutiva e freqüentemente associados a disputas entre machos e à atração de parceiros reprodutivos (Catchpole e Slater 2003; Collins 2004; Marler 2004). A comunicação sonora em aves, no entanto, também inclui chamados, que se diferenciam dos cantos por apresentarem menor duração e menor número de elementos, e por serem produzidos por ambos os sexos durante o ano todo (Catchpole e Slater 2003; Marler 2004). Do ponto de vista funcional, o repertório de chamados das aves chega a variar ainda mais que o de cantos (Marler 2004), ocorrendo em contextos particulares que podem ser relacionados a suas funções (Catchpole e Slater 2003). Esse repertório pode incluir chamados com função de alertar outros indivíduos sobre uma situação de perigo ou sobre alimento disponível, de manutenção de grupo ou par social (Brown *et al.* 1988; Kellam 2003), de reconhecimento individual, e de agressividade, entre outros. Muitas vezes, inclusive, há mais de um chamado para um mesmo contexto (Marler 2004).

Em algumas espécies existe ainda comunicação através da produção sonora não vocal, produzida por retrizes ou rêmiges diferenciadas, bico ou patas. Muitas espécies da família Pipridae, por exemplo, produzem sinais acústicos ao baterem rêmiges (penas de vôo das asas) ou retrizes (penas de vôo da cauda) umas nas outras (revisado em Prum 1998), enquanto algumas espécies de beija-flor apresentam produção de som como resultado do movimento de penas das retrizes causado pelo vento durante vôo em alta velocidade (Clark e Feo 2008). Muitas espécies de pica-pau, por sua vez, apresentam os chamados tamborilados, sons produzidos quando o animal bate seqüencialmente o bico em um substrato, que diferem de sons produzidos acidentalmente durante o forrageamento. Os tamborilados podem ser rápidos ou lentos, e podem ter funções diferentes ou sobrepostas às funções de vocalizações, apresentando importância diferente de espécie para espécie (ver Stark *et al.* 1998; Wilkins e Ritchison 1999; Tremain *et al.* 2008).

A comunicação por meio de sinais acústicos, assim como outros sinais, porém, envolve custos energéticos, além de atrair a atenção de predadores e aumentar a chance de ataque por parte dos receptores (Johnstone 1998). Dessa forma, a seleção natural deve favorecer um balanço entre custos e benefícios tanto para emissores quanto para receptores, levando-se em consideração o grau de conflito entre eles (Johnstone 1998). Assim, a pressão seletiva sobre sinais acústicos difere entre espécies, contextos sociais e habitats, resultando em tipos de sons que favoreçam a transmissão dos sinais em cada situação (Slabbekoorn 2004).

Ao se propagar no ambiente, os sinais acústicos sofrem efeito da atenuação e da degradação (Slabbekoorn 2004; Boncoraglio e Saino 2007). Atenuação é o processo de absorção de energia do som pela atmosfera (vento) e por obstáculos no ambiente, como galhos, folhas e até mesmo o chão. Já degradação é a mudança de características estruturais que ocorrem cumulativamente durante a emissão de um emissor para um receptor (Slabbekoorn 2004; Boncoraglio e Saino 2007), resultando em reverberação (flutuações irregulares de amplitude e atenuação dependente de frequência; Naguib 2003). Ambos os processos estão relacionados à frequência do som, sendo que frequências mais altas sofrem atenuação mais rapidamente e, por possuírem comprimentos de onda menores que as mais baixas, são degradadas mais facilmente por obstáculos menores (Slabbekoorn 2004). Além disso, efeitos da reverberação são muito proeminentes em vocalizações que consistem em uma repetição rápida de elementos (trinados), sendo os trinados mais rápidos os mais prejudicados e, portanto, menos eficientes na comunicação a longa distância (Naguib 2003). Outra característica do som relacionada à frequência é a direcionalidade. Frequências mais altas são mais direcionais que frequências mais baixas, as quais se propagam de forma omnidirecional (Dantzker *et al.* 1999; Patricelli *et al.* 2007).

Já em relação ao contexto social dos indivíduos, a estrutura dos sinais deve estar relacionada à eficiência ótima de transmissão para sua função. Sinais direcionados a múltiplos coespecíficos (como vocalizações territoriais) devem ser mais conspícuos e atingir maiores distâncias, para maximizar o número de receptores, em comparação a sinais restritos (como vocalizações de contato e manutenção do bando), para minimizar a detecção por parasitas ou predadores (Dugatkin 2004; Patricelli *et al.* 2007). Para o icterideo *Agelaius phoeniceus*, por exemplo, a direcionalidade das vocalizações varia de acordo com a função exercida na comunicação, sendo as vocalizações de alerta menos direcionais em comparação às usadas durante a corte ou solicitação de cópula (Patricelli *et al.* 2007). Além disso, estudos com a espécie de macaco *Cercocebus albigena* mostram que a frequência de uma vocalização usada na sinalização entre grupos é mais baixa (atinge maiores distâncias) que a de uma outra usada para comunicação intra-grupo (Waser e Waser 1977).

Por fim, a estrutura da vocalização pode ser resultante de características dos indivíduos, tais como o tamanho corporal (e.g. Ryan e Brenowitz 1985; Bertelli e Tubaro 2002) ou tamanho e largura do bico do indivíduo (e.g. Podos 2001).

Variações em morfologia do bico e tamanho corporal podem corresponder a diferentes condições ecológicas, e os diferentes sinais associados a tais características morfológicas podem ser uma possível causa de especiação (Podos 2001, 2007; Huber e Podos 2006). Assim, sinais vocais podem ainda indicar a história evolutiva de espécies (ver Webb e Moore 2005).

1.2 A espécie de estudo:

O pica-pau-do-campo (*Colaptes campestris* Vieillot, 1818) é uma espécie de tamanho médio grande (tamanho corporal em torno de 32 cm), estando entre as maiores das espécies da família Picidae encontradas no Brasil (Short 1982; Sick 1997). A espécie é encontrada em áreas abertas ou semi-abertas, apresenta distribuição ampla no leste da América do Sul, embora endêmica dessa região e não-migratória (Short 1975, 1982; Sick 1997). Além disso, divide-se em duas subespécies. A subespécie *C. campestris campestris* apresenta garganta de coloração branca e distribuição restrita ao sul da América do Sul (Paraguai e Rio Grande do Sul), enquanto a subespécie *C. campestris campestris* (Figura 1) apresenta garganta de coloração preta e distribuição mais ampla, desde o estado de Santa Catarina ao norte da América do Sul (Pará e Suriname; Short 1975).

Embora seja considerada a mais distinta entre as oito espécies do gênero *Colaptes* (Short 1975), o pica-pau-do-campo apresenta características marcantes do gênero, como especializações para hábitos terrestres (Short 1972, 1982; Sick 1997; Figura 1a) e dimorfismo sexual por coloração do malar (machos apresentam mancha vermelha no malar; Figura 1b). Os indivíduos são frequentemente encontrados forrageando em cupinzeiros ou no solo, alimentando-se de formigas e cupins (Short 1972, 1982) e nidificando preferencialmente em cupinzeiros (Dias e Macedo 2010), embora possam fazer ninhos em árvores e barrancos (Short 1975; Dias e Macedo 2010). Por essas características, Short (1972, 1982) considera a espécie *C. campestris*, juntamente com *C. rupicola*, as espécies mais terrestres do gênero. Ambas as espécies são ainda descritas pelo mesmo autor como as mais sociais do gênero, sendo que os indivíduos de pica-pau-do-campo vivem em bandos que podem chegar a sete indivíduos (observ. pessoal). Além disso, essa espécie apresenta reprodução cooperativa facultativa, em que os grupos variam de casais socialmente monogâmicos a grupos com um macho e mais de uma fêmea, grupos com uma fêmea e mais um macho e grupos com dois machos e duas fêmeas (Dias *et al.*; manuscrito submetido).



Figura 1. Indivíduos de *Colaptes campestris campestris* de uma população do Brasil Central: a) indivíduo fêmea encontrado forrageando no chão (foto de D. Goedert); b) indivíduo macho, com a coloração vermelha no malar que permite a diferenciação entre os sexos na espécie em destaque (foto de R. Maia).

1.3 Justificativa e objetivos

Quando pressões seletivas são atuantes no processo de comunicação, como mencionado, o repertório acústico é espécie-específico. A composição desse repertório não apenas permite a identificação da espécie, mas pode ainda refletir aspectos da história de vida dos indivíduos e das características de seu habitat. Dessa forma, o conhecimento do repertório acústico de uma espécie é uma ferramenta para levantamentos de fauna ou estudos cuja metodologia exige reconhecimento da espécie por seus sinais sonoros. O conhecimento do repertório acústico é o primeiro passo para o estudo mais detalhado de inúmeras questões ecológicas, comportamentais e evolutivas, permitindo uma visão mais ampla da importância da comunicação para a interação entre os indivíduos.

Mais ainda, a compreensão da comunicação em espécies com alto grau de complexidade social, como o caso de espécies cooperativas tais como o pica-pau-do-campo, é de fundamental importância para que se tenha uma visão ampla de como a comunicação contribui para os diferentes sistemas sociais em aves (Brown e Farabaugh 1991). Short (1972) descreve as espécies do gênero *Colaptes* como sendo “bastante conspícuas e vocalmente ativas”, chegando a chamá-las de “pica-paus barulhentos” (p. 8), ressaltando a importância que a comunicação sonora deve exercer na biologia dessas espécies, o que as torna interessantes objetos de estudo na área da comunicação.

Stark e colaboradores (1998) ressaltam que sinais vocais em Piciformes são pouco estudados e mal compreendidos, sendo que, ainda hoje, são raros os trabalhos sobre vocalizações de pica-paus. Para o pica-pau-do-campo, apenas do trabalho de Short (1972) pôde ser encontrado, sendo descritas as vocalizações dessa espécie em comparação às outras do gênero. Embora bastante extenso e de notável contribuição ao conhecimento desse táxon, o trabalho exige complementações no esforço de amostragem, além de apresentar limitações relativas aos métodos de análise (ver Apêndice 1), cuja tecnologia recebeu muito investimento desde então. Embora o trabalho apresente espectrogramas, a classificação das vocalizações é feita principalmente com base em descrições onomatopéicas, sujeitas a interpretações diferentes dependendo do pesquisador. Assim, a descrição estrutural das vocalizações ainda é necessária, permitindo consistência entre classificações, uma comparação mais eficiente com outras espécies e ainda o desenvolvimento de estudos futuros. Por fim, vale ressaltar que o trabalho de Short (1972) descreve, em grande parte,

vocalizações encontradas para indivíduos da subespécie *campestris*, não havendo trabalhos descritivos para *Colaptes campestris campestris*.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é descrever o repertório acústico do pica-pau-do-campo, *C. c. campestris*, e a estrutura dos sinais, além de relacionar tais sinais a contextos sociais e ecológicos, discutindo os resultados em relação às características particulares da espécie. A identificação do contexto em que sinais são emitidos evidencia a função putativa das informações contidas nas vocalizações (Nelson e Croner 1991; Seyfarth *et al.* 2010), permitindo o levantamento de hipóteses a serem testadas. Assim, objetiva-se discutir possíveis funções para os sinais encontrados e novas questões a serem estudadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área e período de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL), propriedade da Universidade de Brasília. A FAL faz parte da Área de Proteção Ambiental das Bacias do Gama e Cabeça do Veado e localiza-se a aproximadamente 18 km a sudeste do Plano Piloto, Brasília (15°57'S e 47°56'W). A vegetação da FAL é composta pelas fitofisionomias típicas de cerrado, tendo esse estudo se concentrado em regiões de campo limpo, campo sujo e cerrado *sensu stricto* (ver Eiten 1972), além de áreas alteradas por ação humana.

O período de estudo foi de agosto de 2007 a dezembro de 2009. Foram realizadas aproximadamente 450 horas de trabalho campo em 2007, sendo essas distribuídas de agosto a dezembro desse ano. Foram realizadas aproximadamente 1200 horas de trabalho de campo no ano de 2008 e no ano de 2009, sendo que, no ano de 2008 a maior parte do trabalho aconteceu entre os meses de junho e dezembro, enquanto em 2009 o trabalho foi concentrado entre os meses de janeiro a setembro.

2.2 Caracterização da população estudada: marcação dos indivíduos e identificação dos grupos sociais

Os indivíduos adultos foram capturados com redes de neblina colocadas próximas a ninhos ou dormitórios de grupos, ou ainda em áreas onde estes eram vistos com frequência, atraindo-os com auxílio de *playback*. Em algumas capturas foi apresentado um modelo de isopor moldado e pintado com as cores da espécie

próximo ao alto falante do *playback*. Os filhotes foram capturados enquanto ainda estavam dentro do ninho, com idades entre 23 a 25 dias. Tanto indivíduos adultos quanto filhotes foram marcados com uma combinação única de três anilhas coloridas e uma anilha metálica permanente e numerada (cedida pelo CEMAVE, ICMBio, licença nº 2056), para possibilitar a diferenciação de cada indivíduo. O sexo dos indivíduos foi identificado pela presença de uma mancha vermelha na região malar em machos (Short 1972), sendo essa mancha distinta até mesmo em filhotes a partir de aproximados 20 dias de idade (observ. pessoal).

Indivíduos foram considerados como pertencentes a um mesmo grupo social quando consistentemente encontrados juntos e defendendo determinada área (*i.e.* território do grupo). As delimitações dos territórios foram obtidas do projeto de doutorado de Raphael Igor Dias em andamento no Laboratório de Comportamento Animal da Universidade de Brasília.

Foram monitorados 26 grupos durante o período de estudo. O período de acompanhamento dos grupos variou em função da data em que os grupos foram encontrados. Conseqüentemente, monitorou-se nove grupos em 2007, 17 grupos em 2008 e 23 grupos em 2009. O monitoramento dos grupos foi feito de duas formas: i) por observações livres e focais enquanto os grupos eram seguidos durante a estação não reprodutiva (janeiro a julho); e ii) por observações focais do comportamento dos indivíduos a aproximadamente 20 m do ninho durante a estação reprodutiva (agosto a dezembro). A composição e o número de indivíduos dos grupos variou de ano a ano, com a incorporação e/ou saída de indivíduos. Em 2007, cinco grupos eram formados por casais e quatro eram grupos de mais de dois indivíduos; em 2008, foram acompanhados 10 casais e sete grupos maiores; já em 2009, 15 grupos eram formados por um macho e uma fêmea e oito eram formados por mais de dois indivíduos.

2.3 Gravações das vocalizações

Foram gravadas as vocalizações emitidas pelos indivíduos em quatro possíveis situações no campo: i) enquanto os grupos eram monitorados; ii) durante observações focais do comportamento dos indivíduos a aproximadamente 20 m do ninho; iii) durante captura dos indivíduos; e iv) em resposta a *playback*. Utilizou-se um gravador digital Marantz modelo PMD660 e um microfone omnidirecional Sennheiser ME62/K6 acoplado a uma parábola (Telinga Pro-Universal) de 55,9 cm de diâmetro (nas situações i e iv) ou um microfone unidirecional Sennheiser ME66/K6 (nas

situações ii e iii). As amostras foram gravadas em Mono a 16 bits e 48kHz (gravações feitas em 2007) ou 44.1kHz (gravações feitas em 2008 e 2009), em formato .wav.

Para cada gravação, foram registradas a data, a hora e o local da gravação. Sempre que possível, foi registrada a identidade do indivíduo vocalizando e de outros indivíduos envolvidos nas interações, assim como os contextos ecológico e sociais relacionados.

2.4 Análises das gravações

As gravações foram analisadas no programa Raven Pro 1.4 (Cornell Laboratory of Ornithology), configurado para calcular ao espectro de poder segundo a versão 1.2 (ver Apêndice 2). Todos os espectrogramas foram visualizados em janela Hann (banda de frequência a 3dB sendo 124Hz), a 1024Hz de DFT, 512 amostras de tamanho de janela (tamanho de grade de 43,1Hz) e 80% de sobreposição (tamanho de grade de 2,31ms; ver Apêndices 1 e 2).

Primeiramente, foram excluídas as vocalizações sem identificação e com baixa qualidade, cuja relação entre sinal e ruído de fundo não permitiam uma boa distinção ou que apresentassem distorção. Em segundo lugar, observou-se a qualidade das gravações através do oscilograma, excluindo-se gravações que apresentassem “clipping” (distorção causada por sons de alta intensidade) ou cuja frequência máxima ultrapassasse o limite do espectrograma de 22kHz, para as gravações feitas a 44.1kHz, ou 24kHz, para as gravações feitas a 48kHz (frequência de Nyquist; ver Apêndice 1). Esses passos foram tomados para garantir que a extração das variáveis de interesse não fossem afetadas por artefatos de gravação. Por fim, foram filtradas as faixas de frequência abaixo de 500Hz, excluindo-se assim ruídos de fundo de alta energia que afetam as medições.

De um total de 864 gravações (11h 16min 23s), restaram 211 vocalizações após inspeção visual dos espectrogramas. As vocalizações restantes foram categorizadas em grupos com base em sua semelhança acústica, não sendo utilizadas as vocalizações cuja categorização fosse duvidosa. No caso de haver mais de uma vocalização de determinada categoria para um mesmo indivíduo, a vocalização a ser usada foi sorteada. Com isso, 55 vocalizações foram medidas para a caracterização estrutural. Devido ao baixo número amostral e à ausência de independência entre as vocalização de diferentes categorias, não foi possível fazer uma análise discriminante.

Para a caracterização estrutural das vocalizações, as medidas relacionadas a tempo foram selecionadas no oscilograma e as medidas relacionadas a frequência no espectrograma. As definições de elemento e série de elemento (Figura 2) foram baseadas em Brown e colaboradores (1988), sendo:

- Elemento: cada emissão vocal contínua. Em alguns casos essa emissão é formada por subunidades descontínuas, mas separadas por menos de 60ms.;
- Série de elementos: seqüência de elementos que ocorrem em proximidade temporal.

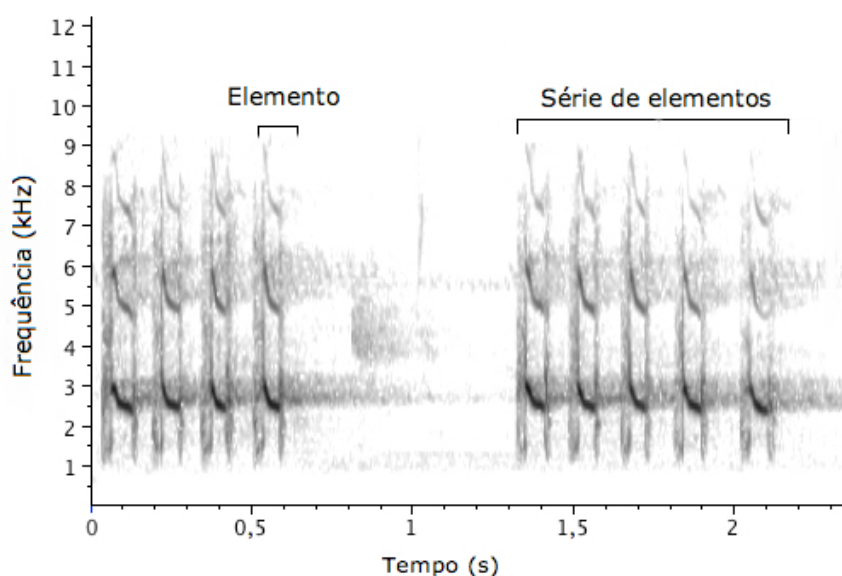


Figura 2. Espectrograma indicando um elemento, definido como uma emissão vocal contínua; e uma série de elementos, caracterizada como uma seqüência de elementos em proximidade temporal. A escala de tempo indica o intervalo de 0,5s e, assim, para a série apresentada, uma taxa de cinco elementos por segundo.

Para cada vocalização mediu-se o número de elementos e o número total de séries de elementos, considerando-se a duração da vocalização; a duração das séries, o intervalo entre séries e o número de elementos por série para obter a taxa de repetição dos elementos. Além disso, foi medida a duração de cada elemento, bem como o intervalo entre eles e a frequência de maior intensidade do elemento. As seguintes variáveis foram medidas no tom de menor frequência visível no espectrograma: frequência mínima e máxima, banda de frequência e a frequência central (ver Apêndice 2). Foram desconsideradas para as medidas de frequência os elementos que não apresentavam tons distinguíveis por estarem sobrepostos a ruídos, bem como os elementos que apresentavam apenas ruídos, sem tons distintos. No caso de uma

vocalização de duração maior que 1min, foram mensurados os elementos de um intervalo de 20s centrais à vocalização. Foi considerada a média de cada uma dessas medidas para a vocalização de cada indivíduo e, a partir dela calculadas as seguintes estatísticas descritivas para cada tipo de vocalização: média, valores mínimo e máximo, desvio padrão e coeficiente de variação.

2.5 Contextos ecológico e social

Buscou-se identificar o contexto relacionado a cada vocalização emitida, sendo os casos de vocalizações emitidas em seqüência considerados como uma ocorrência, desde que não houvesse alteração de contexto. Para essas ocorrências, contabilizou-se o número de vocalizações emitidas.

Sempre que possível, foram identificados tanto o emissor da vocalização, como os indivíduos nas proximidades. Da mesma forma, buscou-se identificar os contextos imediatamente antes, durante e imediatamente depois da vocalização. Dentre os contextos identificados, estão: a presença, localização e identidade de outros indivíduos; o comportamento do indivíduo emissor e dos outros indivíduos, fossem esses do mesmo grupo social que o emissor ou de outro grupo; a emissão de outros sinais acústicos ou visuais pelo próprio emissor ou por outros indivíduos; a presença e a localização de um potencial predador (e.g. corujas, carcará); a localização e proximidade do observador; atividades de cuidado parental; repouso; deslocamento.

3. RESULTADOS

Foram identificadas 12 elementos diferentes, apresentados visualmente no Apêndice 3 e descritos abaixo.

- I: caracterizado por um aumento gradual de freqüência até o valor máximo, seguido de uma queda gradual de freqüência, formando um “U” invertido. Em algumas variações, pode apresentar intensidade maior no início, de forma que apenas o início da queda de freqüência é perceptível.
- II: caracterizado por um aumento gradual de freqüência, seguido de um aumento abrupto de freqüência e um platô.
- III: caracterizado por um aumento gradual de freqüência, com uma queda abrupta na freqüência, seguido de um platô.

- IV: caracterizado por um aumento gradual de freqüência. Em variações, pode apresentar: a) aumento gradual de freqüência até aproximadamente metade da duração da nota, seguido de um platô e novo aumento gradual em freqüência; b) aumento gradual de freqüência curto, seguido de platô com aproximadamente metade da duração da nota e um novo aumento de freqüência; c) curto platô seguido de aumento gradual de freqüência; d) curto platô seguido de um aumento abrupto de freqüência e um aumento gradual de freqüência.
- V: caracterizado por pouca variação na freqüência ao longo de toda sua duração.
- VI: caracterizado por pouca variação na freqüência por aproximados dois terços de sua duração, seguido de uma queda abrupta de freqüência e a formação de um platô.
- VII: apresenta-se como uma imagem espelhada do elemento VI, com um platô curto seguido de um aumento abrupto de freqüência, a partir do qual não há variação.
- VIII: caracterizado por um platô com variação muito pequena e decrescente de freqüência, acompanhado de ruído ao início e ao fim do tom.
- IX: caracterizado por uma diminuição gradual de freqüência, muitas vezes acompanhado de ruído ao início e ao fim. Em variações, pode apresentar: a) queda regular de freqüência; b) pequeno platô seguido de uma queda gradual de freqüência e formação de um novo platô; c) semelhante ao b, mas com a formação de três platôs; d) semelhante a b e c, mas com a formação de quatro platôs. e) platô curto seguido de uma queda abrupta de freqüência e outro platô de aproximados dois terços da duração do elemento;
- X: caracterizado por um aumento gradual até o valor máximo de freqüência, seguido de uma queda gradual, formando um platô e, por fim, nova diminuição gradual de freqüência. Apresenta ruído no início e no fim do elemento.
- XI: semelhante ao descrito para o elemento IX-c, mas apresentando um componente adicional da metade para o final: platô seguido de queda gradual na freqüência com valor de freqüência diferente do apresentado pelo primeiro componente.
- XII: caracterizado por um ruído ao início e ao final, com ausência de um tom definido. Em variações, pode apresentar: a) apenas um componente rápido; b) dois componente distanciados por até 60ms; c) como b, mas formação de um

platô curto, seguido de uma diminuição rápida de frequência junto com o segundo componente de ruído.

Foram encontrados oito tipos de vocalização, facilmente distinguíveis sonora e visualmente, sendo apenas os cinco principais tipos de vocalização emitidas por adultos apresentadas abaixo (Figuras 3 a 7; Apêndice 4). Para cada vocalização, são apresentados os números de vocalizações utilizados para a caracterização estrutural e o número de ocorrências em que os contextos socio-ecológico foram identificados. Os três outros tipos de vocalização registrados foram vocalização de chamado dos filhotes (*begging*), gritos de agonia (*distress calls*; emitidos tanto por filhotes quanto adultos) e uma outra vocalização registrada apenas para adultos, sendo emitida em intensidade muito baixa, dificultando sua gravação e visualização no espectrograma. Todas as categorias de vocalização foram observadas tanto para machos quanto para fêmeas.

- Vocalização A:

Características estruturais (n=8): Foram analisadas vocalizações de oito indivíduos (quatro machos, três fêmeas e um indivíduo cujo sexo não foi identificado), sendo que, para um deles não foi possível calcular a média do intervalo entre elementos pois a vocalização possuía apenas dois elementos. Essa vocalização (Figura 3) é composta por seqüência de elementos do tipo V, VI e VII, as quais variam de dois a 32 elementos (média $12,88 \pm 11,83$), em uma taxa de 2,33 a 4,21 elementos por segundo. Das oito vocalizações analisadas, quatro apresentaram séries curtas, entre dois e cinco elementos, e as outras quatro apresentaram séries longas, de 12 a 32 elementos, sendo essa diferença a razão de um valor tão alto para o desvio padrão. Os elementos dessa vocalização, juntamente com os da vocalização do tipo B (ver abaixo), apresentam a frequência máxima e a frequência 95% de menor valor em comparação às outras vocalizações.

A banda de frequência também é a menor entre as vocalizações, embora essa medida apresente grande coeficiente de variação. A grande variação encontrada nessa medida deve-se, entretanto, à banda de frequência dos elementos de um indivíduo com média de 564,65Hz. Retirando-se esse indivíduo da análise, a média permanece quase a mesma (251,52Hz), enquanto o desvio padrão e o coeficiente de variação caem para 46,55Hz e 18,51%, respectivamente. Apesar disso, o indivíduo não foi

excluído e o alto valor de variação foi considerado relevante pois nenhuma das outras características medidas para a vocalização desse indivíduo destaca-se das vocalizações dos outros indivíduos para essa categoria.

Para as medidas do domínio temporal, o padrão é inverso ao do domínio da frequência: essa categoria de vocalizações apresenta os maiores valores de duração dos elementos e de intervalo entre os elementos. O intervalo entre os elementos também apresenta grande variação, distribuída entre os indivíduos e não podendo ser atribuída a nenhum valor extremo.

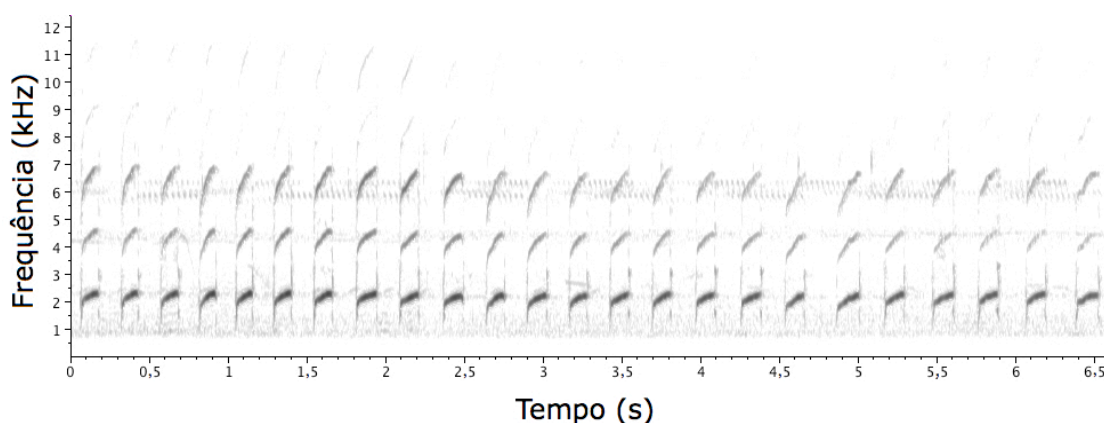


Figura 3. Exemplo de vocalização do tipo A de *Colaptes campestris*, composta por elementos do tipo V (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 80% de sobreposição).

Contextos ecológico-sociais (n=11): Foram registradas três ocorrências (27%) em que indivíduos emitiram seqüências de cinco ou seis séries longas (mais de 10 elementos). Os indivíduos (dois machos e uma fêmea) se encontravam sozinhos, vocalizando sobre árvores relativamente altas (2-3 m), enquanto exibiam um display em que abaixavam a cabeça e erguiam levemente a cauda. Ao mesmo tempo, exibiam um comportamento de abrir e fechar as asas rapidamente de forma a expor uma mancha branca dorsal, semelhante ao comportamento de “wing flicking display” descrito por Short (1972).

Um dos machos, não identificado, encontrava-se entre o território de dois grupos e durante aproximados 40min, não se teve indício da presença de outro indivíduo em um raio de pelo menos 50m. Esse indivíduo vocalizou durante todo o tempo, intercalando a seqüência com vocalizações do tipo B. Já o macho e a fêmea

estavam em seus territórios junto com seus parceiros reprodutivos. O macho vocalizou 5min após a fêmea com quem estava pareado voar para longe, e continuou vocalizando por aproximados 10min. Por fim, a fêmea emitiu a vocalização duas vezes. Primeiramente, assim que o macho voou para longe, sendo que, em seguida, ela voou para perto dele. Em um segundo momento, a fêmea começou a vocalizar aproximadamente 20min após seu parceiro ter se afastado, intercalando as seqüências de vocalizações A com vocalizações do tipo B.

Em outras três ocasiões, essa vocalização ocorreu como resposta a *playback*. Embora as séries da gravação apresentadas aos indivíduos fossem longas, as respostas obtidas (39 séries) continham entre um e seis elementos, com duas séries apresentando nove elementos. Em três ocasiões, ainda, séries pequenas foram observadas em emissões intercaladas com vocalizações do tipo B e C, por indivíduos pousados próximos ao ninho. Por fim, foram observadas outras duas séries curtas (um e três elementos) relacionadas a cuidado parental, emitidas por uma única fêmea. No primeiro caso, a fêmea vocalizou enquanto o macho estava dentro do ninho e, após a vocalização o macho saiu do ninho. No segundo caso, a fêmea vocalizou imediatamente após sair do ninho.

- Vocalização B:

Características estruturais (n=10): Foram analisadas vocalizações de seis fêmeas, 3 machos e um indivíduo cujo sexo não foi identificado, compostas pelos elementos do tipo IV. Essa vocalização (Figura 4) apresenta valores baixos para todas as medidas do domínio de freqüência, exceto banda de freqüência, em relação às demais vocalizações. As freqüências 5%, 95%, central e máxima são as menores encontradas, embora as freqüências máxima e 95% sejam bastante semelhantes à da vocalização do tipo A. A banda de freqüência, em contrapartida, apresenta um dos valores mais altos entre as categorias de vocalização, embora bastante variável (com coeficiente de variação de 38,97%) A variação encontrada pode ser explicada pelo fato de dois indivíduos apresentarem bandas de freqüências maiores que 1000Hz, valor quase duas vezes maior que a média. Ao retirar esses valores, a média passa a ser 573,98Hz, o desvio padrão 110Hz e o coeficiente de variação 19,16%. Entretanto, em nenhum dos casos houve destaque de outras medidas em comparação a outros indivíduos.

Para as medidas do domínio temporal, o intervalo entre elementos apresenta valor intermediário em relação às outras vocalizações. Já a duração dos elementos é

bastante reduzida comparativamente, embora também apresente variação em torno de 40%. Essa variação aparenta estar distribuída entre os indivíduos, não podendo ser atribuída a nenhum valor extremo pois mesmo a retirada do valor máximo da série mantém o coeficiente de variação em 35,87%.

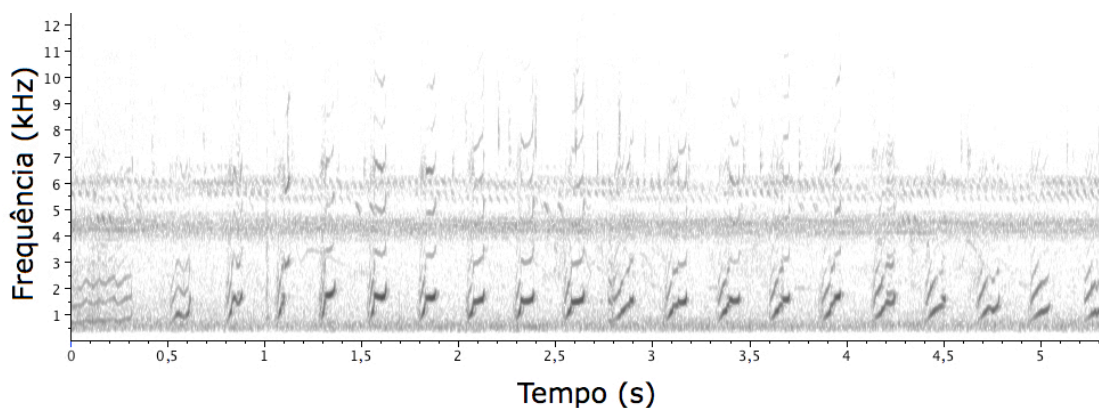


Figura 4. Exemplo de vocalização do tipo B de *Colaptes campestris*, composta por elementos do tipo IV (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 80% de sobreposição).

Contextos ecológico-sociais (n =32): Em sete das ocorrências registradas (21,88%), indivíduos emitiram 52 vocalizações em resposta a *playback* dessa mesma vocalização ou das vocalizações A e C. Em quatro desses eventos, as seqüências dessa vocalização foram seguidas ou intercaladas com vocalizações do tipo C, e em dois eventos, com vocalizações do tipo A. Essa vocalização foi emitida em resposta ou em seqüências intercaladas por vocalizações do tipo C em outras 13 ocasiões (40,62%) sem exposição a *playback*, sendo que em um dos casos, o indivíduo estava envolvido em uma disputa com um grupo vizinho. Essa vocalização também foi registrada (cinco ocorrências) em resposta ou intercalada à vocalização do tipo E. Em um desses casos, foi observado um juvenil recém saído do ninho, pousado em frente ao ninho ainda ativo de um casal vizinho, emitindo, também, vocalizações do tipo A. Nessa mesma ocasião, a fêmea do casal dono do território emitiu a vocalização B em resposta às vocalizações desse indivíduo.

Em outras três ocasiões, foram gravados indivíduos (um macho e duas fêmeas) que encontravam-se sozinhos, vocalizando sobre árvores relativamente altas de cerrado e exibindo o display corporal “*wing flicking*” (Short 1972). O macho e uma das fêmeas intercalaram as seqüências da vocalização B com vocalizações do tipo A

(relatado acima). A segunda fêmea foi encontrada emitindo seqüências dessa vocalização em seu território poucos dias após seu ninho ter sido predado, sendo que o macho com quem estava pareada não foi mais visto após a perda do ninho.

Foram ainda registradas oito ocorrências de uma vocalização cada durante atividades de cuidado parental, sendo três vezes antes de o indivíduo entrar no ninho e uma logo após sair do ninho. Em uma outra ocasião, foram registradas 11 vocalizações por indivíduos de um grupo composto por um macho e uma fêmea (juntos há pelo menos dois anos) e uma fêmea recém chegada. As vocalizações foram emitidas ao longo de 2h de observação da atividade de cuidado parental. Durante esse período, foram observados vários eventos em que a fêmea mais antiga do grupo perseguiu ou não permitiu a entrada da recém chegada no ninho.

- Vocalização C:

Características estruturais (n=9): Foram analisadas vocalizações de nove indivíduos, sendo cinco fêmeas, dois machos e dois indivíduos cujo sexo não foi identificado. Esse tipo de vocalização (Figura 5) é composto por elementos do tipo I, II, e III, embora possa apresentar elementos IV no início e no final da vocalização. As medidas do domínio de freqüência são intermediárias em relação às outras vocalizações. Já as medidas do domínio temporal, são baixas em comparação às demais categorias. A única medida que se destaca por sua variação é a banda de freqüência, cujo coeficiente de variação é de 40,14%. A grande variação encontrada nessa medida deve-se, entretanto, aos elementos de um indivíduo com média de banda de freqüência de 836,21Hz. Retirando-se esse indivíduo da análise, a média passa para $367,96 \pm 68,07\text{Hz}$, sendo o coeficiente de variação 18,50%. Além disso, a medida de freqüência máxima desse mesmo indivíduo foi o valor máximo encontrado para essa categoria de vocalização. Apesar disso, nenhuma das outras características medidas para a vocalização desse indivíduo destaca-se das vocalizações dos outros. Assim, o indivíduo não foi excluído.

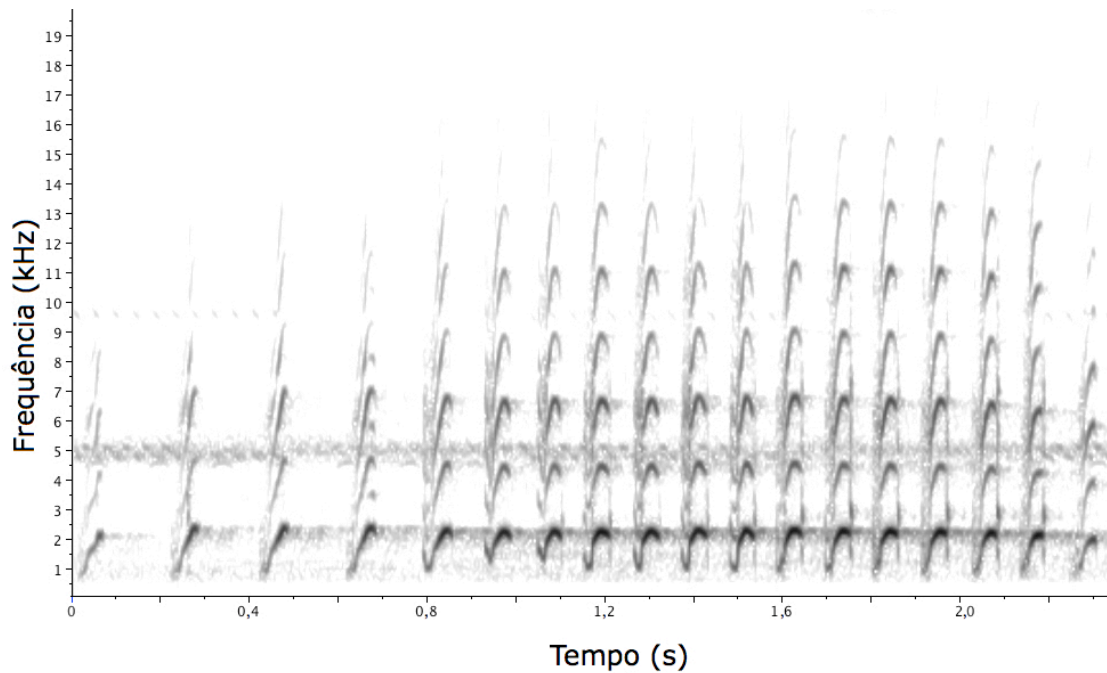


Figura 5. Exemplo de vocalização do tipo C de *Colaptes campestris*, composta por elementos do tipo I e elementos iniciais do tipo IV (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 80% de sobreposição).

Contextos ecológico-sociais (n=93): As 288 vocalizações registradas foram acompanhadas do display descrito por Short (1972) como “*wing flicking display*”. Esse tipo de vocalização é muitas vezes emitido por um único indivíduo (62,15%), mas pode ser coordenada com um outro indivíduo (macho ou fêmea) na forma de um dueto (22,57%) ou, ainda, com mais indivíduos do grupo, em um coro (15,28%). A ocorrência de duetos foi registrada não só para casais, mas também em grupos maiores, quando ocorreu entre quaisquer dois indivíduos do grupo.

Foram registradas 25 ocorrências em contextos de interação com grupos vizinhos: emitidas em resposta a outros grupos (dois solos, seis duetos e três coros); gerando respostas de outros grupos (um solo, dois duetos); tanto em resposta a outro grupo, quanto gerando resposta de outro grupo (quatro solos, cinco duetos); na presença de um indivíduo de outro grupo, em seqüência intercalada com a vocalização A (um registro). Em outras 14 ocasiões (56 vocalizações registradas), os indivíduos vocalizaram em resposta a *playback* tanto dessa vocalização quanto de vocalizações do tipo A e B. Nesses casos, a maior parte das respostas se deu em coro

ou dueto (57,14%), ou em seqüências em que coro, dueto e solos eram intercalados (35,71%).

Foram registradas 18 seqüências de até 13 vocalizações do tipo C de um mesmo grupo social, iniciadas com a vocalização espontânea de um ou mais indivíduos do mesmo grupo, algumas vezes intercaladas com vocalizações do tipo B. A vocalização C também foi utilizada em seqüências intercaladas com vocalizações A e B (ver acima) e, em outras 11 ocasiões, associada a emissão da vocalização do tipo E (ver abaixo). Nesses casos, a vocalização foi emitida por um mesmo indivíduo após ou de forma intercalada com a vocalização E, ou enquanto outros indivíduos emitiam essa outra vocalização.

Foram observadas 13 vocalizações em contextos relacionados à alimentação de filhotes: após o adulto sair do ninho (9); imediatamente antes de ir para o ninho (1); um indivíduo vocaliza e outro vai para o ninho (2); enquanto o parceiro reprodutivo estava no ninho (2). Por fim, em 12 ocasiões, observou-se a vocalização após um indivíduo se aproximar de outro ou outros indivíduos do mesmo grupo (6 solos e 6 coros e duetos).

- Vocalização D:

Características estruturais (n=10): Foram analisadas vocalizações de seis machos, duas fêmeas e dois indivíduos cujo sexo não foi identificado. Esse tipo de vocalização (Figura 6) é composto por elementos do tipo IX-a, IX-b, IX-c, muito semelhantes aos elementos da vocalização E (ver abaixo). Os elementos dessas vocalizações, inclusive, apresentam duração bastante parecidas, e banda de freqüência e freqüência máxima semelhantes. Apesar disso, essa vocalização é bastante distinta das outras pela presença de séries discretas de elementos. Cada vocalização pode apresentar de quatro a 19 séries, contendo de 2,25 a 4,25 elementos. Essas séries são separadas por um grande intervalo temporal, correspondente a mais de sete vezes o intervalo entre os elementos. Nota-se, ainda, que as características dessa vocalização são bastante consistentes, sendo que o coeficiente de variação está em torno de 20% para as medidas das séries de elementos, mas não ultrapassa 16% para as medidas dos elementos. Por fim, apresenta freqüências 5%, 95%, central com os maiores valores em comparação às outras vocalizações, e o intervalo entre elementos é, juntamente com a vocalização C, o menor entre as vocalizações.

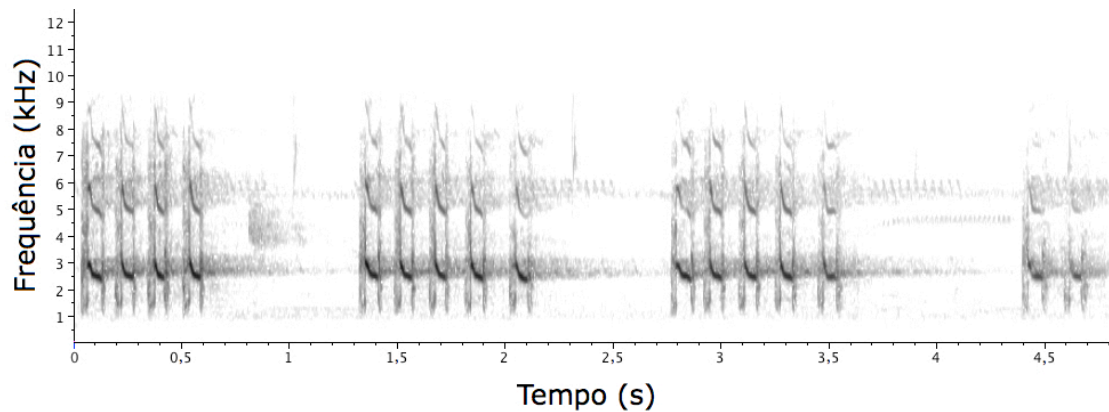


Figura 6. Exemplo de vocalização do tipo D de *Colaptes campestris*, composta por elementos do tipo IX (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 80% de sobreposição).

Contextos ecológico-sociais (n=44): Todas as ocorrências foram relacionadas ao vôo, embora nem todos os indivíduos observados em vôo emitiram essa vocalização. Os indivíduos começam a vocalizar assim que levantam vôo ou até mesmo segundos antes, vocalizando até pousarem novamente. Nos casos em que outro indivíduo do grupo segue o primeiro indivíduo, é comum que o segundo também vocalize.

Em 30 casos (68,18%) o vôo acompanhado da vocalização se deu durante ou após o indivíduo e/ou o resto do grupo social terem emitido vocalizações do tipo E. Em 18 desses casos, os indivíduos voaram distâncias menores que 20m, enquanto nos outros casos, os indivíduos voaram distâncias maiores que 200m. Em outras duas ocasiões, os indivíduos emitiram a vocalização em vôos realizados enquanto respondiam a *playback*.

-Vocalização E:

Características estruturais (n=18): Foram analisadas vocalizações de nove fêmeas e nove machos (Figura 7), não tendo sido possível analisar todas as variáveis do domínio de frequência para três das amostras, devido às características dos elementos dessas vocalizações (do tipo XII). Além de elementos do tipo XII, os elementos de VIII a XI compõem esse tipo de vocalização, sendo bastante semelhantes aos elementos da vocalização D, como já mencionado. A vocalização E apresenta altos valores para todas as medidas tanto do domínio de frequência quanto de tempo em relação às outras vocalizações, embora apenas a frequência máxima e o intervalo entre os elementos correspondam aos maiores valores. Essa vocalização é a que

apresenta maior variação, de modo geral, apesar de ser a categoria de vocalização com maior número amostral. Todos os coeficientes de variação estão acima de 20%, sendo o coeficiente de duração dos elementos 40% e o de intervalo entre elementos 175,79%. Ambas as variáveis apresentam valores máximos que se destacam dos valores das outras amostras. Ao retirar esses valores dos cálculos, a média da duração dos elementos passa para $62,66 \pm 17,66\text{ms}$, com coeficiente de variação de 28,18%. Já a média do intervalo entre os elementos passa a ser $658,62 \pm 532,01\text{ms}$, com coeficiente de variação de 80,76%. Os coeficientes de variação resultantes são ainda altos, resultando de uma variação que aparenta estar distribuída entre os indivíduos e não de valores extremos.

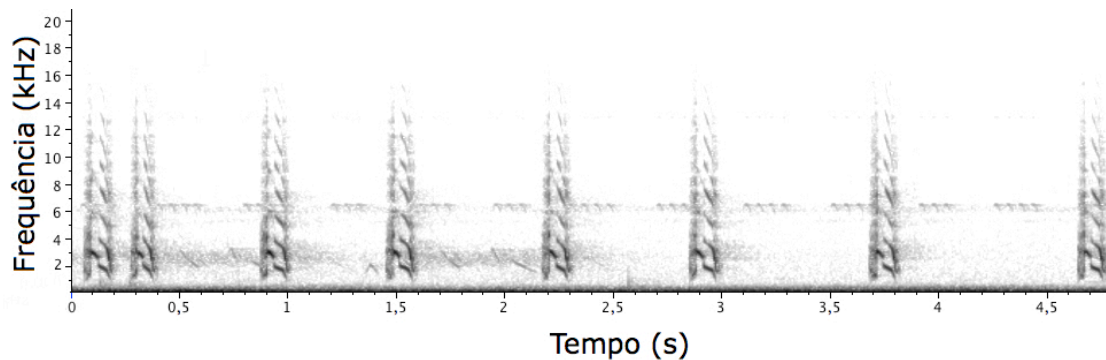


Figura 7. Exemplo de vocalização do tipo E de *Colaptes campestris*, composta por elementos do tipo IX (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 80% de sobreposição).

Contextos ecológico-sociais (n=51): Em 44 eventos, a vocalização esteve associada a situações de perigo tais como: aproximação do observador (38,63%); presença da barraca de observação focal dos ninhos (9,09%); durante anilhamento (25%); enquanto filhotes eram anilhados (15,91%); durante *mobbing* (9,09%) a tucano (*Ramphastos toco*), carcará (*Polyborus plancus*) ou gavião (não identificado); após sofrerem *mobbing* por quero-quero (uma ocasião). Dos onze indivíduos que vocalizaram enquanto estavam sendo anilhados, nove eram ninhegos que intercalaram essa vocalização com gritos de agonia. Em outras sete ocasiões, foi observado um filhote vocalizando com a cabeça para fora do ninho, sendo que em duas delas havia um adulto no cupinzeiro ou na árvore do ninho.

4. DISCUSSÃO

O repertório vocal do pica-pau-do-campo é composto por oito vocalizações, e apresenta grande variação estrutural e de contextos ecológicos e sociais que podem ser associados às vocalizações. Não houve registro de tamborilado. Devido ao longo tempo de estudo, é razoável supor que a espécie não apresenta tal comportamento. Embora seja comum que espécies da família Picidae apresentem extenso repertório vocal, a ausência do comportamento de tamborilado é rara (Kilhan 1959; Ligon 1970; Short 1970, 1972, 1982; Winkler e Short 1978).

Winkler e Short (1978) sugerem que a função básica do tamborilado rápido (*drumming*) seria a de proclamar uma determinada área como território que tenha árvores que podem ser utilizadas para tamborilar, indicando locais para escavação de ninhos ou abrigos (ver também Kilhan 1962). Já o tamborilado lento (*tapping*) pode ter função de manutenção do par social ou de estimular o parceiro na construção do ninho, sendo esse comportamento sempre associado à presença de uma cavidade pronta ou em construção (Kilhan 1959; Winkler e Short 1978; Wilkins e Ritchison 1999).

Considerando-se isso, é pertinente acreditar que a perda do comportamento de tamborilado no pica-pau-do-campo seja relacionada aos seus hábitos terrestres (Ligon 1970). Os indivíduos forrageiam principalmente em cupinzeiros e no chão, além de nidificarem preferencialmente em cupinzeiros (Dias, R.I.; dados não publicados), que representam substrato inadequado ao tamborilado. Isso poderia ser evidenciado, ainda, pelo fato de que não é conhecido o comportamento de tamborilado para as três espécies de Picidae com maior grau de especialização para hábitos terrestres (*C. campestris*, *C. rupicola* e *Geocolaptes olivaceus*; Short 1982). Mais ainda, apenas a função de indicar locais apropriados para construção de ninhos não pode ser realizada por nenhum tipo de vocalização (Winkler e Short 1978). Aliás, o uso de vocalizações para essas funções pode ser preferível, pois vocalizações podem conter um maior número de informações que o tamborilado (Winkler e Short 1978; Wilkins e Ritchison 1999).

Os cinco principais tipos de vocalizações encontradas podem ser diferenciadas por sua estrutura e sonoridade e puderam ser relacionadas a muitos contextos socio-ecológicos. Os elementos que compõem as vocalizações são muito semelhantes a elementos encontrados para outras espécies do gênero e até mesmo os encontrados

para outros gêneros (e.g. Short 1972; Winkler e Short 1978), embora possam apresentar diferença na frequência e/ou duração. Além disso, vale ressaltar que vocalizações cujos elementos se assemelham em suas características não apresentam necessariamente a mesma função para diferentes espécies (Short 1972).

A vocalização do tipo A assemelha-se visualmente à vocalização descrita como “*whistled call*” por Short (1972) para *C. punctigla* e *C. rupicola*. Além disso, apresenta a mesma duração dos elementos encontrada para *C. campestris campestroides*. O autor, porém, encontra vocalizações compostas por no máximo quatro elementos para as três espécies, enquanto neste trabalho foram também encontradas séries longas de até 32 elementos. Embora os elementos e a estrutura sejam semelhantes, diferentes contextos foram relacionados a séries longas e curtas. É possível que, para séries curtas, a função esteja relacionada a demonstrações de motivação não agressivas, ou de apaziguamento, pois foram emitidas por indivíduos próximos ao ninho. Além disso, foram observadas em respostas a *playback* de séries longas. É possível que os indivíduos tenham diminuído o número de elementos da vocalização para evitar sobrepor com o *playback* (ver Naguib 1999; Hall *et al.* 2006), já que a sobreposição de cantos em aves sugere motivação de intensificar a agressividade (Dabelsteen *et al.* 1997; Naguib e Todt 1997; Langemann *et al.* 2000).

A baixa frequência apresentada pelos elementos dessa vocalização, porém, pode ter a função de comunicação a longa distância (Waser e Waser 1977; Patricelli *et al.* 2007). Além disso, vocalizações de baixa frequência devem se propagar de forma omnidirecional (Bradbury e Vehrencamp 1998; Miller 2002; Patricelli *et al.* 2007). Assim, considerando os contextos observados, é plausível que a função para as séries longas esteja relacionada à localização de outros indivíduos do grupo quando estes não estão próximos (ver também Short 1972). Outra evidência dessa função é o uso do display visual (Partan e Marler 2005; mas ver também Endler e Théry 1996; Osorio *et al.* 1999), no qual a mancha branca dorsal funciona como um “flash” (Short 1971), podendo ser percebido a longas distâncias (observ. pessoal).

A vocalização do tipo B foi utilizada em uma enorme variedade de contextos, sendo possível que apresente múltiplas funções. Uma possível função seria a localização de parceiros sociais quando estes estão fora do campo de visão, assim como no caso da vocalização A, ou ainda a aquisição de novos parceiros sociais. O uso em conjunto das vocalizações A e B pode indicar um reforço ou complemento dos sinais (Winkler e Short 1978).

Outra possibilidade é que essa vocalização apresente função de coordenação ou sincronização de atividades do grupo (Brown *et al.* 1988), tanto durante atividades de cuidado parental, quanto durante confronto com outros grupos e presença de predadores, já que é utilizada durante emissões de vocalizações do tipo C e E. Outra possibilidade, não excludente, para o uso em conjunto com as vocalizações C e E, é que essa vocalização possua um componente agressivo (Short 1972). Uma evidência para essa possibilidade é a observação dessa vocalização na interação descrita entre duas fêmeas, uma recém chegada. A presença de duas fêmeas indica possível competição por oportunidade reprodutiva, além do que, pouco tempo após a observação descrita, os ovos do ninho desapareceram e a segunda nidificação se deu sem a presença da fêmea mais recente ao grupo (observ. pessoal).

As vocalizações “wicka” e “wick” (Short 1972) apresentam estruturas que se assemelham visualmente à vocalização B. A primeira vocalização é descrita para todas as espécies do gênero *Colaptes*, exceto *C. altricolis*, sendo a segunda descrita para *C. campestris campestroides* e *C. puntigula* como possivelmente usadas em substituição à vocalização “wicka”. Para ambas as vocalizações, são sugeridos papéis na formação de par social e em interações agonísticas. Os contextos encontrados no presente trabalho estão de acordo com essas sugestões, embora indiquem, de forma não excludente, outras possibilidades.

Além disso, Short (1972) descreve dois elementos para essas vocalizações, sendo um deles o encontrado para a vocalização C. É possível que isso indique uma diferença entre espécies no uso de elementos semelhantes, ou ainda a existência de vocalizações intermediárias entre as categorias B e C. Vocalizações intermediárias são conhecidas para outras espécies de pica-pau, podendo representar comportamentos ambíguos (Brenowitz 1978).

A vocalização do tipo C é descrita como “long calls” (Short 1972) e provavelmente apresenta função de defesa territorial, por ser bastante utilizada na presença de outro grupo e em respostas à vocalização de outros grupos. Além disso, grupos respondiam intensamente ao *playback* dessa vocalização dentro de seus territórios, aproximando-se do alto-falante e emitindo muitas vezes a mesma vocalização em resposta. Ainda, em ocasiões em que foi apresentado um modelo da espécie junto com o *playback*, os indivíduos atacaram o modelo. O uso dessa vocalização em dueto e coro, por fim, indica a defesa conjunta de recursos (Bradley e Mennill 2009), sinalizando que o indivíduo está pareado ou que o grupo é grande e/ou

detém uma vantagem em caso de disputa (Hall 2000; Radford e Du Plessis 2004; Hall e Magrath 2007).

O uso dessa vocalização em dueto e coro também pode apresentar outras funções, de forma não excludente (Hall 2004; Mennill e Vehrencamp 2008), como a guarda e manutenção de parceiros reprodutivos (Mennill 2006; Elie *et al.* 2010), a manutenção de laços sociais ou a coordenação do grupo social tanto em situação de disputas territoriais quanto durante outras atividades (Brown *et al.* 1988). A função de manutenção de laços sociais foi evidenciada pelo uso da vocalização por indivíduos de um mesmo grupo, sem qualquer estímulo aparente, e quando indivíduos se aproximavam uns dos outros.

Vocalizações de vôo, como a vocalização do tipo D, também podem apresentar função de coesão de grupo quando indivíduos são forçados a se locomover pela presença de um predador ou porque as fontes de alimento são dispersas no ambiente (Bradbury e Vehrencamp 1998). Indivíduos que ouvem essa vocalização podem extrair informações sobre o fato de o emissor estar em deslocamento, além de poderem identificar a direção de deslocamento do indivíduo (efeito *Doppler*; ver Apêndice 1).

Da perspectiva do emissor, por sua vez, isso pode resultar na mudança de comportamento dos outros indivíduos, fazendo que esses o sigam. Isso garante a coesão do grupo e aumenta a aptidão do emissor e do receptor (ver Alexander 1974; Krebs e Davies 1996; Fichtel e Manser 2010). Entretanto, a probabilidade de emissão desse tipo de vocalização, bem como de resposta dos receptores pode estar relacionada à hierarquia social do indivíduo (Radford 2004). Isso talvez explique porque alguns eventos de vôo observados não foram acompanhados dessa vocalização.

Além disso, é importante considerar que a probabilidade de emissão dessa vocalização esteja associada a situações estressantes, refletindo não a hierarquia social do indivíduo, mas sim o contexto ecológico ou motivacional. Isso pode explicar a emissão freqüente de vocalizações de vôo quando os indivíduos estão expostos a situações de perigo ou quando exposto à sessões de *playback*, em que são tocadas vocalizações em seqüência.

A vocalização do tipo E é, muito provavelmente, a vocalização de alarme do pica-pau-do-campo. Muitas hipóteses têm sido propostas para explicar a função de vocalizações de alarme, tais como avisar ao predador de que ele foi identificado,

desestimulando o ataque (Woodland *et al* 1980), ou avisar outros indivíduos da presença e grau de perigo de predadores (Ackers e Slobodchikoff 1999; Templeton *et al.* 2005). Se a vocalização é dirigida a outros indivíduos, o emissor pode receber benefícios de aptidão indireta (*inclusive fitness*; Hamilton 1964) quando os receptores são aparentados (Maynard-Smith 1965) ou, quando não o são, os benefícios podem ocorrer através de altruísmo recíproco (Trivers 1971; Wright *et al.* 2001). No caso do pica-pau-do-campo, tanto a hipótese de reciprocidade quanto de aptidão indireta são plausíveis, pela formação de grupos de indivíduos que são, muitas vezes, aparentados (Dias, R.I.; dados não publicados). Além disso, por ser utilizada durante comportamento de *mobbing*, é possível que essa vocalização também incite outros indivíduos a atacarem.

Considerando a possibilidade de essa ser a vocalização de alarme da espécie em estudo, a grande variação encontrada para esse tipo de vocalização poderia estar relacionada a informações contexto-específicas, tais quais o grau de perigo ao qual os indivíduos estão expostos. Características dos elementos, por exemplo, variam de acordo com a distância do predador nas espécies de Paridae *Poecile carolinensis* e *Baeolophus bicolor* (Bartmess-Levasseur *et al.* 2010). Já em *Poecile atricapilla*, a distância do predador influencia os tipos de elementos usados e a taxa de vocalização (Baker e Becker 2002).

Essa vocalização foi descrita por Short (1972) como vocalização “week” e, além de alarme, pode ter outras funções. Foi observado, por exemplo, filhotes utilizando essa vocalização de dentro do ninho, possivelmente para atrair a atenção dos outros indivíduos para alimentá-los.

Embora a determinação da função exija a realização de experimentos utilizando *playback* (e.g. Greig e Pruett-Jones 2009), a associação com contextos é essencial para a compreensão do significado dos sinais (Smith 1965; Trillo e Vehrencamp 2006) e permite o levantamento de hipóteses sobre as funções. No presente estudo foi observado o uso de um mesmo tipo de vocalização em diversos contextos sociais e ecológicos, bem como o uso de mais de um tipo de vocalização para os mesmos contextos, muitas vezes em combinação. Essa característica não é exclusiva do pica-pau-do-campo, podendo ser observada em várias espécies da família (Kilhan 1959; Ligon 1970; Short 1970, 1972, 1982; Winkler e Short 1978; Kilhan e O’Brian 1979).

O uso de uma mesma vocalização em diferentes contextos pode indicar uma multiplicidade funcional do sinal, ou mesmo uma relação motivacional do sinal que pode se repetir em diferentes contextos. Da mesma forma, o uso de várias vocalizações em um mesmo contexto pode indicar uma variação motivacional dos indivíduos (Short 1970). As vocalizações do pica-pau-do-campo devem agir, portanto, tanto como sinais referenciais quanto sinais motivacionais (*sensu* Evans 1997).

Além disso, foi observado o uso de *displays* visuais, em que indivíduos exibem manchas brancas e amarelas de plumagem, em associação a vocalizações, uma característica bastante comum da família Picidae (ver Kilhan 1959, 1960, 1962; Ligon 1970; Winkler e Short 1978; Kilhan e O'Brian 1979; Short 1970, 1972, 1982). Sinais multimodais como esse podem adicionar, intensificar ou esclarecer informações (revisão em Partan e Marler 2005). Especificamente, a plumagem é um sinal estático, com maior probabilidade de indicar qualidade genética do indivíduo, enquanto vocalizações são mais dinâmicas, indicando condições e contextos momentâneos (van Dongen e Mulder 2008). Assim, é possível que diferentes indivíduos respondam, também, de forma diferente a cada um dos componentes do sinal.

Por fim, foi encontrada grande variação estrutural das vocalizações, o que pode ser explicado pela presença de indivíduos com valores extremos para certos parâmetros acústicos. Interessantemente, a vocalização E, com maior número amostral, foi também a vocalização cujas características apresentaram maior variação. Isso sugere que a variação encontrada possa estar relacionada à identidade do indivíduo. Variações em frequência, por exemplo, são bastante estudadas, e podem indicar tamanho corporal, como encontrado para tinamídeos (Bertelli e Tubaro 2002). Outra possibilidade é que representem variações entre machos e fêmeas. No caso dos zombeteiros-de-bico-vermelho (*Phoeniculus purpureus*), por exemplo, machos passam a apresentar menor frequência fundamental que fêmeas a partir de três a cinco meses de idade, quando passam a apresentar dimorfismo no tamanho do bico (Radford 2004). Considerando que o pica-pau-do-campo apresenta dimorfismo tanto em tamanho corporal, quanto em tamanho do bico, estudos futuros devem investigar essas possibilidades.

Variações entre indivíduos podem representar assinaturas vocais que permitem a identificação dos mesmos (Mathevon *et al.* 2003; Yao 2008), muitas vezes na forma de sinais honestos da qualidade do indivíduo (Podos 2001; Huber e

Podos 2006). No caso de espécies sociais, variações individuais podem ser importantes, ainda, no reconhecimento de membros do grupo, especialmente para vocalizações com função de manutenção da coesão do grupo (Townsend *et al.* 2010). A importância de características que permitam o reconhecimento individual pode ser reforçada quando os sinais vocais da espécie não apresentam um componente de aprendizado, como deve ser o caso do pica-pau-do-campo. Isso porque a ausência de aprendizado impede a formação de assinatura vocal característica por convergência de características estruturais (Bradbury e Vehrencamp 1998).

Além de permitir a identificação de indivíduos, a combinação de diferentes características estruturais pode resultar em uma assinatura vocal do grupo, que pode ser bastante consistente enquanto a composição de indivíduos não se alterar (Radford 2005; Klenova *et al.* 2008). A importância do reconhecimento de outros grupos, especialmente grupos vizinhos, têm sido demonstrada em muitos trabalhos (Radford 2005; Bradley e Mennill 2009) que se baseiam na hipótese do “inimigo querido” (*dear enemy hypothesis*; Fisher 1954).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo contribui para o conhecimento acerca do pica-pau-do-campo, uma espécie tropical e não-passeriforme que apenas agora começa a ter sua história de vida desvendada. O extenso repertório vocal assemelha-se ao repertório de outras espécies de Picidae, embora não apresente tamborilado, comportamento muito comum na família. Os contextos relacionados às vocalizações evidenciam, porém, as mesmas funções que as propostas para o comportamento de tamborilado, compensando a ausência desse sinal.

Esse trabalho é o primeiro a classificar as vocalizações do pica-pau-do-campo com base em sua estrutura acústica, o que permite a realização futura de estudos mais detalhados da comunicação dessa espécie. Além disso, foi descrita uma nova vocalização (vocalização D), não relatada no trabalho de Short (1972) além de serem apresentados espectrogramas e contextos das cinco principais vocalizações encontradas no repertório do pica-pau-do-campo.

A variedade de contextos observada, em conjunto com o uso combinado de diferentes vocalizações e de sinais multimodais indica grande complexidade na comunicação dessa espécie, pois permite que uma grande variedade de interações

ocorra via comunicação acústica. Tamanha complexidade é condizente com o esperado para espécies sociais (Freeberg 2006), especialmente por apresentar muitas vocalizações cujos contextos associados indicam função de coesão de grupo. Vocalizações que permitam a coesão do grupo devem desempenhar papel importante para espécies sociais, garantindo muitos dos possíveis benefícios da vida social para os indivíduos (Alexander 1974; Krebs e Davies 1996; Fichtel e Manser 2010).

Estudos futuros devem investir na execução de experimentos de *playback*, testando as hipóteses propostas acerca de possíveis funções das vocalizações encontradas. Mais ainda, a variabilidade individual evidenciada na espécie indica a potencialidade de novos estudos para testar se há assinatura vocal tanto em nível individual quanto de grupo, bem como se essas características são utilizadas pelos indivíduos para o reconhecimento. Por fim, é importante investigar a variação diária e sazonal das vocalizações, a fim de melhor compreender o papel das destas em uma espécie que defende território e mantém relações sociais durante o ano todo, e muitas vezes por pelo menos três anos (Dias e Macedo 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackers, S.H.; Slobodchikoff, C.N. 1999. Communication of stimulus size and shape in alarm calls of Gunnison's prairie dogs, *Cynomys gunnisoni*. *Ethology*, 105: 149-162.

Alexander, R.D. 1974. The evolution of social behavior. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5: 325-383.

Baker, M.C.; Becker, A.M. 2002 Mobbing calls of black-capped chickadees: effects of urgency on call production. *The Wilson Bulletin*, 114: 510-516.

Bartmess-Levasseur, J.; Branch, C.; Browning, S.; Owens, J.; Freeberg, T. 2010. Predator stimuli and calling behavior of Carolina chickadees (*Poecile carolinensis*), tufted titmice (*Baeolophus bicolor*), and white-breasted nuthatches (*Sitta carolinensis*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64: 1187-1198.

Bertelli, S.; Tubaro, P.L. 2002. Body mass and habitat correlates of song structure in a primitive group of birds. *Biological Journal of The Linnean Society*, 77: 423-430.

Boncoraglio, G.; Saino, N. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Function Ecology*, 21: 134-142.

Bradbury, J.W.; Vehrencamp, S.L. 1998. *Principals of animal communication*. Sinauer Associates: Sunderland, EUA.

Bradley, D.; Mennill, D.J. 2009. Solos, duets and choruses: vocal behaviour of the rufous-naped wren (*Campylorhynchus rufinucha*), a cooperatively breeding neotropical songbird. *Journal of Ornithology*, 150: 743-753.

Brenowitz, G.L. 1978. An analysis of gila woodpecker vocalizations. *The Wilson Bulletin*, 90: 451-455.

Brown, E.D.; Farabauch, S.M.; Veltman, C.J. 1988. Song sharing in a group-living songbird, the Australian magpie, *Gymnorhina tibicen*. Part I. Vocal sharing within and among social groups. *Behaviour*, 104: 1-28.

Brown, E.D.; Farabauch, S.M. 1991. Song sharing in a group-living songbird, the Australian magpie, *Gymnorhina tibicen*. Part III. Sex specificity and individual specificity of vocal parts in communal chorus and duet songs. *Behaviour*, 118: 244-274.

Carazo, P.; Font, E. 2010. Putting information back into biological communication. *Journal of Evolutionary Biology*, 23: 661-669.

Catchpole, C.K.; Slater, P.J.B. 2003. *Bird song: Biological themes and variations*. Cambridge University Press: Nova Iorque, EUA.

Collins, S. 2004. Vocal fighting and flirting: the functions of birdsong. Em: *Nature's music: The science of birdsong*, P. Marler e H. Slabbekoorn (eds.). Pp. 39-79. Elsevier Academic Press: Londres, Inglaterra.

Clark, C.J.; Feo, T.J. 2008. The Anna's hummingbird chirps with its tail: a new mechanism of sonation in birds. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 275: 955-62.

Dabelsteen, T.; Holland, J.; Tobias, J.A.; Pedersen, S.B. 1997. The signal function of overlapping singing in male robins. *Animal Behaviour*, 53: 249-256.

Dantzker, M.S.; Deane, G.B.; Bradbury, J.W. 1999. Directional acoustic radiation in the strut display of male sage-grouse (*Centrocercus urophasianus*). *The Journal of Experimental Biology*, 202: 2893-2909.

Dias, R.I.; Macedo, R.H. 2010. Campo Flicker (*Colaptes campestris*). Em: *Neotropical Birds Online*, T. S. Schulenberg (ed.). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology (retirado de: http://neotropical.birds.cornell.edu/portal/species/overview?p_p_spp=318296; em 20/10/2010)

Dugatkin, L.A. 2004. *Principles of animal behavior*. Norton: Nova Iorque, EUA.

Eiten, G. 1972. The Cerrado vegetation of Brazil. *Botanical Review*, 38: 201-341.

Endler, J.A.; Théry, M. 1996. Interacting effects of lek placement, lek behavior, ambient light, and color patterns in three Neotropical forest-dwelling birds. *The American Naturalist*, 148: 421-452.

Elie, J.E.; Mariette, M.M.; Soula, H.A.; Griffith, S.C.; Mathevon, N.; Vignal, C. 2010. Vocal communication at the nest between mates in wild zebra finches: a private vocal duet? *Animal Behaviour*, 80: 597-605.

Evans, C.S. 1997. Referential signals. *Perspectives in Ethology*, 12: 99-143.

Fichtel, C.; Manser, M. 2010: Vocal communication in social groups. Em: *Animal behaviour: evolution and mechanisms*; P.M. Kappeler (ed.). Pp. 29-54. Springer: Berlim, Alemanha.

Fisher, J.B. 1954. Evolution and bird sociality. Em: *Evolution as a process*, J. Huxley, A.C. Hardy e E.B. Ford (eds.). Pp. 71–83. Allen & Unwin: Londres, Inglaterra.

Font, E.; Carazo, P. 2010. Animals in translation: why there is meaning (but probably no message) in animal communication. *Animal Behaviour*, 80: E1-E6.

Forsman, J.T.; Monkkonen, M. 2001. Responses by breeding birds to heterospecific song and mobbing call playbacks under varying predation risk. *Animal Behaviour*, 62: 1067-1073.

Freeberg, T.M. 2006. Social complexity can drive vocal complexity: group size influences vocal information in Carolina chickadees. *Psychological Science*, 17: 557-561.

Goodale, E.; Beauchamp, G.; Magrath, R.D.; Nieh, J.C.; Ruxton, G.D. 2010. Interspecific information transfer influences animal community structure. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 354-361.

Greig, E.I.; Pruett-Jones, S. 2009. A predator-elicited song in the splendid fairy-wren: warning signal or intraspecific display? *Animal Behaviour*, 78: 45-52.

Hall, M.L. 2000. The function of duetting in magpie-larks: conflict, cooperation, or commitment? *Animal Behaviour*, 60: 667-677.

..... 2004. A review of hypotheses for the functions of avian duetting. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55: 415-430.

Hall, M.L.; Magrath, R.D. 2007. Temporal coordination signals coalition quality. *Current Biology*, 17: R406-R407.

Hall, M.L.; Illes, A.; Vehrencamp, S.L. 2006. Overlapping signals in banded wrens: long-term effects of prior experience on males and females. *Behavioral Ecology*, 17: 260-269.

Hamilton, W.D. 1964. The genetical evolution of social behaviour, I. *Journal of Theoretical Biology*, 7: 1-16.

Huber, S.K.; Podos, J. 2006. Beak morphology and song features covary in a population of Darwin's finches (*Geospiza fortis*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 88: 489-498.

Johnstone, R.A. 1998. Game theory and communication. Em: *Game theory and animal behavior*, L.A. Dugatkin e H.K. Reeve (eds.). Pp. 94-117. Oxford University Press: Nova Iorque, EUA.

Kellam, J.S. 2003. Pair bond maintenance in pileated woodpeckers at roost sites during autumn. *The Wilson Bulletin*, 115: 186–192.

Kilhan, L. 1959. Early reproductive behavior of flickers. *The Wilson Bulletin*, 71: 323-336.

..... 1960. Courtship and territorial behavior of hairy woodpeckers. *The Auk*, 77: 259-270.

..... 1962. Reproductive behavior of downy woodpeckers. *The Condor*, 64: 126-133.

Kilhan, L.; O'Brian, P. 1979. Early breeding behavior of lined woodpecker. *The Condor*, 81: 299-303.

Klenova, A.V.; Volodin, I.A.; Volodina, E.V. 2008. Duet structure provides information about pair identity in the red-crowned crane (*Grus japonensis*). *Journal of Ethology*, 26: 317-325.

Krebs, J.R.; Davies, N.B. 1996. *Introdução à Ecologia Comportamental*. Atheneu Editora: São Paulo, Brasil.

Langemann, U.; Tavares, J.P.; Peake, T.M.; McGregor, P.K.. 2000. Response of great tits to escalating patterns of playback. *Behaviour*, 137: 451-471.

Ligon, J.D. 1970. Behavior and breeding biology of the red-cockaded woodpecker. *The Auk*, 87: 255-278.

- Marler, P. 2004. Bird calls: a cornucopia for communication. Em: *Nature's music: The science of birdsong*. P. Marler e H. Slabbekoorn (eds.). Pp. 132-177. Elsevier Academic Press: Londres, Inglaterra.
- Mathevon, N.; Charrier, I.; Jouventin, P. 2003. Potential for individual recognition in acoustic signals: a comparative study of two gulls with different nesting patterns. *Comptes Rendus Biologies*, 326: 329–337.
- Maynard-Smith, J. 1965. The evolution of alarm calls. *The American Naturalist*, 99: 59-63.
- Mennill, D.J. 2006. Aggressive responses of male and female rufous-and-white wrens to stereo duet playback. *Animal Behaviour*, 71: 219-226.
- Mennill, D.J.; Vehrencamp, S.L. 2008. Context-dependent functions of avian duets revealed by microphone-array recordings and multispeaker playback. *Current Biology*, 18: 1314–1319.
- Miller, P.J.O. 2002. Mixed-directionality of killer whale stereotyped calls: a direction of movement cue? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52: 262-270.
- Naguib, M. 1999. Effects of song overlapping and alternating on nocturnally singing nightingales. *Animal Behaviour*, 58: 1061–1067.
- 2003. Reverberation of rapid and slow trills: Implications for signal adaptations to long-range communication. *Journal of Acoustic Society of America*, 113: 1749-1756.
- Naguib, M.; Todt, D. 1997. Effects of dyadic vocal interactions on other conspecific receivers in nightingales. *Animal Behaviour*, 54: 1535–1543.
- Nelson, D.A.; Croner, L.J. 1991. Song categories and their functions in the field sparrow (*Spizella pusilla*). *The Auk*, 108: 42-52.

Osorio, D.; Miklósi, A.; Gonda, Z. 1999. Visual ecology and perception of coloration patterns by domestic chicks. *Evolutionary Ecology*, 13: 673-689.

Partan, S.R.; Marler, P. 2005. Issues on the classification of multimodal communication signals. *The American Naturalist*, 166: 231: 245.

Patricelli, G.L.; Dantzker, M.S.; Bradbury, J.W. 2007. Differences in acoustic directionality among vocalizations of the male red-winged blackbird (*Agelaius phoeniceus*) are related to function in communication. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 61: 1099–1110.

Podos, J. 2001. Correlated evolution of morphology and vocal signal structure in Darwin's finches. *Nature*, 409: 185-188.

Podos, J. 2007. Discrimination of geographical song variants by Darwin's finches. *Animal Behaviour*, 73: 833-844.

Prum, R.O. 1998. Sexual selection and the evolution of mechanical sound production in manakins (Aves: Pipridae). *Animal Behaviour*, 55: 977–994.

Radford, A.N. 2004. Voice breaking in males results in sexual dimorphism of green woodhoopoe calls. *Behaviour*, 141: 555-569.

..... 2005. Group-specific vocal signatures and neighbour-stranger discrimination in the cooperatively breeding green woodhoopoe. *Animal Behaviour*, 70: 1227-1234.

Radford, A.N.; Du Plessis, M.A. 2004. Territorial vocal rallying in the green woodhoopoe: factors affecting contest length and outcome. *Animal Behaviour*, 68: 803-810.

Rendall, D.; Owren, M.J.; Ryan, M.J. 2009. What do animal signals mean? *Animal Behaviour*, 78: 233-240.

Ryan, M.J.; Brenowitz, E.A. 1985. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *The American Naturalist*, 126: 87-100.

Scott-Phillips, T.C. 2010. Animal communication: insights from linguistic pragmatics. *Animal Behaviour*, 79: E1-E4.

Searcy, W.A.; Nowicki, S. 2005. *The evolution of animal communication: reliability and deception in signaling systems*. Princeton University Press: Princeton, EUA.

Seyfarth, R.M.; Cheney, D.L.; Bergman, T.; Fischer, J.; Zuberbuehler, K.; Hammerschmidt, K. 2010. The central importance of information in studies of animal communication. *Animal Behaviour*, 80: 3-8.

Short, L. L. 1970. The habits and relationships of the magellanic woodpecker. *The Wilson Bulletin*, 82: 115-129.

..... 1971. The evolution of terrestrial woodpeckers. *American Museum Novitates*, 2467: 1-23.

..... 1972. Systematics and behavior of South American flickers (Aves, *Colaptes*). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 149: 1-110.

..... 1975. A zoogeographic analysis of the South American chaco avifauna. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 154: 163-352.

.....1982. *Woodpeckers of the world*. Delaware Museum of Natural History: Greenville, EUA.

Sick, H. 1997. *Ornitologia Brasileira*. Editora Nova Fronteira: Rio de Janeiro, Brasil.

Smith, W.J. 1965. Message, meaning, and context in ethology. *The American Naturalist*, 99: 405-409.

Slabbekoorn, H. 2004. Singing in the wild: the ecology of birdsong. Em: *Nature's music: The science of birdsong*. P. Marler e H. Slabbekoorn (eds.). Pp.178-205. Elsevier Academic Press: Londres, Inglaterra.

Stark, R.D.; Doderhoff, D.J.; Johnson, E.V. 1998. A quantitative analysis of woodpecker drumming. *The Condor*, 100: 350-356.

Templeton, C.N.; Greene, E.; Davis, K. 2005. Allometry of alarm calls: Black-capped chickadees encode information about predator size. *Science*, 308: 1934-1937.

Townsend, S.W.; Hollen, L.I.; Manser, M.B. 2010. Meerkat close calls encode group-specific signatures, but receivers fail to discriminate. *Animal Behaviour*, 80: 133-138.

Tremain, S.B.; Swiston, K.A.; Mennill, D.J. 2008. Seasonal variation in acoustic signals of pileated woodpeckers. *The Wilson Journal of Ornithology*, 120: 499-504.

Trillo, P.A.; Vehrencamp, S. L. 2006. Song types and their structural features are associated with specific contexts in the banded wren. *Animal Behaviour*, 70: 921-935.

Trivers, R.L. 1971. The evolution of reciprocal altruism. *Quarterly Review of Biology*, 46: 35-57.

van Dongen, W.F.D.; Mulder, R.A. 2008. Male and female golden whistlers respond differently to static and dynamic signals of male intruders. *Behavioral Ecology*, 19: 1025-1033.

Waser, P.M.; Waser, M.S. 1977. Experimental studies of primate vocalizations: specializations for long-distance propagation. *Zeitschrift fur Tierpsychologie*, 43: 239-263.

Webb, D.M.; Moore, W.S. 2005. A phylogenetic analysis of woodpeckers and their allies using 12S, Cyt b, and COI nucleotide sequences (class Aves; order Piciformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 36: 233–248.

Wilkins, H.D.; Ritchison, G. 1999. Drumming and tapping by red-bellied woodpeckers: description and possible causation. *Journal of Field Ornithology*, 70: 578-586.

Winkler, H.; Short, L.L. 1978. A comparative analysis of acoustical signals in pied woodpeckers (Aves, *Picoides*). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 160: 1-110.

Woodland, D.J.; Jaafar, Z.; Knight, M. 1980. The "pursuit deterrent" function of alarm signals. *The American Naturalist*, 115: 748-753.

Wright, J.; Berg, E.; de Kort, S.R.; Khazin, V.; Maklakov, A.A. 2001. Cooperative sentinel behaviour in the Arabian babbler. *Animal Behaviour*, 62: 973-979.

Yao, Y. 2008. Studies of vocal communications in cooperatively breeding acorn woodpeckers (*Melanerpes formicivorus*). PhD dissertation, University of California: Los Angeles, EUA. 125p.

APÊNDICE 1. Sons e análise de sons

1. Sobre o som

Som é um movimento ondulatório do ar ou de qualquer outro meio elástico que, ao agir sobre um mecanismo auditivo, é capaz de produzir a sensação de ouvir. O movimento ondulatório gera ondas sonoras, as quais são ondas do tipo longitudinais que transportam energia ao longo da direção de sua propagação, também conhecidas como ondas compressionais devido a suas variações de pressão na forma de ciclos de compressão e rarefação de partículas do meio.

O tempo requerido para que o movimento complete um ciclo de compressão e rarefação depende do comprimento da onda e é denominado período. A partir do período é possível calcular a frequência do movimento, a qual é dada pelo número de ciclos por segundo, ou Hertz. Vale ressaltar que, para qualquer frequência ou amplitude, a velocidade de propagação de ondas sonoras será a mesma para um determinado meio, pois a velocidade é dependente apenas das propriedades do meio. Da mesma forma, a velocidade não depende da magnitude ou intensidade da onda (*i.e.* sua amplitude).

Além de longitudinais em sua propagação, as ondas sonoras podem ser caracterizadas como ondas de formado senoidal. Tal característica é consequência do fato de que o movimento livre de qualquer corpo sob influencia de forças elásticas gera ondas sinusoidais, sendo seu movimento descrito como resultante de uma série de movimentações harmônicas simples (a serem chamados MHS). A única condição imposta a isso é que o movimento apresente amplitude baixa, ou seja, que sua magnitude ou intensidade seja baixa.

Os tons produzidos por corpos vibrando em MHS são chamados tons puros. Entretanto, a maior parte dos sons encontrados não se apresentam como tons puros com ondas sinusoidais simples, mas apresentam estrutura complexa. Essa estrutura é resultante de uma propriedade das ondas que diferencia seu movimento do de corpos formados por matéria: a sua capacidade de sobreposição. Duas ondas que se sobreponham têm suas energias somadas, de forma que a sobreposição de duas ondas em compressão ou em rarefação intensifica a amplitude da onda resultante, enquanto a sobreposição de uma onda em compressão com uma em rarefação acarreta em uma diminuição da amplitude, chegando a zero quando a amplitude das ondas for a mesma.

Partindo desse princípio, pode-se entender um efeito importante para ondas sonoras, conhecido como efeito *Doppler*. Esse efeito nada mais é que a compressão de ondas causada por movimento da fonte de emissão em direção a um observador. Isso resulta em uma diminuição do comprimento de onda e, conseqüentemente, um aumento na freqüência. Da mesma forma, à medida em que a fonte emissora se afasta do observador, a freqüência do som diminui. Assim, a variação percebida na freqüência do som permite saber para qual direção a fonte emissora está se movendo.

Mais ainda, o teorema de Fourier demonstra que qualquer onda pode ser formada pela superposição de ondas sinusoidais simples de amplitudes apropriadas (para que as ondas não se anulem). Sendo assim, ondas complexas podem ser decompostas em movimentos de uma série de ondas sinusoidais de diferentes freqüências, mas que apresentam uma relação de múltiplos integrais da onda de menor freqüência (f_0). Assim, são obtidas ondas em uma seqüência teoricamente infinita que segue o padrão: f_0 , $2 f_0$, $3 f_0$, e assim por diante. À menor freqüência (f_0) dá-se o nome de freqüência fundamental e às outras freqüências dá-se o nome de sobretons.

A freqüência fundamental e a amplitude relativa dos sobretons são importantes fatores a se considerar na análise sonora, pois definem o timbre. O timbre é a qualidade sonora que permite a identificação de diferentes instrumentos musicais e o reconhecimento individual pela fala em humanos, por exemplo. Entretanto, nem todos os espectrogramas que mostram sobretons representam sons de estrutura complexa, pois a construção de espectrogramas pode gerar artefatos (ver abaixo). Além disso, sobretons não representam necessariamente uma série harmônica. No caso de vocalizações de aves, a vibração da membrana da siringe ocorre em duas dimensões, podendo gerar interações mais complexas entre as ondas produzidas. Isso pode resultar em sobretons que não são harmônicos, mas sim múltiplos parciais da freqüência fundamental.

2. Sobre as análises de sons

Antes do desenvolvimento de ferramentas acessíveis para análise de sons, pesquisadores descreviam cantos com base no que ouviam. Embora tal técnica possa ser bastante eficiente para a distinção entre espécies, modulações bastante rápidas não podem ser reconhecidas pelo ouvido humano. Além disso, os cantos das aves não podem ser reproduzidos por notas musicais pois não apresentam as mesmas

freqüências, além de apresentarem intervalos bastante reduzidos em comparação a elas.

Inicialmente, a partir do teorema de Fourier, puderam ser desenvolvidos mecanismos de reconstrução de séries harmônicas, com os quais era possível somar ondas de diferentes freqüências e comparar os resultados com as ondas complexas que se objetivava analisar. Esses mecanismos utilizam como representação do som gráficos da variação de amplitude ao longo do tempo, os chamados oscilogramas. Embora oscilogramas representem adequadamente características dos sons no domínio do tempo, tais como a duração de um canto, por exemplo, características do domínio da freqüência, tais como modulação de freqüência, não são bem representadas por esse gráfico.

O primeiro mecanismo para a visualização de sons foi desenvolvido em torno dos anos 40 e, embora a motivação não venha da biologia, esse foi um passo fundamental para o estudo do canto de aves. Ao final dos anos 50, foram produzidos os primeiros espectrogramas (algumas vezes chamados de sonogramas) de cantos de aves, os quais são matrizes tridimensionais que representam como cada freqüência contribui para o sinal. A partir do espectrograma é possível visualizar a variação de amplitude em função da freqüência ao longo do tempo.

A construção do espectrograma também é feita com base no teorema de Fourier. A conversão do domínio temporal de um sinal para o domínio de freqüência é calculada pela função matemática transformada de Fourier, que utiliza um algoritmo para decompor ondas complexas em ondas de movimento harmônico simples. No caso de gravações de som, cuja amostragem é discreta, é utilizada a versão chamada transformada discreta de Fourier (*discrete Fourier transform*; DFT). Utiliza-se, então um procedimento chamado transformada de curto-tempo de Fourier (*short-time Fourier transform*; STFT), que divide a onda sonora complexa em intervalos definidos de tempo para a decomposição. Cada resultado é apresentado como quadros dispostos seqüencialmente no espectrograma, sendo cada quadro formado por um intervalo temporal disposto na horizontal e um intervalo de freqüência disposto na vertical.

A resolução da STFT é determinada pelo número de pontos de amplitude amostrados (*bins*, ver abaixo) utilizados na análise. Ao utilizar um maior número de *bins*, utiliza-se uma maior proporção da onda sonora total para o cálculo de freqüência, aumentando-se a probabilidade de amostrar corretamente as variações de

freqüência ao longo da onda. A maior proporção amostrada, porém, representa um intervalo de tempo maior e, com isso, uma menor resolução temporal. Assim, o aumento da resolução de freqüência resulta em uma diminuição da resolução de tempo, pelo aumento do intervalo de tempo a ser utilizado.

Dessa forma, a escolha dos parâmetros a serem utilizados na análise de sons deve ser feita considerando-se as características do som que se pretende analisar. Se o objetivo é analisar sons com muitos harmônicos, o espectrograma deve apresentar melhor resolução de freqüência. Se, no entanto, o objetivo é observar sons que apresentam modulações rápidas de freqüência, é preciso que o espectrograma apresente boa resolução temporal.

Outro ponto que interferirá nesse processo é a determinação da resolução da gravação do som. As informações sobre as ondas sonoras serão transformadas em ondas elétricas, as quais serão então arquivadas. Para que isso ocorra, também é necessário que se determine um valor de amostragem da variação de amplitude ao longo do tempo. Esse valor de amostragem é chamado de taxa de amostragem (*sample rate*), e é medido em Hertz (número de ciclos por segundo). Além disso, ao se fazer uma gravação, é preciso determinar o número de pontos (chamados *bins*) a serem usados para representar a amplitude em cada uma das amostras. Quanto maior o número de pontos, menor a probabilidade de erros na gravação. Assim, quanto maior a taxa de amostragem e o número de pontos amostrados, maior a precisão e acurácia com que o sinal digital representa variações temporais na amplitude do sinal original.

O aumento de resolução da gravação, porém, resulta em maior tamanho do arquivo gerado. Isso pode representar uma limitação de diversas formas, tanto pelo quanto se consegue arquivar quanto pela capacidade de processamento do arquivo para a análise do som. Por isso, é necessário levar ambas as questões em consideração. A decisão sobre a taxa de amostragem a ser utilizada também deve levar em consideração a freqüência do sinal sonoro a ser gravado. A máxima freqüência que se pode gravar (chamada freqüência de Nyquist) é metade da freqüência de amostragem. Caso a freqüência do sinal ultrapasse a freqüência de Nyquist, o resultado dos cálculos do espectrograma apresentam um fenômeno conhecido como *aliasing*. Esse fenômeno é a projeção das freqüências não amostradas como freqüências mais baixas no espectrograma, gerando bandas de freqüências que não existem.

BIBLIOGRAFIA:

Charif, R.A.; Clark, C.W.; Fristrup, K.M. 2009. *Raven 1.4 User's Manual*. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, EUA.

Crowell, B. 2010. Vibration and waves, Book 3. Em: *The light and matter series of free introductory physics textbooks*. Disponível online (www.lightandmatter.com; acessado em 20/10/2010).

Davis, L.I. 1964. Biological acoustics and the use of the sound spectrograph. *The Southwestern Naturalist*, 9: 118-145.

Gaunt, A.S. 1983. On sonograms, harmonics, and assumptions. *The Condor*, 85: 259-261.

Marler, P. 2004. Science and birdsong: the good old days. Em: *Nature's music: The science of birdsong*. P. Marler e H. Slabbekoorn (eds.). Pp.1-38. Elsevier Academic Press: Londres, Inglaterra.

Sabine, P. E. 1932. *Acoustics and architecture*. MacGraw-Hill Book Company, New York and London.

APÊNDICE 2. Configurações do programa, do espectrograma e variáveis escolhidas

1. Cálculo do espectro de poder:

O programa utilizado nas análises sonoras foi o Raven versão 1.4 (Cornell Lab of Ornithology). Essa versão permite escolher a forma como será feito o cálculo do espectro de poder (distribuição de energia por frequência), podendo ser compatível com as versões anteriores do programa 1.2 ou 1.3. A diferença está no fato de que o cálculo do espectro na versão 1.3 é feito a partir da onda sonora real, sendo compatível com o que é utilizado no programa Canary (Cornell Lab of Ornithology). A versão 1.2 do Raven, entretanto, utiliza uma simplificação da onda real, filtrando frequências negativas geradas pelo movimento ondulatório.

O teorema da simetria conjugada (simetria Hermitiana) indica que as ondas reais apresentam simetria entre as frequências positivas e negativas, sendo possível desconsiderar frequências negativas sem perda de informações sobre o sinal. A vantagem de se transformar as ondas reais por esse processo está na facilidade de calcular amplitude e frequência instantâneas para ondas que apresentam apenas frequências positivas. Assim, é aconselhado o uso do cálculo desse espectro conforme a versão 1.2, exceto para casos em que as medidas precisam ser compatíveis com medidas obtidas pelo programa Canary.

2. Parâmetros do espectrograma:

Os parâmetros utilizados na visualização de um espectrograma são: tamanho e tipo de janela (*window size* e *window type*), tamanho de DFT, tamanho da grade de frequência (*frequency grid spacing*), tamanho da grade de tempo (*hop size*) e sobreposição de tempo (*time overlap*).

O tamanho de janela representa a resolução da análise: o número de pontos de amplitude amostrados que serão efetivamente usados na STFT e, por isso, é medido em amostras (*samples*). Como mencionado no Apêndice 1, a STFT gera resultados em quadros de frequência por tempo, que são dispostos seqüencialmente para formar o espectrograma. O tamanho desses quadros é determinado pelo tamanho das grades de frequência (em Hz) e de tempo (em ms). A grade de frequência é determinada pelo tamanho amostral da gravação (*sample rate*) e pelo tamanho de DFT, que é o número

de amostras utilizadas no cálculo de cada quadro. A princípio, o DFT deve apresentar o mesmo número de amostras que o tamanho de janela. Entretanto, o programa permite um aumento de DFT sem aumento do tamanho da janela, adicionando valores iguais a zero para completar as amostras de tamanho de janela. Isso resulta em maior resolução de frequência sem alteração do sinal.

A descontinuidade entre quadros na DFT gera um efeito chamado “*leakage*”, em que a energia contida em um quadro é espalhada por todo o intervalo de frequência. Isso resulta em picos laterais de frequência (*sidelobes*), que nada mais são que ruídos que dificultam a distinção dos sinais no espectrograma. Uma forma de diminuir esse efeito é aplicar à análise funções matemáticas chamadas funções de janela (*window functions*), sendo que cada tipo de janela corresponde a uma função. Há vários tipos de janela, sendo que cada uma corresponde a um filtro de picos laterais de frequência. A escolha do tipo de janela depende de características dos sinais, sendo que, para esse trabalho foi escolhida a janela do tipo Hann. A janela do tipo Hann apresenta um filtro intermediário entre as outras janelas disponíveis no programa, tendo sido considerado um filtro adequado nas análises por permitir uma boa detecção sem perda aparente de sinais.

Por fim, o programa Raven apresenta um recurso que possibilita diminuir a perda de resolução temporal com o aumento de tamanho da janela. Esse recurso é chamado sobreposição, e representa a porcentagem de pontos temporais a serem reamostrados no cálculo de frequência e amplitude de cada quadro. Dessa forma, é possível aumentar a resolução de tempo (tamanho de *hop*) sem alterar o tamanho de janela.

3. Variáveis escolhidas:

Para caracterizar a estrutura das vocalizações, foram utilizadas as seguintes medidas: a duração de cada elemento, o intervalo entre elementos e a frequência de maior intensidade; sendo que, para o primeiro tom, foram ainda medidas as frequências mínima e máxima, a banda de frequência e a frequência central. Todas as medidas foram obtidas através de seleções dos elementos feitas no espectrograma ou oscilograma. Como a utilização de seleções para obtenção de medidas está sujeita a variações causadas pelos limites da seleção, foram utilizadas medidas robustas para a duração dos elementos, frequências mínima e máxima, banda de frequência e frequência central. Segue a descrição das medidas utilizadas:

- Duração de cada elemento: foi estimada a partir da duração 90%, que corresponde ao intervalo temporal que divide a seleção entre 5% e 95% da energia distribuída.
- Intervalo entre elementos: calculado a partir da diferença de tempo entre o início do elemento $i + 1$ e o fim do elemento i . O início e fim dos elementos foi medido como tempo 5% e 95%, mantendo essa medida robusta.
- Freqüência de maior intensidade: corresponde à freqüência de maior amplitude da área selecionada.
- Freqüência mínima: foi estimada a partir da freqüência a 5%, que divide a seleção em 5% da energia distribuída.
- Freqüência máxima: foi estimada a partir da freqüência a 95% que divide a seleção em 95% da energia distribuída.
- Banda de freqüência: foi estimada a partir da diferença entre freqüência a 95% e freqüência a 5% de cada tom.
- Freqüência central: freqüência que corresponde ao ponto em que a seleção é dividida em dois intervalos contendo a mesma energia.

BIBLIOGRAFIA:

Charif, R.A.; Clark, C.W.; Fristrup, K.M. 2009. *Raven 1.4 User's Manual*. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, EUA.

Smith III, J.O. 2007. *Mathematics of the Discrete Fourier Transform (DFT): with Audio Applications*. 2^a ed. Disponível online (<http://www.dsprelated.com/dspbooks/mdft/>; acessado em 20/10/2010)

APÊNDICE 3. Elementos

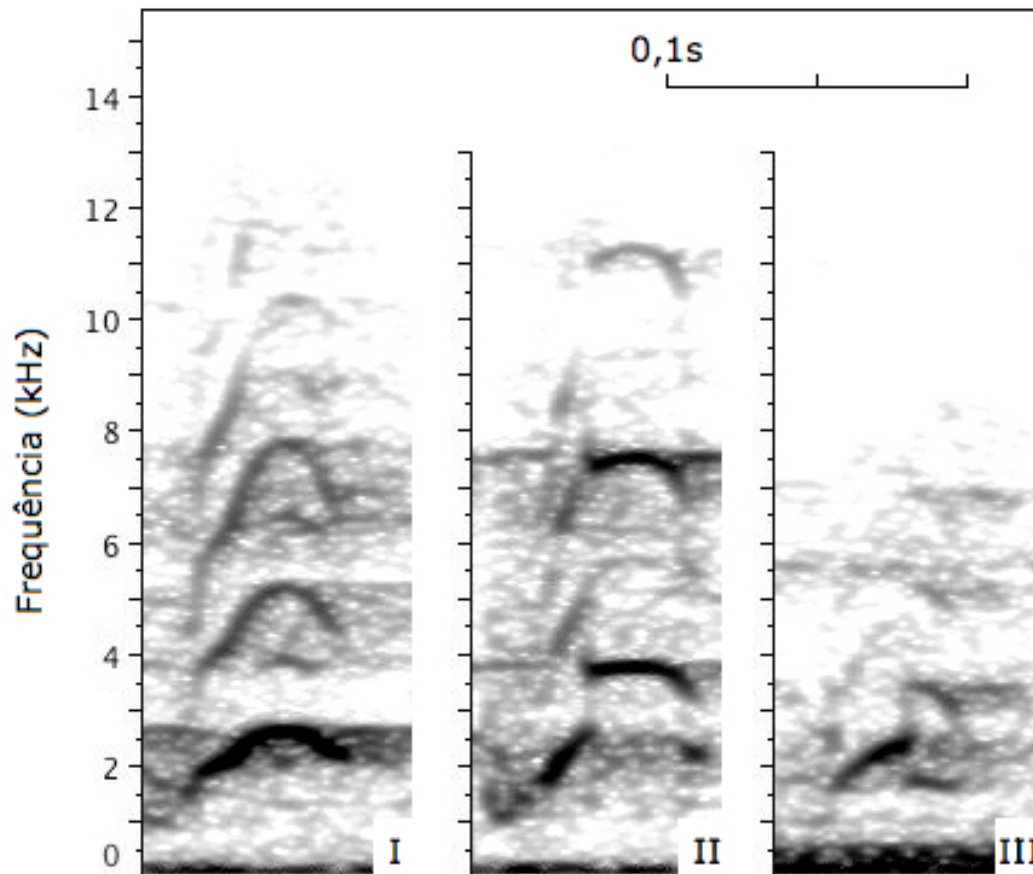


Figura 8. Espectrograma dos elementos I a III, que compõem a vocalização do tipo C em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

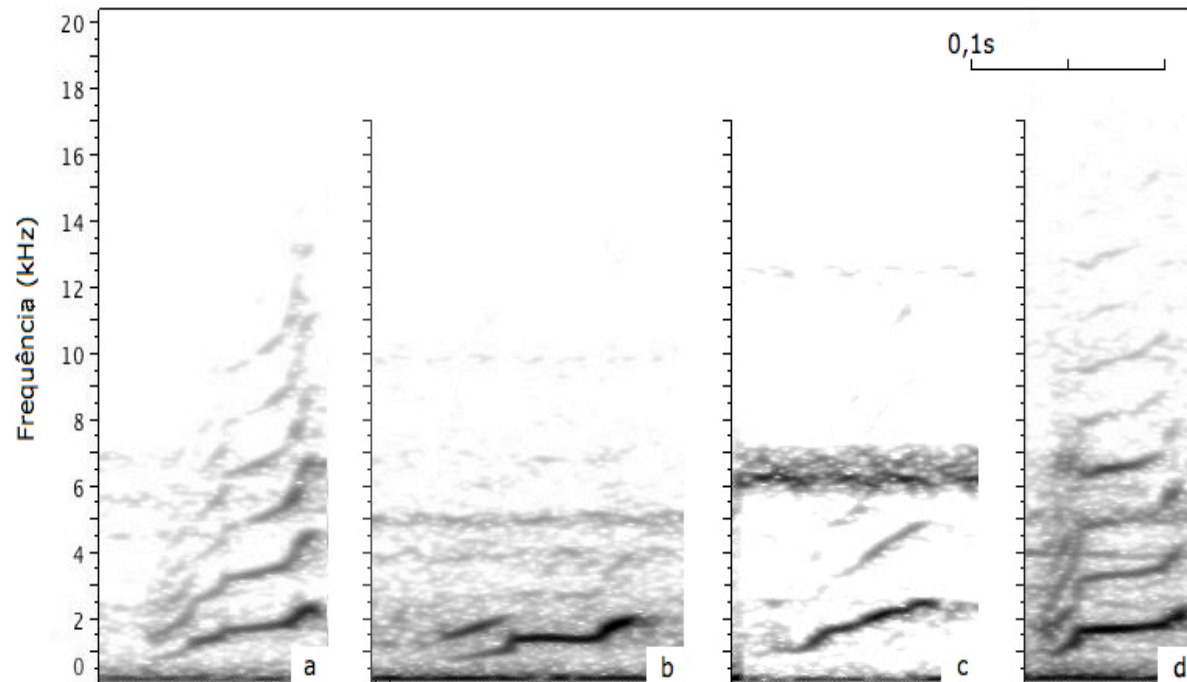


Figura 9. Espectrograma dos elementos IV em suas variações de a-d, que compõem a vocalização do tipo C em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

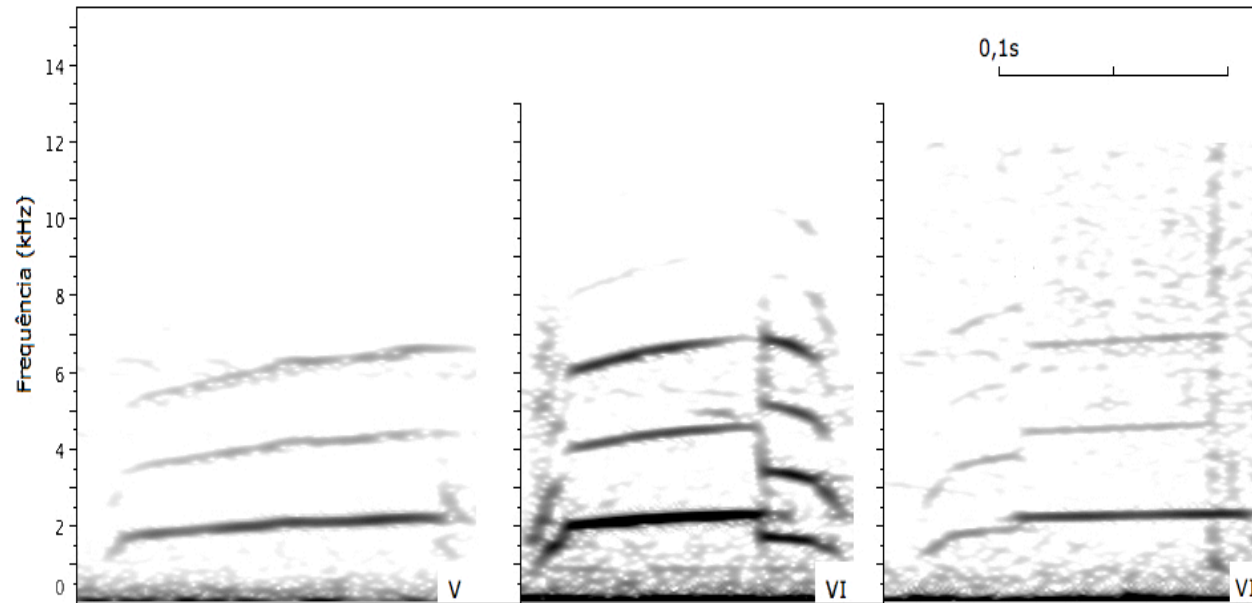


Figura 10. Espectrograma dos elementos V a VII, que compõem a vocalização do tipo A em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

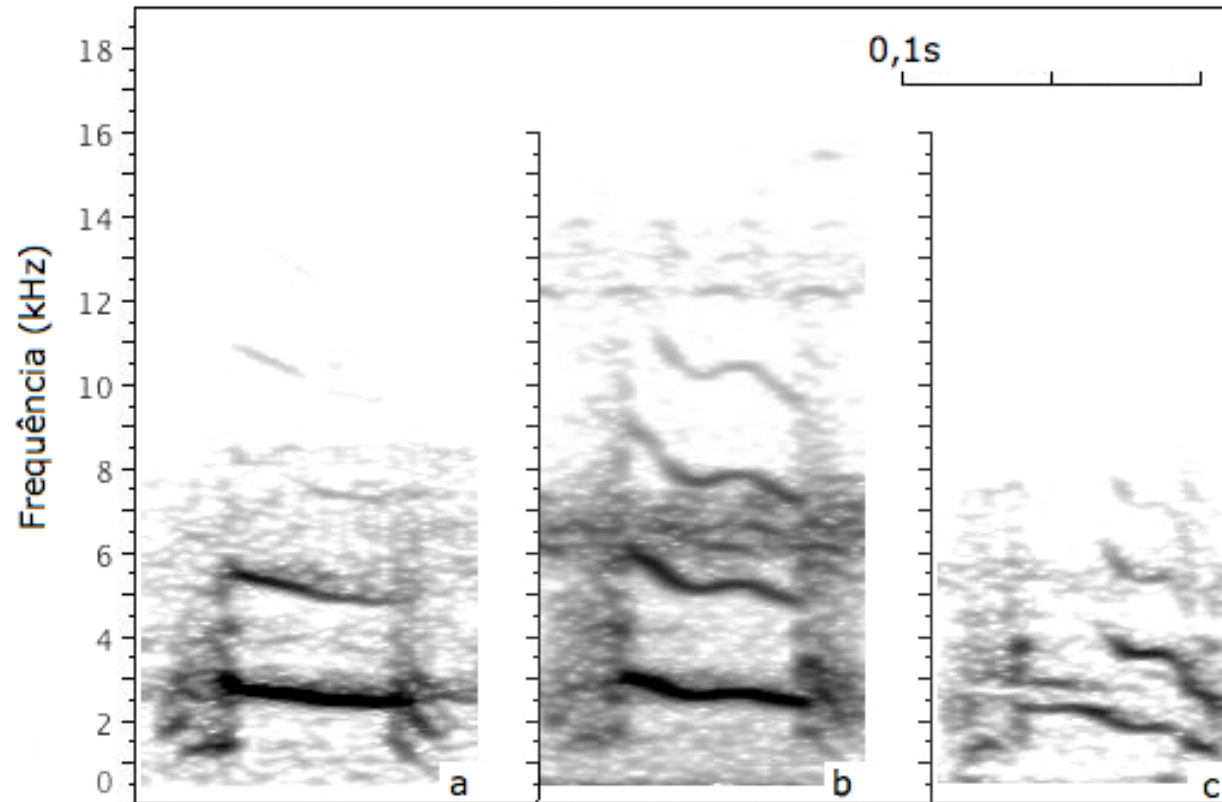


Figura 11. Espectrograma dos elementos IX, mostrando suas variações de a-c, que compõem as vocalizações do tipo D e E em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

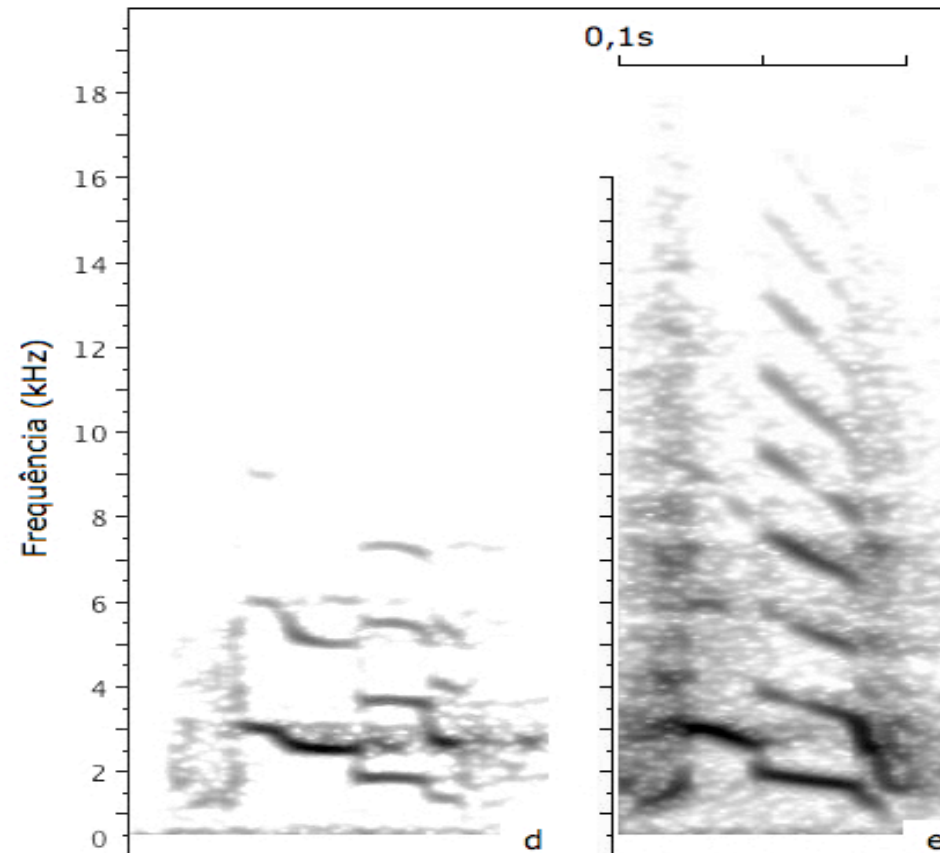


Figura 12. Espectrograma dos elementos IX, mostrando suas variações de d-e, que compõem a vocalização do tipo E em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

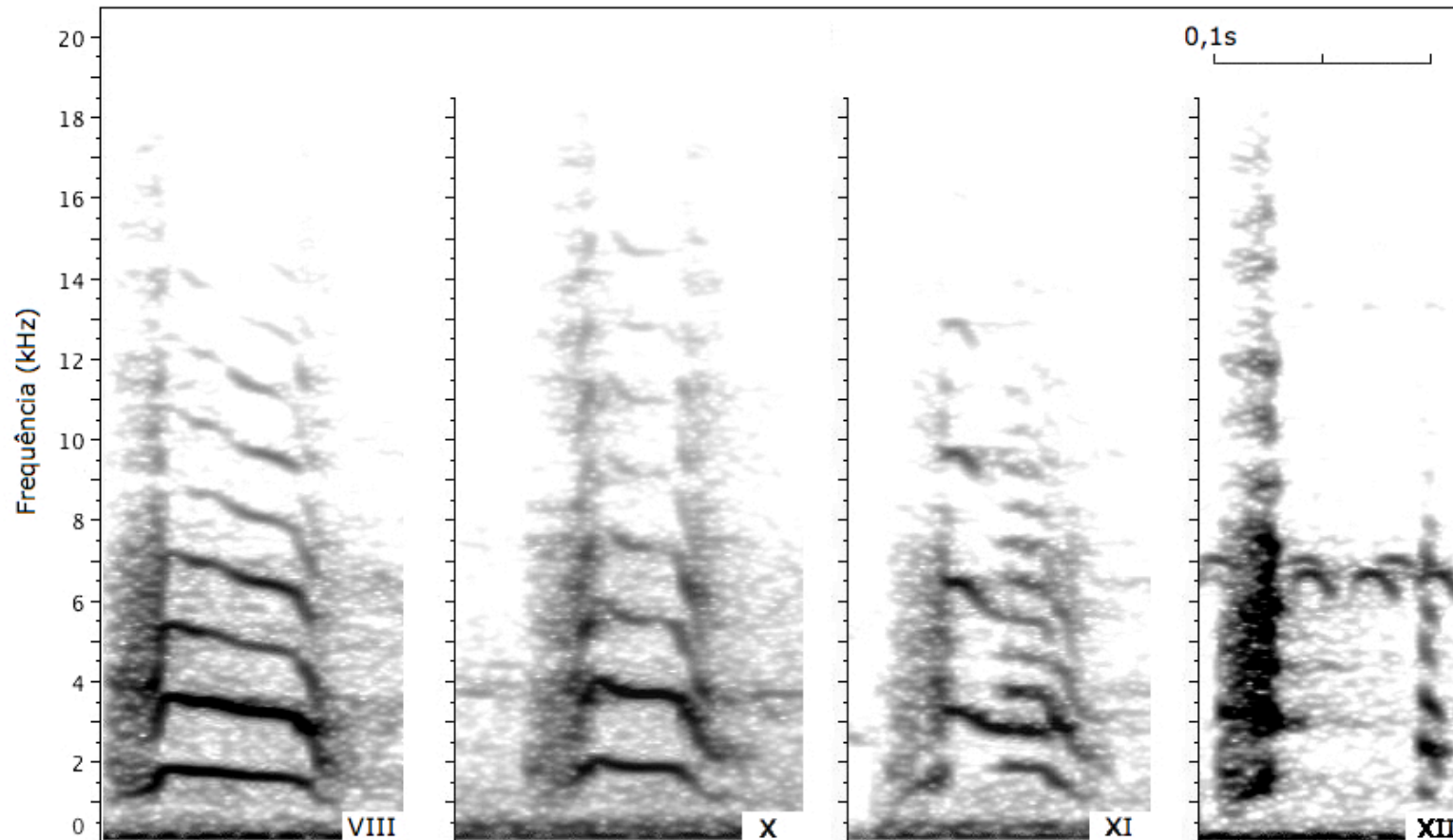


Figura 13. Espectrograma dos elementos VII, X, XI e XII, que compõem a vocalização do tipo E em *Colaptes campestris* (janela Hann; DFT = 1024Hz; tamanho de grade de 43,1Hz; 90% de sobreposição). A legenda indica escala temporal de 0,1s.

APÊNDICE 4. Estatísticas descritivas

Tabela 1. Estatísticas descritivas das características estruturais de cinco vocalizações de *Colaptes campestris* (A, n = 8; B, n = 10; C, n = 9; D, n = 10; E, n = 18) nos domínios de frequência e tempo. Para descrição das características medidas, ver Apêndice 2.

Características estruturais	Tipo de vocalização	Valor mínimo	Média	Valor máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Domínio de frequência						
Frequência 5% (Hz)	A	1636,52	1879,29	2260,99	352,49	11,53
	B	979,76	1440,50	2012,38	442,17	23,80
	C	1536,04	1882,56	2207,15	302,18	11,68
	D	1320,70	2293,50	2592,60	186,63	15,49
	E	1345,00	2017,65	2780,59	529,16	26,22
Frequência 95% (Hz)	A	1880,57	2169,95	2476,32	216,60	9,91
	B	1563,85	2134,16	2497,85	342,84	16,28
	C	1970,29	2302,55	2499,81	219,82	8,35
	D	1873,39	2755,99	3016,8	355,37	11,80
	E	1794,43	2487,31	3153,21	498,52	20,04
Banda de frequência (Hz)	A	201,73	290,66	564,65	214,94	40,87
	B	442,41	693,66	1174,76	347,36	38,97
	C	258,40	419,99	836,21	192,27	40,14
	D	401,38	462,49	552,686	325,14	9,49
	E	197,92	469,65	765,63	135,34	28,82
Frequência central (Hz)	A	1765,72	2060,68	2383,01	118,80	10,56
	B	1394,27	1844,99	2270,77	270,31	17,88
	C	1762,13	2148,87	2376,48	168,57	9,17
	D	1701,12	2479,38	2721,8	43,87	11,61
	E	1636,52	2235,57	2986,56	468,97	20,98

Continuação Tabela 1. Estatísticas descritivas das características estruturais de cinco vocalizações de *Colaptes campestris* (A, n = 8; B, n = 10; C, n = 9; D, n = 10; E, n = 18) nos domínios de frequência e tempo. Para descrição das características medidas, ver Apêndice 2.

Características estruturais	Tipo de vocalização	Valor mínimo	Média	Valor máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Domínio de frequência						
Frequência máxima (Hz)	A	1421,19	1958,16	2386,60	217,67	18,00
	B	1405,04	1976,89	2729,33	329,90	22,37
	C	1801,61	2255,79	2896,22	197,10	13,40
	D	2464,01	2710,28	3094,32	287,84	6,89
	E	2591,81	3354,56	5484,38	702,45	24,44
Domínio temporal						
Duração dos elementos (ms)	A	75,92	97,90	124,00	18,09	18,48
	B	22,27	46,24	76,75	18,02	38,98
	C	22,00	29,11	39,75	5,58	19,18
	D	44,87	56,19	675,556	7,63	13,59
	E	16,57	68,38	165,51	29,68	43,41
Intervalo entre elementos (ms)	A	160,89	252,75	375,00	79,17	31,32
	B	146,56	174,43	199,20	19,82	11,36
	C	85,30	104,93	139,36	18,85	17,97
	D	92,18	104,40	122,741	9,86	9,45
	E	182,60	1096,23	8535,60	1927,03	175,79