



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

Wesley Nunes de Almeida

USO DA BIOACÚSTICA COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA PARA A
CONSERVAÇÃO DO MOCÓ (*Kerodon rupestris*): MONITORAMENTO DO BEM-
ESTAR DA ESPÉCIE EM VIDA LIVRE E FUNÇÃO DE SINAIS ACÚSTICOS

**Ilhéus-BA
2024**

WESLEY NUNES DE ALMEIDA

**USO DA BIOACÚSTICA COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA PARA A
CONSERVAÇÃO DO MOCÓ (*Kerodon rupestris*): MONITORAMENTO DO BEM-
ESTAR DA ESPÉCIE EM VIDA LIVRE E FUNÇÃO DE SINAIS ACÚSTICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Santa Cruz, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Comportamento Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Selene Siqueira da Cunha Nogueira.

**Ilhéus-BA
2024**

DEDICATÓRIA

À memória do meu pai, Almir Luz de Almeida, meu eterno ídolo.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Profa. Selene S. da Cunha Nogueira, por ter me orientado, por toda atenção e compreensão durante os momentos difíceis, e por acreditar no potencial dessa pesquisa. Ao Prof. Sérgio L. G. Nogueira-Filho, por todos os ensinamentos e suporte técnico para análise de dados. A Profa. Kamila S. Barros, pela parceria de sempre e por fornecer o veículo para acesso ao campo. A meu pai (Almir L. Almeida – *In memoriam*), minha mãe (Maria Dolores N. Almeida), minha Irmã (Adriana N. Almeida), meu sobrinho (Ian N. Almeida) e demais familiares, por me incentivarem na busca pelos meus ideais. A minha companheira Tainar J. Araújo, por todo o incentivo e leituras “infinitas” (a meu pedido) de meus artigos a procura de erros. Aos guardas João C. Alves (Mutans), Edvan F. Pereira e Antônio Marcos S. Brito, por toda ajuda e atenção durante as coletas. Aos demais guardas do PESMA e REVISMA, por terem me auxiliado durante o período de coleta. A meus amigos, em especial Dian J. Borges pelo suporte técnico com georreferenciamento. Ao INEMA pela licença e disponibilização dos guardas que me acompanharam em campo. A UNEB pelo fornecimento dos veículos para acesso a área de estudo. Aos colegas do LABET pelas várias partilhas. A UESC e ao PPGCA pela oportunidade de estudo e pesquisa. A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Uso da bioacústica como ferramenta tecnológica para a conservação do mocó (*Kerodon rupestris*): monitoramento do bem-estar da espécie em vida livre e função de sinais acústicos

Resumo: O monitoramento acústico é uma ferramenta potencialmente viável para espécies que emitem sons. Esta técnica viabiliza a detecção de animais que habitam ambientes de difícil acesso e que estão ameaçados como o mocó (*Kerodon rupestris*). Essa espécie está classificada como vulnerável, principalmente devido às alterações antrópicas em seu ambiente natural. Pouco é conhecido sobre como o mocó responde a ameaças e como tais impactos antrópicos podem modular sua comunicação acústica e refletir seu estado afetivo e qualidade de vida. Dessa forma, o objetivo dessa tese é descrever variações acústicas nos chamados do mocó em função de diferentes contextos de seu ambiente. Para isso, este trabalho foi subdividido em três capítulos escritos no formato de artigo. O capítulo I teve como objetivo avaliar se as características dos parâmetros acústicos e frequência de emissão das vocalizações de mocós em vida livre podem ser usadas como indicadores de bem-estar nesta espécie na natureza. O objetivo do capítulo II foi comparar as respostas acústicas de *K. rupestris* em diferentes contextos de ameaças em seu ambiente natural. O capítulo III teve o objetivo de avaliar a função dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle*, buscando as repostas dos mocós aos playbacks destas vocalizações. A coleta de dados foi conduzida a partir de mocós em vida livre que habitam duas unidades de conservação (UCs) localizadas na região semiárida do estado da Bahia-Brasil (latitudes 14°16' e 14°39'S e longitudes 42°46' e 43°46'O). Os dados acústicos foram coletados com um gravador portátil digital pelo método *ad libitum*. As vocalizações foram classificadas no *Software* Raven Pro. Para o capítulo I, foram selecionadas quatro áreas amostrais distintas e com diferentes níveis de interferência antrópica (áreas 1 e 2 menos afetadas, áreas 3 e 4 mais afetadas). Para avaliar as diferenças nas quantidades de vocalizações conforme as áreas do estudo e a valência emocional foram aplicados testes não paramétricos (X^2). Para verificar as diferenças nos parâmetros acústicos dos chamados em relação às áreas do estudo, valência e excitação, utilizamos o modelo linear generalizado misto, seguidos de testes *post hoc* de Tukey quando apropriado. Foram registrados 3.494 chamados, validados em 2.671 (76,4%) chamados por meio da DFA. O chamado *alarm whistle* foi emitido pelos mocós de todas as áreas do estudo, porém, foi emitido mais vezes em situações de estado afetivo negativo do que neutro ($X^2 = 978,26$ GL = 1, $P < 0,001$). Em situações de valência negativa nas áreas menos antropizadas (1 e 2) o *alarm whistle* foi emitido menos do que o esperado, já nas áreas 3 e 4 foi mais frequente do que o esperado ($X^2 = 324,50$, GL = 3, $P < 0,001$). O chamado *fast alarm whistle* foi emitido pelos mocós em estado afetivo de valência negativa nas áreas 3 e 4. O chamado *scream* foi emitido por mocós em estado afetivo de valência negativa na área 4. O chamado *whine* foi emitido por filhotes em estado afetivo de valência negativa nas áreas 3 e 4 ($X^2 = 3,01$, GL = 1, $P = 0,083$). O chamado *slow whistle* foi emitido de forma similar em todas as áreas do estudo ($X^2 = 4,73$, GL = 3, $P = 0,192$). A valência do contexto da situação, afetou o estado afetivo dos animais, que foi analisado pelo número de pulsos desse chamado ($F_{2, 25,27} = 3,87$ $P = 0,028$). Os testes *post hoc* mostraram que o número de pulsos de *slow whistle* foi maior quando emitido por mocós em estado afetivo negativo do que positivo. O chamado *snort* foi emitido de maneira similar por mocós de todas as áreas ($X^2 = 2,38$, GL = 3, $P = 0,497$). O chamado *snort-like* foi utilizado com maior frequência por mocós na área 3 em comparação às áreas 1, 2 e 4 ($X^2 = 50,05$ GL = 3, $P < 0,001$). Os resultados demonstram flexibilidade na comunicação acústica dos mocós e destaca o potencial de suas vocalizações como indicadores de bem-estar e adaptação ao estresse ambiental. No segundo capítulo, foi utilizado o modelo linear generalizado misto, seguidos de testes *post hoc* de Tukey para verificar as diferenças nos parâmetros acústicos dos chamados e quantidade de

emissão nos diferentes contextos de ameaça. Os resultados dessas análises mostram que os mocós emitiram dois tipos vocais (*alarm whistle* e *fast alarm whistle*) em contextos de ameaça. A presença de predadores naturais e a proximidade das ameaças em relação aos mocós influenciaram na emissão de *alarm whistle* com menores intervalos entre os pulsos. Os chamados *Fast alarm whistle* foram emitidos apenas por mocós que estavam próximos a *Leopardus pardalis*. Portanto, a distância da ameaça e diferentes ameaças influenciam em ajustes nos chamados de alarme de *K. rupestris*. Concluimos que o mocó sinaliza perigos de maior grau de urgência a partir da emissão de chamados mais rápidos com menor intervalo entre os pulsos. No terceiro capítulo, os mocós foram expostos a dois tratamentos que compreenderam a emissão de *playback* de chamados, um para *alarm whistle* e outro para *slow whistle*, além de um som mecânico de *Quesada gigas* (controle). No total, 34 mocós foram submetidos aos *playbacks*. Os resultados mostraram que esses sinais acústicos influenciaram os comportamentos dos mocós. Durante o *playback* do *alarm whistle*, os mocós permaneceram mais tempo em estado de alerta ($F_{2,24} = 35,42$, $P < 0,001$) e manifestaram mais frequentemente o comportamento de fuga ($F_{2,26} = 8,86$, $P < 0,001$), em comparação com o teste controle. Com a emissão do *playback* de *slow whistle*, os indivíduos apresentaram maior tempo de repouso ($F_{2,28} = 19,78$, $P < 0,001$) e direcionaram a cabeça por mais tempo para a fonte sonora ($F_{2,18} = 8,61$, $P < 0,001$) durante o *playback* quando comparado com o controle. Os dados mostram que o *alarm whistle* está associado a função de alerta, induzindo comportamentos de vigilância e fuga e que o *slow whistle* é usado como chamado de contato, expressando atenção, mas com menor urgência de fuga dos indivíduos.

Palavras-chave: Caviomorpha; Comunicação animal; Etologia; Valência emocional.

The use of bioacoustics as a technological tool for the conservation of the rock cavy (*Kerodon rupestris*): monitoring the welfare of the species in the wild and function of acoustic signals

Abstract: Acoustic monitoring is a potentially viable tool for studying species that emit sounds, facilitating the detection of animals in difficult-to-access environments and those under threat, such as the rock cavy (*Kerodon rupestris*). This species is classified as vulnerable, primarily due to anthropogenic alterations in its natural habitat. Little is known about how rock cavy respond to threats and how such anthropogenic impacts may modulate their acoustic communication, reflecting their affective state and quality of life. Thus, the objective of this dissertation is to identify and describe acoustic variations in rock cavy calls under different environmental contexts. This study is structured into three chapters, each presented in the format of a scientific article. Chapter I aimed to assess whether the characteristics of acoustic parameters and the frequency of vocalizations of free-living rock cavy can serve as indicators of their well-being in the wild. Chapter II compared the acoustic responses of *K. rupestris* in different threat contexts in its natural environment. Chapter III evaluated the function of alarm whistle and slow whistle calls by analyzing rock cavy's responses to playbacks of these vocalizations. Data collection was conducted on free-living rock cavy inhabiting two conservation units (UCs) located in the semi-arid region of Bahia, Brazil (latitudes 14°16' and 14°39'S and longitudes 42°46' and 43°46'W). Acoustic data were collected using a portable digital recorder following the ad libitum method. Vocalizations were classified using Raven Pro software. For Chapter I, four sampling areas with varying levels of anthropogenic interference were selected (areas 1 and 2 with lower interference, areas 3 and 4 with higher interference). Non-parametric tests (X^2) were used to assess differences in the quantity of vocalizations across study areas and emotional valence. Generalized linear mixed models, followed by Tukey's post hoc tests when appropriate, were applied to evaluate differences in acoustic parameters concerning study areas, valence, and arousal levels. A total of 3,494 calls were recorded, of which 2,671 (76.4%) were validated using DFA. The alarm whistle call was emitted by rock cavy across all study areas but was more frequent in negative affective states than neutral ones ($X^2 = 978.26$, $df = 1$, $P < 0.001$). In negative valence contexts, the alarm whistle was emitted less than expected in areas 1 and 2 and more frequently than expected in areas 3 and 4 ($X^2 = 324.50$, $df = 3$, $P < 0.001$). The fast alarm whistle call was emitted during negative valence states in areas 3 and 4. The scream call occurred in negative valence states in area 4. The whine call was produced by juveniles in negative affective states in areas 3 and 4 ($X^2 = 3.01$, $df = 1$, $P = 0.083$). The slow whistle call was emitted similarly across all study areas ($X^2 = 4.73$, $df = 3$, $P = 0.192$). However, the context valence influenced the call's affective state, as analyzed by the number of pulses ($F_{2, 25.27} = 3.87$, $P = 0.028$). Post hoc tests revealed that slow whistle pulses were more numerous in negative than positive affective states. The snort call was emitted similarly across all areas ($X^2 = 2.38$, $df = 3$, $P = 0.497$), while the snort-like call was more frequently used in area 3 compared to areas 1, 2, and 4 ($X^2 = 50.05$, $df = 3$, $P < 0.001$). The results demonstrate flexibility in the acoustic communication of rock cavy and highlight the potential of their vocalizations as indicators of well-being and adaptation to environmental stress. In Chapter II, generalized linear mixed models, followed by Tukey's post hoc tests, were used to verify differences in acoustic parameters and call frequency under different threat contexts. The results showed that rock cavy emitted two vocal types (alarm whistle and fast alarm whistle) in threat contexts. The presence of natural predators and the proximity of threats influenced the emission of alarm whistles, with shorter intervals between pulses. Fast alarm whistles were exclusively emitted by rock cavy in proximity to *Leopardus pardalis*. Therefore, threat distance and type influenced adjustments in *K. rupestris* alarm calls, with faster calls and

shorter pulse intervals signaling greater urgency. In Chapter III, rock caviies were exposed to two treatments involving playback emissions of alarm whistles and slow whistles, as well as a mechanical sound of *Quesada gigas* (control). A total of 34 rock cavy were subjected to the playbacks. The results demonstrated that these acoustic signals influenced rock cavy behaviors. During alarm whistle playbacks, rock cavy spent more time in alert states ($F_{2,24} = 35.42$, $P < 0.001$) and more frequently exhibited escape behavior compared to the control test. During slow whistle playbacks, individuals spent more time resting ($F_{2,28} = 19.78$, $P < 0.001$) and oriented their heads toward the sound source for longer durations ($F_{2,18} = 8.61$, $P < 0.001$) compared to the control. These findings show that the alarm whistle is associated with alert functions, inducing vigilance and escape behaviors, whereas the slow whistle serves as a contact call, indicating attention with lower urgency for escape.

Keywords: Animal communication; Caviomorpha; Emotional valence; Ethology.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1: Localização das áreas de estudo.....	54
Figura 2: Representações dos oscilogramas e espectogramas das vocalizações do mocó...	63
Figura 3. Emissões de alarm whistle por mocós nas quatro áreas do estudo de acordo com o contexto de estado afetivo (valência negativa x valência neutra).....	67
Figura 4. Emissões do chamado <i>alarm whistle</i> por mocós nas quatro áreas do estudo em contexto de (a) valência negativa e (b) valência neutra.....	68
Figura 5. Emissões do chamado <i>fast alarm whistle</i> por mocós nas áreas 3 e 4 em contexto de valência negativa e alta excitação.....	69
Figura 6. Emissões dos chamados <i>slow whistle</i> (a), <i>snort</i> (b), <i>snort-like</i> (c) por mocós de acordo com as quatro áreas do estudo.....	72
Figura 7. Número de pulsos para o chamado <i>slow whistle</i> emitido por mocós nas áreas do estudo de acordo com o estado afetivo (valência negativa x valência neutra x valência positiva).....	72

Capítulo II

Figure 1: Location of the study area.....	102
Figure 2. Representations of the rock cavy's alarm calls. Oscillogram and spectrogram with six pulses of the so-called alarm whistle (a), oscillogram and spectrogram with eleven pulses of the so-called fast alarm whistle (b).....	108
Figure 3: Averages ($\pm$ standard error) of the number of alarm whistle emissions per individual by rock cavies according to study area (a), sex (b), type of threat (c) and distance from the threat (d). Different letters above the columns indicate differences between the means ($P < 0.05$).....	116
Figure 4: Means ($\pm$ standard error) of the intervals between alarm whistle pulses emitted by rock cavies according to the type of threat (a) and distance from the threat (b). Different	

letters above the columns indicate differences between the means ($P < 0.05$).....118

Capítulo III

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....136

Figura 2: Representações dos chamados testados. Oscilograma e espectrograma com seis pulsos do chamado *alarm whistle* (a), oscilograma e espectrograma com dois pulsos do chamado *slow whistle* (b).....142

Figura 3: Diagrama esquemático da composição dos playbacks usados nos testes experimentais para ambas vocalizações (*alarm whistle* ou *slow whistle*).....142

Figura 4: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram em estado de alerta durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).....148

Figura 5: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que machos e fêmeas de mocós manifestaram comportamento de fuga durante os testes de reprodução. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).....149

Figura 6: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram em repouso durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).....149

Figura 7: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram com a cabeça direcionada para a fonte sonora durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).....151

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1: Descrição do contexto de emissão e da categoria comportamental dos chamados do mocó associados a faixa etária (A: adultos e Fi: Filhotes) e sexo (M: macho, F: fêmea e NI: não identificado) dos emissores.....	64
Tabela 2: Classificação dos chamados emitidos pelos mocós nas quatro áreas do estudo por meio da inspeção aural e visual (IAV) e pela análise de função discriminante com teste de validação cruzada (DFA) e proporções de classificações corretas (PCC).....	66
Tabela 3: Médias dos parâmetros acústicos dos chamados emitidos pelos mocós após correções por meio da análise de função discriminante (DFA).....	80
Tabela 4: Valores de Coeficiente de Determinação (R^2), Critério de Informação de Akaike Corrigido (AICc) e Critério de Informação Bayesiano (BIC) dos modelos generalizados lineares múltiplos (GLMMs) para comparação dos parâmetros acústicos dos chamados <i>slow whistle</i> emitidos por mocós as quatro áreas do estudo usando o estado emotivo (valência) ou excitação como fator fixo.....	86

Capítulo II

Table 1: Acoustic parameters of alarm vocalizations (alarm whistle and fast alarm whistle) emitted by rock cavy in the face of threats.....	109
Table 2: Number of alarm whistle emissions by rock cavies according to the type of threat and its distance (near and far).....	113
Table 3: Number of males and females who emitted alarm whistles according to the study areas.....	113

Capítulo III

Tabela 1: Classificação dos chamados <i>alarm whistle</i> e <i>slow whistle</i>	141
Tabela 2: Descrição das categorias comportamentais avaliadas durante os testes.....	147

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL.....	14
OBJETIVOS.....	18
Objetivo geral.....	18
Objetivos específicos.....	18
REREFENCIAL TEÓRICO	19
Os chamados de contato e alarme.....	19
Vocalizações como indicador de bem-estar animal.....	24
A caatinga e o mocó (<i>Kerodon rupestris</i>)	26
REFERÊNCIAS	30
Capítulo I	47
Indicadores vocais de bem-estar em mocós (<i>Kerodon rupestris</i>) de vida livre.....	47
Resumo.....	48
Abstract.....	49
Introdução.....	50
2. Material e métodos.....	53
2.1. Nota ética.....	53
2.2. Área de estudo e animais.....	53
2.3. Coleta de dados.....	57
2.4. Análise acústica.....	60
2.5. Análise de dados.....	61
3. Resultados.....	62
3.1. Classificação dos chamados.....	62
3.2. Descrição das emissões de vocalizações de alarme.....	66
3.3. Descrição das emissões e parâmetros acústicos dos demais chamados do mocó.....	69
4. Discussão.....	73
Apêndices.....	80
5. Refêrências.....	87
Capítulo II	95
The free-range rock cavy (<i>Kerodon rupestris</i>) communicates the urgency of a threat using different alarm calls.....	96
Abstract.....	97
1. Introduction.....	98
2. Material and methods.....	101
2.1. Ethical note.....	101
2.2. Study area and animals.....	101
2.3. Data collection.....	103
2.4. Acoustic analysis.....	105
2.5. Data analysis and statistics.....	106
3. Results.....	107
3.1. Types of alarm calls.....	107
3.2. Description of alarm call emissions.....	112
3.3. Differences in the acoustic parameters of alarm vocalizations.....	117
4. Discussion.....	118
5. Conclusion.....	121
6. References.....	122
Capítulo III	129
A função dos chamados <i>alarm whistle</i> e <i>slow whistle</i> em mocós (<i>Kerodon rupestris</i>) de vida livre.....	129
Resumo.....	130

Abstract.....	131
Introdução.....	132
2. Material e métodos.....	135
2.1. Nota ética.....	135
2.2. Área de estudo e animais.....	135
2.3. Coleta de dados.....	137
2.4. Análise acústica.....	139
2.5. Montagem dos estímulos em playback.....	142
2.6. Aplicação dos testes experimentais.....	143
2.7. Análise de dados e estatística.....	144
3. Resultados.....	148
3.1. Teste de função do chamado <i>alarm whistle</i>	148
3.2. Teste de função do chamado <i>slow whistle</i>	149
4. Discussão.....	151
5. Conclusão.....	156
6. Referências.....	157

1 INTRODUÇÃO GERAL

2 A bioacústica é o estudo da produção e efeito dos sons nos organismos vivos
3 (MUTANU *et al.*, 2022). Esta ciência, devido aos contínuos avanços tecnológicos que
4 permeiam as suas aplicações, encontra-se em crescente uso no desenvolvimento de
5 pesquisas científicas (SPENCE, 2018; PENAR; MAGIERA; KLOCEK, 2020). Os sons são
6 amplamente utilizados pelos animais durante o processo de comunicação e são considerados
7 de fácil registro na natureza (BRADBURY; VEHRENCAMP, 1998; MUTANU *et al.*,
8 2022). Dessa forma, o monitoramento acústico é capaz de fornecer informações sobre
9 diferentes aspectos da fisiologia, ecologia, comportamento, saúde e bem-estar dos animais
10 a partir de método não invasivo (TEIXEIRA; MARON; RENSBURG, 2019; COUTANT;
11 VILLAIN; BRIEFER, 2024). A bioacústica é, portanto, uma ferramenta tecnológica
12 emergente para a conservação da vida animal selvagem (WILLIAMS, 2018; GIBB *et al.*,
13 2019), adequada a qualquer espécie animal que produza som, especialmente espécies que
14 habitam ambientes de difícil acesso e estão ameaçadas como, o mocó (*Kerodon rupestris*
15 Wied, 1820) (SCHÖNER; SIMON; SCHÖNER, 2016; WREGGE *et al.*, 2017; ALMEIDA,
16 2021).

17 *K. rupestris* é um roedor social da família Caviidae que vive em grupos organizados
18 em estrutura de harém e com hierarquia de dominância social (LACHER, 1981). Essa
19 espécie habita a caatinga (BONVICINO *et al.*, 2008), onde desempenha funções ecológicas
20 essenciais para a manutenção da vida no semiárido brasileiro, agindo no controle de
21 populações vegetais, dispersão de sementes e faz parte da base da cadeia alimentar de
22 predadores típicos dessa região (OLIVEIRA; BONVICINO, 2006; PENIDO *et al.*, 2017;
23 SILVA *et al.*, 2017). No entanto, o mocó encontra-se classificado como espécie vulnerável,
24 com as principais ameaças decorrentes de alterações antrópicas (perda e fragmentação de
25 habitat e caça ilegal) em seu ambiente natural (ICMBIO, 2018b; MMA, 2022). Dessa forma,
26 pouco é conhecido sobre como a comunicação acústica do mocó reflete seu estado afetivo

e como os impactos antrópicos podem estar afetando sua qualidade de vida (saúde e bem-estar) (ALMEIDA, 2021). O monitoramento acústico da espécie pode fornecer informações valiosas, tal como evidenciado pela ciência do bem-estar animal aplicada em avaliações de animais de produção (e. g. BRIEFER *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2022). Estes estudos mostram a bioacústica como uma ferramenta eficiente para o monitoramento e avaliação do bem-estar desses animais (MANTEUFFEL *et al.*, 2004; BRIEFER *et al.*, 2015). Entretanto, avaliações de bem-estar animal em geral restringem-se a análises de animais sob cuidados humanos (COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024), em áreas semiabertas controladas (MOORHOUSE, 2015; HE *et al.*, 2022), a avaliações do bem-estar de pragas durante controle (BROOM, 1999; MASON, LITTIN, 2003; LITTIN, 2004; IOSSA; SOULSBUR; HARRIS, 2007), o que torna pouco explorado o uso dessa ferramenta na avaliação do bem-estar de animais selvagens em vida livre (JWD Wildlife Welfare Supplement Editorial Board, 2016; HARVEY *et al.*, 2020).

O bem-estar animal abrange um conceito que relaciona a vida do animal e as suas tentativas de se adaptar ao meio em que vive em uma condição integrada entre saúde mental e física (BROOM; JOHNSON, 1993; COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024). Nesse sentido, os animais de vida livre e que habitam áreas potencialmente afetadas devido ao uso antrópico podem vivenciar situações de estresse e ter seu bem-estar comprometido (DI MARCO *et al.*, 2014; HING, 2016; YOM-TOV *et al.*, 2021). Um exemplo disso, é sua resposta ao experimentarem constantemente situações de medo e ameaça em razão da fragmentação de seu habitat natural devido ao desenvolvimento de atividades agrícolas e pressão de caça ilegal (MACDONALD, 2023). Adicionalmente, a aproximação humana pode afetar negativamente a qualidade de vida dos animais (e.g. GOGOLEVA *et al.*, 2010). Assim, o aumento da urbanização em relação aos ambientes naturais pode comprometer o bem-estar dos animais que habitam áreas naturais próximas a áreas urbanas que são frequentadas constantemente por humanos (PARTECKE; SCHWABL; GWINNER, 2006).

Portanto, é necessário desenvolver estudos para identificar sinais de estresse nos animais e validar indicadores acústicos de bem-estar em espécies ameaçadas, como *K. rupestris*, a fim de aprimorar o monitoramento dos fatores de risco para esses animais e sua relação com o ambiente natural em que habitam.

Em estudo bioacústico para a identificação de indicadores ecológicos aplicáveis a conservação do mocó em vida livre, foi registrado uma quantidade maior de emissão de chamados de alarme e agressividade em uma área mais afetada pelo uso humano em relação a uma área menos afetada e foram registradas variações nas frequências máxima e de pico do chamado *alarm whistle* (ALMEIDA, 2021). Neste estudo, foi indicado que tais diferenças podem sinalizar um comprometimento do bem-estar de grupos de mocós que habitam áreas mais antropizadas e sugerido a realização de estudos posteriores para tal validação (ALMEIDA, 2021). Essas diferenças acústicas registradas, além de possivelmente indicarem a qualidade do ambiente e seu impacto na qualidade de vida do mocó em vida livre, podem ter relação com a presença de diferentes predadores e demais ameaças que podem influenciar na frequência de uso e em parâmetros acústicos dos chamados de alarme da espécie (e.g., CHENEY; SEYFARTH, 1988; RANDALL; ROGOVIN, 2002; BLUMSTEIN, 2007; SHANNON; DIGWEED, 2009; PRICE; CHEBEY, 2015; MCLACHLAN; MAGRATH, 2020).

K. rupestris possui um repertório acústico descrito na literatura (LACHER, 1981), compreendendo 11 tipos vocais (MONTICELLI; ALENCAR-JUNIOR, 2021). Dentre estes, os chamados *alarm whistle* e *slow whistle* possuem estrutura acústica similar (MONTICELLI; ALENCAR-JUNIOR, 2021), no entanto, são emitidos em contextos distintos (LACHER, 1981). *Slow whistle* é classificado como um chamado de contato, pois, promove coesão entre os membros dos grupos durante atividades de forrageio do mocó (LACHER, 1981). *Alarm whistle* é um chamado de alarme conspícuo da espécie, o qual já foi registrado em dois contextos comportamentais, agonístico e de alarme propriamente dito,

sendo sugerida a necessidade de realização de testes de função de chamado acústico para melhor esclarecer sobre a papel desse chamado (ALENCAR-JUNIOR, 2011; ALMEIDA, 2021). Nesse contexto, a comunicação acústica do mocó ainda carece de estudos sistemáticos sobre a função acústica de seus chamados. É necessário, portanto, a realização de testes de função dos chamado *alarm whistle* e *slow whistle* para uma melhor compressão sobre o uso dessas vocalizações na sociedade de mocós e suas possíveis alterações em relação a qualidade do habitat (e.g., MORALES *et al.*, 2008; CASAR, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2012; DOS SANTOS *et al.*, 2014; HALFWERK; SLABBEKOORN, 2015; BERGER-TAL *et al.*, 2019).

Diante do exposto, analisar a comunicação acústica de grupos de mocó que vivem em áreas com diferentes níveis de impacto antrópico pode trazer a validação tão necessária de indicadores de bem-estar para a espécie em vida livre. Adicionalmente, investigações sobre o uso de chamados de alarme frente a distintas ameaças (predadores e humanos) e a realização de teste de função de chamados, podem favorecer a compressão sobre como essa espécie ajusta suas respostas acústicas em razão de diferentes estímulos do ambiente. Dessa forma, este trabalho foi subdividido em três capítulos: (1) Indicadores vocais de bem-estar em mocós (*Kerodon rupestris*) de vida livre. (2) A urgência de ameaça nos chamados de alarme do mocó (*Kerodon rupestris*) em vida livre. (3) A função dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle* em mocós (*Kerodon rupestris*) de vida livre. Os respectivos objetivos de cada capítulo estão descritos abaixo.

99 **OBJETIVOS**

100 **Geral**

101 Descrever variações acústicas nos chamados do mocó em função de diferentes contextos,
102 ambientes e estado afetivo.

103 **Específicos**

104 **1-** Verificar se os parâmetros acústicos e/ou a frequência de uso das vocalizações de
105 mocós podem ser usadas como indicadores de bem-estar para a espécie em vida
106 livre.

107 **2-** Comparar as respostas acústicas de *K. rupestris* em diferentes contextos de ameaças
108 em seu ambiente natural;

109 **3-** Avaliar as repostas dos mocós em vida livre aos *playbacks* dos chamados *alarm*
110 *whistle* e *slow whistle* para compreender sua função comportamental.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os chamados de contato e alarme

Na comunicação animal, os chamados de alarme e de contato diferem tanto em suas funções como em seus parâmetros acústicos (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Os chamados de alarme tendem a apresentar frequências mais altas (geralmente entre 3-10 kHz ou mais), moduladas de forma simples e tonal, com baixa variação, o que em geral dificulta a localização pelo predador e facilita a propagação em ambientes abertos (WILEY; RICHARDS, 1982). Esses chamados são curtos ($< 0,5$ segundos) e, frequentemente, não repetitivos, características que permitem uma comunicação rápida e eficiente em situações de perigo iminente (BLUMSTEIN, 2007). Por outro lado, os chamados de contato exibem frequências mais baixas ou médias (0,5-4 kHz), com alta variabilidade na modulação e estrutura (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2011). Chamados de contato são geralmente mais longos ($> 0,5$ segundos), frequentemente repetitivos e adaptados para ambientes fechados, como florestas, onde a coesão social e a identificação de indivíduos são cruciais para a manutenção do grupo (WASER; BROWN, 1986; OWREN; RENDALL, 2001). Essas diferenças refletem a função da transmissão ideal de sinais em diferentes contextos ecológicos e sociais, como demonstrado nos chamados de alarme de esquilos, que utilizam frequências altas e amplitude reduzida para evitar detecção por predadores (MARLER, 1955), ou nos chamados de contato de macacos-verdes, adaptados para coordenação grupal em habitats densos (WASER; BROWN, 1986).

Os repertórios acústicos dos animais evoluíram para maximizar a comunicação entre coespecíficos favorecendo a manutenção da vida em sociedade e também a troca de informações entre interespecíficos (BRADBURY; VEHRENCAMP, 1998). Nesse sentido, os animais utilizam uma grande variedade de chamados que podem ser modificados a depender do contexto social de emissão, condições ambientais adversas e estado interno do emissor expressando diferentes finalidades (CARO, 2005; KONDO; WATANABE, 2009;

COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024). Vocalizações de contato utilizadas no contexto de cortejo podem, por exemplo, informar sobre características de possíveis parceiros, sendo um indicador de características masculinas hereditárias que sinalizam predisposição de *fitness* favorável à prole em potencial (HAMILTON, 1964; JAQUIÉRY, 2010; SEKHARDASH; BHATTACHARYYA, 2017). Além disso, esses chamados podem ser assimilados por diferentes machos com interesse em disputa por cópula, desencorajando indivíduos menores em relação a uma disputa física ao perceberem chamados que carregam informações sobre indivíduos de maiores dimensões e capacidades físicas para luta (BLUMSTEIN, 2007; WILSON, 2015).

Para manter a coesão entre coespecíficos em grupos sociais, os animais também utilizam de chamados de contato (BRADBURY; VEHRENCAMP, 1998; NOGUEIRA *et al.*, 2012; MEAUX *et al.*, 2023). Esses chamados são amplamente estudados na literatura (CARO, 2005; KONDO; WATANABE, 2009) e são utilizados para decodificar diversas informações sociais (VEHRENCAMP *et al.*, 2003). Por exemplo, podem sinalizar a identidade do emissor (TIBBETTS; DALE, 2007; ELIE; THEUNISSEN, 2018), o reconhecimento de parceiros (BUHRMAN-DEEVER; HOBSON; HOBSON, 2008), indivíduos aparentados (BOHN; WILKINSON; MOSS, 2007) e membros do mesmo grupo social (MEAUX *et al.*, 2023), com a função primordial de coesão interindividual ou coordenação de movimentos dentro do grupo social (BOINSKI, 1991; NOGUEIRA *et al.*, 2012).

Os chamados de contato (coesão ou monitoramento) são comuns em várias espécies de mamíferos e aves e podem ser emitidos por indivíduos de ambos os sexos e de todas as faixas etárias (KONDO; WATANABE, 2009), desempenhando um papel importante nas relações de cuidado parental. Por exemplo, as mães de babuínos chacma (*Papio ursinus* Kerr, 1792) conseguem localizar seus próprios filhotes a partir dos chamados de contato emitidos por seus filhotes que foram separados (RENDALL, CHENEY; SEYFARTH,

2000). De modo similar, lobos marinhos (*Arctocephalus tropicalis* Gray, 1872), em colônias reprodutivas, não apenas reconhecem vocalmente seus próprios filhotes, mas também os filhotes reconhecem suas próprias mães com base em chamados de contato individualmente distintos (CHARRIER; MATHEVON; JOUVENTIN, 2003).

Durante os contextos de forrageamento os chamados de contato geralmente são usados e criam uma teia de comunicação entre os indivíduos dos grupos durante o comportamento exploratório (CORTOPASSI; BRADBURY, 2006). Por exemplo, indivíduos de *K. rupestris* emitem *slow whistle* (chamado de contato) ao sair dos ninhos e iniciarem suas atividades diárias de exploração em busca de alimentos (LACHER, 1981). Além disso, esses chamados são utilizados também durante deslocamentos migratórios e de coordenação de movimentos (FICHTEL; MANSER, 2010; SPERBER *et al.*, 2017), como descrito para os gansos (*Anser anser*, Linnaeus, 1758) que emitem vocalizações de contato para sinalizar a proximidade e localização de intraespecíficos durante a migração (GUGGENBERGER *et al.*, 2022), bem como para o recrutamento de membros e agregação de grupos sociais (e.g. chamado *click* de *Hydrochoerus hydrochaeris* NOGUEIRA *et al.*, 2012; DOS SANTOS *et al.*, 2014).

Os chamados de contato são distintos em relação a outros tipos de chamados (BURNHAM, 2023). Enquanto os chamados de alarme têm uma função específica e transmitem informações precisas (BLUMSTEIN; ARMITAGE, 1997), chamados de contato são uma combinação de vários sons que acompanham as atividades diárias dos indivíduos no grupo social, mantendo o contato de áudio entre os membros do grupo (CARO, 2005). Outra diferenciação está relacionada aos contextos sociais de emissão. Por exemplo, vocalizações de contato geralmente são emitidas por animais em contextos mais favoráveis como, durante interações afiliativas (RENDALL, CHENEY; SEYFARTH, 2000), autocuidado, alimentação e *grooming* (CORTOPASSI; BRADBURY, 2006; KONDO; WATANABE, 2009). Em contrapartida, os chamados de alarme geralmente são

emitidos por indivíduos em contextos menos favoráveis, como, em resposta a situações ameaçadoras na presença ou aproximação de um possível predador (BLUMSTEIN, 2007; HOLLÉN; RADFORD, 2009). Dessa forma, a frequência de uso de chamados de contato e alarme pode variar em razão do contexto, estímulo e ambiente (BRIEFER, 2012). Portanto, grupos sociais que vivenciam mais frequentemente contextos favoráveis podem apresentar maior taxa de emissão de chamados de contato em relação a grupos que experimentam contextos mais hostis e, conseqüentemente, emitem mais chamados de alarme e agressividade (GOGOLEVA *et al.*, 2010; MENDL *et al.*, 2010)

Diversos fatores internos e externos ao animal podem influenciar a emissão dos chamados de alarme, que podem ser manifestados em diferentes contextos e condições (NASH; JEBB; BLUMSTEIN, 2020). Esse comportamento foi selecionado sob fortes pressões seletivas e, permanece consistente ao longo da evolução de diversos grupos de animais (MACEDONIA; EVANS, 1993), pois favorece direto ou indiretamente o *fitness* do emissor e gera impactos positivos na vida social (HAMILTON, 1964; COUCHOUX *et al.*, 2018; STEPHAN; ZUBERBUHLER, 2021). O uso de vocalizações de alerta é útil para a transmissão de informações a coespecíficos sobre o tipo de predador ou sua localização no ambiente, informando sobre a urgência de resposta a essa ameaça (GILL; BIEREMA; HAUBER, 2013; MCLACHLAN; MAGRATH, 2020). Tal uso pode ser influenciado também pela percepção de risco e tomada de decisão de um determinado indivíduo (BLUMSTEIN; ARMITAGE, 1997). Por exemplo, animais mais ousados tendem a vocalizar mais e se colocarem em situações de perigo frente a uma possível ameaça (RÉALE *et al.*, 2007; COUCHOUX *et al.*, 2018). Além disso, a emissão de vocalizações de alerta pode estar relacionada ao grau de parentesco (FUONG *et al.*, 2015). Um exemplo disso ocorre quando um emissor sinaliza uma ameaça a coespecíficos aparentados, com influência positiva no sucesso de fuga desses indivíduos e, conseqüentemente, obtém benefícios indiretos relacionados a prevalência de seus genes na população (SHERMAN, 1977;

HAMILTON, 1964; STEPHAN; ZUBERBÜHLER, 2021).

As vocalizações de alarme podem ser assimiladas e incorporadas na tomada de decisão de predadores distintos durante um determinado contexto de ameaça (CARO, 2005; RIDLEY; CHILD; BELL, 2007). Dessa forma, a presa pode utilizar chamados de alarme para obter benefícios próprios, como por exemplo, atrair diferentes predadores em uma situação de perigo e, assim, estabelecer uma competição que pode facilitar a sua fuga (BLUMSTEIN, 2007). Os sinais de alarme também podem ser utilizados pela presa para desencorajar uma possível perseguição do predador, a partir do fornecimento de informações sobre a sua condição física e capacidade de escapar ou defender-se durante um ataque (FITZGIBBON; FANSHAWAE, 1988). Adicionalmente, o emissor geralmente posiciona-se em locais seguros antes de sinalizar o perigo eminente (RANDALL; ROGOVIN; SHIER, 2000). Entretanto, tendo em vista que para o sucesso de caça, o predador utiliza-se do elemento surpresa (SHELLEY; BLUMSTEIN, 2005), o emissor pode utilizar os chamados de alarme para provocar uma agitação em coespecíficos próximos, gerando um tumulto que pode influenciar no redirecionamento da atenção de possíveis predadores a localizações distintas, obtendo benefícios diretos a sua sobrevivência a partir da manipulação do comportamento de indivíduos adjacentes (BLUMSTEIN; ARMITAGE, 1997; SEKHARDASH; BHATTACHARYYA, 2017).

Além das condições externas ao animal, fatores internos também influenciam na emissão de chamados de alarme (NASH; JEBB; BLUMSTEIN, 2020). Animais estressados (altos níveis de glicocorticoides) (BERCOVITCH; HAUSER; JONES, 1995; BLUMSTEIN; PATTON; SALTZMAN, 2006) e com condições de saúde desfavoráveis (presença de parasitas nocivos) (NOURI; BLUMSTEIN, 2019), são mais propensos a emitirem chamados de alarme. Nesse contexto, podem ocorrer modificações estruturais em características acústicas (entropia, duração e frequência média) das vocalizações de alarme emitidas por animais afetados em comparação a indivíduos com qualidade de vida

preservada (MATROSOVA, 2010; SEHRSWEENEY *et al.*, 2019). Diante dessas informações, investigações sobre o uso dos chamados de alarme e suas características variáveis em razão dos estímulos e ambiente (MACEDONIA; EVANS, 1993; GOGOLEVA *et al.*, 2010), podem fornecer informações a respeito da funcionalidade adaptativa dessas vocalizações (BLUMSTEIN, 2007) e a sua relação intrínseca com a ecologia, evolução (BLUMSTEIN; ARMITAGE, 1997), comportamento (CARO, 2005), saúde (NASH; JEBB; BLUMSTEIN, 2020) e bem estar animal (COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024).

Vocalizações como indicador de bem-estar animal

O bem-estar animal abrange uma condição integrada de saúde mental e fisiológica que descreve a qualidade de vida do animal em um determinado espaço e tempo (AZA, 2022). Portanto, um bem-estar favorável não é sinônimo apenas da ausência de doenças e dor (MENDL *et al.*, 2010; BOISSY; ERHARD, 2014), pois possui relação com a capacidade do animal manifestar comportamentos naturais de sua espécie e vivenciar condições de estado afetivo positivo (COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024). Dessa forma, é necessário a realização de estudos para a identificação de diferentes indicadores de bem-estar que forneçam informações confiáveis sobre a qualidade de vida do animal, sejam mantidos sob os cuidados humanos ou em vida livre, para melhor entender sua relação com o ambiente (MCGREGOR, 2012; WEBSTER, 2016; MENDL; PAUL, 2017).

As vocalizações são bons indicadores de bem-estar animal (BOISSY *et al.*, 2007). Em razão dos progressos nos instrumentos e abordagens analíticas dos sons, a bioacústica tem se mostrado uma ferramenta tecnológica eficiente, capaz de fornecer informações sobre a saúde, comportamento e estado emocional dos animais, contribuindo para o acesso e avaliação do bem-estar (BRIEFER, 2012; BRIEFER *et al.*, 2015; MANTEUFFEL *et al.*, 2004). As vocalizações são produzidas por órgãos específicos que carregam informações de ordem fisiológica e podem expressar o estado afetivo ou emocional dos animais (BRIEFER, 2012; BRIEFER *et al.*, 2015). A emoção é um fenômeno multicomponente (DÉSIRÉ *et al.*,

2002; MENDL *et al.*, 2010) que pode ser acessada por meio de um modelo bidimensional de valência (positiva ou negativa) e excitação (grau alto ou baixo de ativação do corpo do animal) (RUSSEL, 2003; MENDL *et al.*, 2010). Tais características da emoção estão associadas tanto a condições externas ao animal (ambiente), como internas (fisiologia) e podem ser observadas em comportamentos gestuais como por meio de características acústicas de suas vocalizações (COUTANT; VILLAIN; BRIEFER, 2024). Em situações hostis, como em interações agonísticas com coespecíficos, medo e na presença de predadores ou de humanos (ameaça), o estado emocional é considerado de valência negativa e de alta excitação (ANDERSON, 1987; MANTEUFFEL; PUPPE; SCHÖN, 2004; GOGOLEVA *et al.*, 2010; BRIEFER *et al.*, 2015). Em contrapartida, nos contextos positivos como durante interações afiliativas (*grooming*, brincadeira social), alimentação, forrageio e autocuidado, o estado emocional é considerado positivo e de alta excitação (MCCOWAN; ROMMECK, 2006; LAIOLO, 2010; BRIEFER *et al.*, 2015).

Para se ter acesso ao estado emocional e excitação a partir das vocalizações dos animais, é necessário investigar diversas características acústicas aliadas aos contextos de emissão (BRIEFER, 2012). Segundo as regras motivacionais de Morton (1977), as características das vocalizações variam de acordo com o contexto motivacional em que foram produzidas (MORTON, 1977; AUGUST; ANDERSON, 1987). Dessa forma, animais em contextos mais hostis (valência negativa e alta excitação) tendem a emitir vocalizações de maior duração, mais ruidosas, com frequências sonoras mais baixas e elevadas taxas de emissão de chamados em comparação com indivíduos que vivem em ambientes menos hostis e vivenciam mais contextos motivacionais positivos (valência positiva e alta excitação) (MANTEUFFEL; PUPPE; SCHÖN, 2004; GOGOLEVA *et al.*, 2010; BRIEFER, 2012). Dentre as características acústicas promissoras para o acesso ao estado motivacional e de excitação dos mamíferos e avaliação do bem-estar, podemos citar a duração, a distribuição de energia, intervalo entre notas, ocorrência de tipos vocais e elevada taxa de

emissão de chamados de alarme (MENDL *et al.*, 2010; BRIEFER *et al.*, 2015; KATO *et al.*, 2018). Dessa forma, a bioacústica aplicada a ciência do bem-estar de animais em vida livre pode fornecer dados sobre indicadores de ameaça e qualidade de ambiente onde vivem espécies ameaçadas como o mocó na caatinga (ALMEIDA, 2021).

A caatinga e o mocó (*Kerodon rupestris*)

A caatinga é definida como um dos tipos de vegetação xerófila do nordeste brasileiro, especificamente aquele encontrado sobre os solos rasos e pouco permeáveis dos afloramentos cristalinos, representando um complexo de vegetação decídua, heterogêneo quanto à fisionomia e estrutura, sendo uniforme quanto à composição (RIZZINI, 1979; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Esta região é a única grande região natural cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional. O estudo e a conservação da diversidade biológica da caatinga é um dos maiores desafios da ciência brasileira devido a sua localização e características. De forma proporcional às demais regiões brasileiras, é a área natural menos estudada no Brasil, com grande parte do esforço científico concentrado em alguns pontos em torno das principais cidades de sua região (PRADO *et al.*, 2003; TABARELLI *et al.*, 2018). Diante disso, a caatinga é a região natural brasileira menos protegida, contando apenas com 7% de sua área restante coberta por unidades de conservação (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A expansão das atividades agropecuárias representa o principal fator de pressão para espécies que ocorrem na caatinga, com apenas 54% de vegetação nativa primária remanescente, e o restante convertido em outras formas de uso econômico da terra (TORRES *et al.*, 2012). Este ecossistema sofre com um extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais, o que tem levado a formação de extensos núcleos de desertificação em vários setores da região e à rápida perda de espécies endêmicas, como *K. rupestris*, o que acarreta na eliminação de processos ecológicos chaves para manutenção do equilíbrio ambiental do semiárido brasileiro (PRADO *et al.*, 2003; QUEIROZ *et al.*, 2021).

O mocó é um mamífero que pertence a ordem Rodentia da família Caviidae (BONVICINO *et al.*, 2008). Esse animal é social e vive em grupos familiares em estrutura de harém, geralmente compostos por um macho e três a quatro fêmeas adultas e seus filhotes, organizados em hierarquia de dominância social (LACHER, 1981). Essa espécie utiliza como principal meio de comunicação o canal acústico em suas interações sociais (LACHER, 1981). Na literatura, seu repertório acústico encontra-se descrito por Lacher (1981) a partir de animais cativos, composto por seis tipos de chamados vocais (*churr*, *slow whistle*, *peepy squeaks*, *squeal*, *alarm whistle*, *nasal hiss*) e um sinal mecânico (*chattering teeth*). Posteriormente, esse repertório acústico foi atualizado a partir da investigação de indivíduos adultos da espécie em vida livre e de alguns destes que foram capturados e mantidos em cativeiro para coleta de dados, sendo registrado e descrito 11 tipos de vocalizações (contato e coesão: *contact call*, *slow whistle* regulação social: *whine*, *peepy-squeak*, *yelp* agressividade e status: *purr*, *snort/nasal hiss*, *growl* alarme ou intimidação: *alarm whistle*, *drrrr*) e dois sinais mecânicos (alarme: *drumming*, agressividade e status: *teeth-chattering*) (MONTICELLI; ALENCAR-JUNIOR, 2021). Em estudo bioacústico para identificar indicadores ecológicos para a conservação de *K. rupestris*, foram descritos cinco tipos vocais (*alarm whistle*, *snort*, *snort-like*, *whine*, *scream*) para a espécie em vida livre. Neste estudo foi registrado diferenças na comunicação acústica de grupos sociais de mocó que habitavam áreas distintas e com diferentes níveis de impacto antrópico. Como resultado, os autores encontraram um maior número de chamados de alarme e agressividade na área mais perturbada em relação a área menos perturbada, além de diferenças nos parâmetros acústicos (*peak* e *higher frequencies*) do chamado *alarm whistle* registrado nos distintos ambientes investigados (ALMEIDA, 2021).

K. rupestris possui características fisiológicas, morfológicas e comportamentais adaptadas para a vida em ambiente de savana (LACHER, 1981; STREILEN, 1982). A espécie é habituada ao clima semiárido do Brasil e capaz de suportar grandes períodos de

baixa disponibilidade de recursos (RIBEIRO *et al.*, 2011). Neste ambiente, o mocó habita terrenos rochosos caracterizados por grandes afloramentos de rochas graníticas, onde fendas e cavidades criam espaço para feitura de seus ninhos e uso como abrigo para evitar predação (LACHER, 1981). Sua alimentação é típica dos herbívoros (folívoro, frugívoro) o que o torna um dispersor de sementes e agente no controle de populações vegetais do semiárido (ZOGNO *et al.*, 2004; OLIVEIRA; BONVICINO, 2006).

O mocó desempenha papel ecológico fundamental para manutenção do equilíbrio da fauna do semiárido, sendo considerado como integrante da base da cadeia alimentar de mamíferos predadores que ocorrem nesta região, a exemplo, jaguatirica (*Leopardus pardalis*), raposa-do-mato (*Cercopithecus thomasi*) gato do mato (*Leopardus tigrinus*), onças-pintadas (*Panthera onca*), onças-pardas (*Puma concolor*) e aves de rapina como macaúã (*Herpetotheres cachinnans*) e gavião preto (*Urubitinga urubitinga*) (AMORA; FERRARI, 2014; PENIDO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; MARINHO *et al.*, 2018). Além disso, o mocó é utilizado como fonte de proteína por populações sertanejas principalmente em períodos de seca, e tem sua região gástrica (geralmente o coágulo gástrico) aplicada a fabricação de queijo, alimento de grande demanda comercial na região (ZOGNO *et al.*, 2004; COSTA *et al.*, 2005; ALVES *et al.*, 2012; ICMBIO, 2018a). Apesar de sua importância para o equilíbrio ecológico da região, o mocó é uma espécie que carece de programas para sua conservação (ICMBIO, 2018a).

O *K. rupestris* encontra-se inserido na categoria de espécie vulnerável na última versão da lista vermelha de espécies brasileiras ameaçadas de extinção (MMA, 2022). As ameaças a essa espécie estão relacionadas a perda e fragmentação de habitat, oriundas principalmente das alterações dos afloramentos rochosos do semiárido (OLIVEIRA; BONVICINO, 2006). Adicionalmente, o mocó é um roedor de médio porte e o sabor de sua carne é bastante apreciado pela população sertaneja, o que gera intensa pressão de caça, sendo este mais um dos fatores para o declínio populacional da espécie (COSTA *et al.*, 2005;

ICMBIO, 2018a). As avaliações realizadas sobre o mocó indicam uma queda populacional com registros de várias extinções locais que levam a uma estimativa de que nos últimos dez anos o declínio populacional de *K. rupestris* chega a 30%, fazendo-se necessário o desenvolvimento de estudos que forneçam suporte para o monitoramento da espécie (ICMBIO, 2018b).

A fragilidade da caatinga e do mocó conseqüentemente, ressaltam a necessidade do desenvolvimento de estudos que possam subsidiar dados para o apontamento de estratégias conservacionistas voltadas para a espécie e seu habitat. No entanto, a dificuldade em acessar as áreas de ocorrência do mocó acrescem a falta de conhecimento sobre como a espécie está lidando com as constantes alterações ambientais e como tais impactos antrópicos podem estar afetando sua saúde, bem-estar e *fitness* (sobrevivência e sucesso reprodutivo). A bioacústica por ser capaz de informar sobre alterações na comunicação acústica dos animais em razão de interferências antrópicas (PENAR *et al.*, 2020), pode ser uma eficiente ferramenta de avaliação do mocó em seu ambiente natural. Adicionalmente, os sons são amplamente utilizados pelos animais durante o processo de comunicação animal e são de relativo fácil registro na natureza (BRADBURY; VEHRENCAMP, 2009). Dessa forma, a aplicação da bioacústica para dar suporte ao monitoramento de espécies que vivem em ambientes inóspitos (TEIXEIRA *et al.*, 2019; WREGE *et al.*, 2017) como o mocó, nos parece viável e eficaz, possibilitando o registro de dados úteis para serem aplicados à conservação de *K. rupestris*.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, U. P., DE LIMA ARAÚJO, E., EL-DEIR, A. C. A., DE LIMA, A. L. A., SOUTO, A., BEZERRA, B. M., FERRAZ, E. M. N. et al., Caatinga revisited: Ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **Scientific World Journal**. 2012. <https://doi.org/10.1100/2012/205182>

ALENCAR-JUNIOR, R. N. O repertório acústico de um especialista de rochedos da caatinga, o Mocó. **Dissertation (Master's in psychology)**. São Paulo University. São Paulo. Dept. Psicol. Exp. p. 102, 2011.

ALMEIDA, W. N. Indicadores acústicos para a conservação do mocó (*Kerodon rupestris*) em áreas perturbadas de caatinga. **Dissertation (Master's in zoology)**. Universidade Estadual de Santa Cruz. Bahia-Brasil. Dept. Ciências Biológicas. p.74, 2021.

ALVES, R. R. N., GONÇALVES, M. B. R., VIEIRA, W. L. S. Caça, uso e conservação de vertebrados no semiárido Brasileiro. **Tropical Conservation Science**. 5, 394–416. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008291200500312>.

AMORA, T. D., FERRARI, S. F. Predation of small-bodied mammals (*Callithrix* and *Kerodon*) by laughing falcons (*Herpetotheres cachinnans*) in the semi-arid caatinga scrub forest of the Brazilian Northeast. **Wilson Journal of Ornithology**. 126, 771–775. 2014. <https://doi.org/10.1676/13-149.1>.

AUGUST, P.V., ANDERSON, J. G. T. Mammal sounds and motivation-structural rules:a test of the hypothesis. **Journal of Mammalogy**, v. 68, n. 1, p. 1-9, 1987.

AZA, association of zoos e aquariums. **Animal Welfare Committee's Definition of Animal Welfare**. 2022. Available in: https://www.aza.org/animal_welfare_committee?locale=en Accessed: 10, march 2023

BARROS, K. S., ALMEIDA, W. N. Mamíferos terrestres do Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, Bahia: primeiros foto-registros. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**. 83, 162–167, 2018.

BARROS, K. S., TOKUMARU, R. S., PEDROZA, J. P., NOGUEIRA, S. S. C. Vocal Repertoire of Captive Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*): Structure, Context and Function. **Ethology**, 117, 83–94. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01853.x>.

BERGER-TAL, O., WONG, B. B. M., CANDOLIN, U. What evidence exists on the effects of anthropogenic noise on acoustic communication in animals? A systematic map protocols. **Environmental Evidence**, 18. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0165-3>

BERCOVITCH F. B., HAUSER, M. D., JONES, J. H. The endocrine stress response and alarm vocalizations in rhesus macaques. **Animal Behaviour**. 49, 1703–1706. 1995.

BLUMSTEIN, D. T. Alarm calling in three species of marmots. **Behaviour**. 136, 731–757. 1999.

BLUMSTEIN, D. T., ARMITAGE, K. B. Does sociality drive the evolution of communicative complexity? A comparative test with ground-dwelling sciurid alarm calls. **The American Naturalist**. 150, 179–200. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1086/286062>.

BLUMSTEIN, D. T., PATTON, M. L., SALTZMAN, W. Faecal glucocorticoid metabolites and alarm calling in free-living yellow-bellied marmots. **Biology Letters**. 2, 29–32. 2006.

BLUMSTEIN, D.T. The evolution, function, and meaning of marmot alarm communication. **Advances in The Study of Behavior**. 37, 371-401. 2007.

BOHN, K. M., WILKINSON, G. S., MOSS, C. F. Discrimination of infant isolation calls by female greater spear-nosed bats, *Phyllostomus hastatus*. **Animal Behaviour**, 73, 423–432. 2007.

BOINSKI, S. The coordination of spatial position: A field study of the vocal behaviour of adult female squirrel monkeys. **Animal Behaviour**, 41, 89–102. 1991.

BORKER, A. L., MCKOWN, M. W., ACKERMAN, J. T., EAGLES-SMITH, C. A.,

443 TERSHY, B. R., CROLL, D. A.,. Vocal activity as a low cost and scalable index of seabird
444 colony size. **Conservation Biology**. 28, 1100–1108. 2014. DOI:
445 <https://doi.org/10.1111/cobi.12264>.

446 BONVICINO, C., OLIVEIRA, J., D'ANDREA, O. Guia dos Roedores do Brasil com
447 chaves para gêneros baseadas em caracteres externos. **Organização Pan-Americana da**
448 **Saúde**, Rio de Janeiro, 120p, 2008.

449 BORKER, A. L., MCKOWN, M. W., ACKERMAN, J. T., EAGLES-SMITH, C. A.,
450 TERSHY, B. R., CROLL, D. A. Vocal activity as a low cost and scalable index of seabird
451 colony size. **Conservation Biology**. 28, 1100–1108, 2014. DOI:
452 <https://doi.org/10.1111/cobi.12264>.

453 BRADBURY, J. W., VEHRENCAMP, S. L. Principles of Animal Communication.
454 **Oxford Univerty Press**. Second Ed. p. 697. 2009.

455 BRADBURY, J. W., VEHRENCAMP, S. L. Principles of animal communcation,
456 Second Edi. **Sinauer Associates**, Sunderland, Massachusetts. 1998.

457 BRIEFER, E. LINHART, P., POLICHT, R., SPINKA, M., LELIVELD, L., et al.
458 Vocal expression of emotional valence in pigs across multiple call types and contexts. **PeerJ**
459 **Preprints**, 2019. DOI: 10.7287/peerj.preprints.27934

460 BRIEFER, E. F., SYPHERD, C. C. R., LINHART, P., LELIVELD, L., PADILLA T.
461 M., READ, E. R., TALLET, C. Classification of pig calls produced from birth to slaughter
462 according to their emotional valence and context of production. Scientific Reports. 12, 1–10.
463 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07174-8>.

464 BRIEFER, E. F., TETTAMANTI, F., MCELLIGOTT, A. G. Emotions in goats:
465 Mapping physiological, behavioural and vocal profiles. **Animal Behaviour**. 99, 131–143,
466 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.11.002>.

467 BRIEFER, E. F. Vocal expression of emotions in mammals: Mechanisms of
468 production and evidence. **Journal of Zoology**. 288, 1–20. 2012. DOI:

469 <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2012.00920.x>.

470 BROOM, D., M. The welfare of vertebrate pests in relation to their management.
471 In *Advances in Vertebrate Pest Management*; COWAN, D. P., FEARE, C. J., Eds. **Filander**
472 **Verlag**: Furth, Germany, 309–329. 1999.

473 BROOM, D. M., JOHNSON, K. G. Stress and animal welfare. London: **Chapman &**
474 **Hall**. 211p. 1993.

475 BROWNING, H., VEIT, W. Freedom and Animal Welfare. **Animals**. 11 (4): 1148.
476 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11041148>

477 BUHRMAN-DEEVER, S. C., HOBSON, E. A., HOBSON, A. D. Individual
478 recognition and selective responses to contact calls in foraging brown-throated
479 conures, *Aratinga pertinax*. **Animal Behaviour**, 76, 1715–1725. 2008.

480 BURNHAM, R. Animal calling behaviours and what this can tell us about the effects
481 of changing soundscapes. **Acoustics**, 5, 631-652. 2023.
482 <https://doi.org/10.3390/acoustics5030039>

483 BURGDORF, J. S., BRUDZYNSKI, S. M., MOSKAL J. R. Using rat ultrasonic
484 vocalization to study the neurobiology of emotion: from basic science to the development of
485 novel therapeutics for affective disorders. **Current Opinion in Neurobiology**. 60, 192-200.
486 2020. DOI: 10.1016/j.conb.2019.12.008.

487 CARO, T. Antipredator Defenses in Birds and Mammals. **University of Chicago**
488 **Press**, Chicago. 2005.

489 CHARRIER, I., MATHEVON, N., JOUVENTIN, P. Vocal signature recognition of
490 mothers by fur seal pups. **Animal Behaviour**, 65, 543–550. 2003.

491 CHENEY, D. L., SEYFARTH, R. M. Assessment of meaning and the detection of
492 unreliable signals by vervet monkeys. **Animal Behaviour**. 36, 477–486. 1988.

493 CONCEIÇÃO, A. M., BOCCHIGLIERI, A. Population density and use of space by
494 *Kerodon rupestris*: An endemic and threatened rodent in the semiarid areas of Brazil. **Journal**

of **Arid Environments**, v. 186, n. 1, p. 1–7, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104425>

CORTOPASSI, K., BRADBURY, J. Contact call diversity in wild Orange-fronted Parakeet pairs, *Aratinga canicularis*. **Animal Behaviour**. 71. 1141-1154. 2006. DOI: 10.1016/j.anbehav.2005.09.011.

COUCHOUX, C., CLERMONT, D., D., RÉALE, D. Signaler and receiver boldness influence response to alarm calls in eastern chipmunks. **Behavioral Ecology**, 29, 2018. 212–220. DOI: <https://doi.org/10.1093/beheco/arx152>

COUTANT, M., VILLAIN, A. S., BRIEFER, E. F. A scoping review of the use of bioacoustics to assess various components of farm animal welfare. **Applied Animal Behaviour Science**. 275. 2024. DOI: 10.1016/j.applanim.2024.106286

COSTA, L. P., LEITE, Y. L. R., MENDES, S. L., DITCHFIELD, A. D. Conservação de mamíferos no Brasil. **Megadiversidade**. 1, 103-112. 2005.

DELICIELLOS, A. C. Mammals of four Caatinga areas in northeastern Brazil: inventory, species biology, and community structure. **Check List**, 12 (3):1-15. 2016.

DÉSIRÉ, L. et al. On the way to assess emotions in animals: do lambs (*Ovis aries*) evaluate an event through its suddenness, novelty, or unpredictability? **Journal of Comparative Psychology**, v. 118, n. 4, p. 363, 2004.

DIAS, D. M., CAMPOS, C. B., RODRIGUES, F. H. G. Behavioural ecology in a predator-prey system. **Mammalian Biology**, 92: 30-36. 2018.

DI MARCO, M., BOITANI, L., MALLON, D., HOFFMANN, M., LACUCCI, A., MEIJAARD, E., et al. A retrospective evaluation of the global decline of carnivores and ungulates. **Conservation Biology**. 28, 1109–18. DOI: 10.1111/cobi.122492014.

DOS SANTOS, E., TOKUMARU, R., NOGUEIRA FILHO, S., NOGUEIRA, S. The effects of unrelated offspring whistle call on capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). **Brazilian Journal of Biology**. 74, S171–S176, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519->

6984.25212.

EISENBERG, J. F. The function and motivational basis of hystricomorph vocalizations. **Symposium of the Zoological Society of London**. London 34, 211–247. 1974.

ELIE, J. E., THEUNISSEN, F. E. Zebra finches identify individuals using vocal signatures unique to each call type. **Nature Communications**. 9, 4026. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06394-9>.

FICHTEL, C., MANSER, M. Vocal communication in social groups. In KAPPELER, P. (Ed.), **Animal behaviour: Evolution and mechanisms** (pp. 29–54). Springer. 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-02624-9_2.

FISCHER, J., HAMMERSCHMIDT, K., TODT, D. Factors Affecting Acoustic Variation in Barbary-macaque (*Macaca sylvanus*) Disturbance Calls. **Ethology**. 101, 51–66. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1995.tb00345.x>.

FISCHER, J. Nonhuman primate alarm calls then and now. **Animal Behavior and Cognition**, 7 (2), 108-116. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26451/abc.07.02.05.2020>

FITZGIBBON, C. D., FANSHAW, J. H. Stotting in *Thomson gazelles*: an honest signal of condition. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. 23, 69–74. 1988.

GILL, S.A, BIEREMA, A. M. K., HAUBER, M. On the meaning of alarm calls: a review of functional reference in avian alarm calling. **Ethology**, 119, 449-461. 2013. doi: [10.1111/eth.12097](https://doi.org/10.1111/eth.12097).

GOGOLEVA, S. S., VOLODINA, E. V., VOLODIN, I. A., KHARLAMOVA, A. V., TRUT, L. N. The gradual vocal responses to human-provoked discomfort in farmed silver foxes. **Acta Ethologica**. 13, 75–85, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10211-010-0076-3>.

HALFWERK, W., SLABBEKOORN, H. Pollution going multimodal: the complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. **Biology Letters**. 2015. DOI: [10.1098/rsbl.2014.1051](https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.1051).

HAMILTON, W. D. The genetical evolution of social behavior. I. **Journal of Theoretical Biology**. 7, 1–16. 1964. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203790427-4>.

HART, L., A., WREFORD, E. P., BROWN, M., DOWNS, C. T. 2018 Hunting flight speeds of five southern *African raptors*. **Ostrich**. 89, 251-258. DOI:10.2989/00306525.2018.1455754

HE, S., LIN, J., JIN, Q., MA, X., LIU, Z., CHEN, H., MA, J., ZHANG, H., DESCOVICH, K., PHILLIPS, C. J. C., HARTCHER, K., WU, Z. The relationship between animal welfare and farm profitability in cage and free-range housing systems for laying hens in china. **Animals**. 16, 2090. 2022. DOI: 10.3390/ani12162090.

HERBORN K. A., MCELLIGOTT A. G., MITCHELL M. A., SANDILANDS V., BRADSHAW B., ASHER L. Spectral entropy of early-life distress calls as an iceberg indicator of chicken welfare. **Royal Society Interface**. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0086>.

HERZOG, M., HOPF, S., Behavioral responses to species-specific warning calls in infant squirrel monkeys reared in social isolation. **American Journal of Primatology**. 1984; 7 (2): 99-106. DOI: 10.1002/ajp.1350070204.

HILL S. P., BROOM D. M. Measuring Zoo animal welfare: theory and practice. **Zoo Biology**. 28 (6): 531-44. 2009. DOI: 10.1002/zoo.20276.

HING, S., NARAYAN, E. J., THOMPSON, R. A., GODFREY, S. S. The relationship between physiological stress and wildlife disease: consequences for health and conservation. **Wildlife Research**. 43, 51–60. 2016. DOI: 10.1071/WR15183

HOLLÉN, L. I., RADFORD, A. N. The development of alarm call behaviour in mammals and birds. **Animal Behaviour**, 78(4), 791–800. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.07.021>.

ICMBIO. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. 1, 66-70, 2018a. Available in:

573 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf)
574 [diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf). Accessed: 10, April 2021.

575 ICMBIO. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. 2, 401-403,
576 2018b. Available in:
577 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf)
578 [diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf). Accessed: 10, April 2021.

579 IOSSA, G. SOULSBURY, C. D., HARRIS, S. Mammal trapping: A review of
580 animal welfare standards of killing and restraining traps. **Animal Welfare**. 16, 335–352.
581 2007.

582 JAQUIÉRY, J., BROQUET, T., AGUILAR, C., EVANNO, G., PERRIN, N. Good
583 genes drive female choice for mating partners in the lek-breeding European
584 treefrog. **Evolution**. 64, 108–115. 2010. DOI: 10.1111/j.1558-5646.2009.00816.x

585 JIRKOF, P., RUDECK, J., LEWEJOHANN, L. Assessing Affective State in
586 Laboratory Rodents to Promote Animal Welfare—What Is the Progress in Applied
587 Refinement Research? **Animals**. 9, 1026. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9121026>.

588 JORGE, F. C., MACHADO, C. G., NOGUEIRA, S. S. C., NOGUEIRA-FILHO, S. L.
589 G. The effectiveness of acoustic indices for forest monitoring in Atlantic rainforest fragments.
590 **Ecology Indicators**. 91, 71–76, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.001>.

591 KATO, M., YOKOYAMA, C., KAWASAKI, A., TAKEDA, C., KOIKE, T.,
592 ONOE, H., IRIKI, A. Individual identity and affective valence in marmoset calls: in vivo
593 brain imaging with vocal sound playback. **Animal Cognition**. 21, 331-343. 2018. DOI:
594 10.1007/s10071-018-1169-z.

595 KONDO, N., WATANABE, S. Contact calls: Information and social function.
596 **Japanese Psychological Research**, 51: 197-208. 2009. DOI:
597 <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2009.00399.x>.

598 LACHER, T. E. The comparative social behavior of *Kerodon rupestris* and *Galea*

599 *spixii* and the evolution of behavior in the Caviidae. **Bulletin of the Carnegie Museum of**
600 **Natural History**. 17, 1–71, 1981.

601 LEWIS, R. N., WILLIAMS, L. J., GILMAN, R. T.,. The uses and implications of
602 avian vocalizations for conservation planning. **Conservation Biology**. 00, 1–14. 2020. DOI:
603 <https://doi.org/10.1111/cobi.13465>.

604 LITTIN, K. E., MELLOR, D. J., WARBURTON, B., EASON, C.T. Animal welfare
605 and ethical issues relevant to the humane control of vertebrate pests. **New Zealand**
606 **Veterinary Journal**. 52, 1–10. 2004.

607 MACDONALD, D.W. Mitigating Human Impacts on Wild Animal
608 Welfare. **Animals**. 13, 2906. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13182906>

609 MACEDONIA, J. M., EVANSC, S. Variation among mammalian alarm call systems
610 and the problem of meaning in animal signals. **Ethology** 93, 177-197. 1993.

611 MANTEUFFEL, G., PUPPE, B., SCHÖN, P. C. Vocalization of farm animals as a
612 measure of welfare. **Applied Animal Behaviour Science**. 88, 163–182, 2004. DOI:
613 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.012>.

614 MANSER, M. B. The generation of functionally referential and motivational vocal
615 signalsin mammals. In: **Handbook of behavioral neuroscience**. Elsevier, p. 477-486. 2010.

616 MARES, M. A., WILLIG, M. R., STREILEIN, K. E., LACHER, T. E., The
617 mammals of northeastern Brazil: a preliminary assessment. *Ann. Carnegie Mus.* 50, 81–
618 137. 1981.

619 MARINHO, P. H., BEZERRA, D., ANTONGIOVANNI, M., FONSECA, C. R.,
620 VENTICINQUE, E. M. Activity patterns of the threatened northern tiger cat *Leopardus*
621 *tigrinus* and its potential prey in a Brazilian dry tropical forest. **Mammalian Biology**. 89,
622 30–36. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.12.004>.

623 MARLER, P. Characteristics of some animal calls. **Nature**, v. 176, n. 4480, p. 6-8,
624 1955. DOI: 10.1038/176000a0.

MASON, G., LITTIN, K. The humaneness of rodent pest control. **Animal Welfare**. 12, 1–37. 2003.

MATROSOVA, V. A., VOLODIN, I. A., VOLODINA, E. V., VASILIEVA, N. A. Stability of acoustic individuality in the alarm calls of wild yellow ground squirrels *Spermophilus fulvus* and contrasting calls from trapped and free-ranging callers. **Naturwissenschaften**. 97, 707–715. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-010-0686-7>

MCLACHLAN, J. R., MAGRATH, R. D. Speedy revelations: how alarm calls can convey rapid, reliable information about urgent danger. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**. 2020. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspb.2019.2772>.

MEAUX, E, H, C., ZENG, X., H, R., JIANG, A., GOODALE, E. Audience effects in a group-living bird: How contact call rate is affected by vegetation and group size and composition. **Ecology and Evolution**, 13, e 9909. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.9909>.

MENDL, M., BURMAN, O. H. P., PAUL, E. S. An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 277, n. 1696, p. 2895-2904, 2010.

MENDL, M; PAUL, L. Getting to the heart of animal welfare. The study of animal emotion. **Stichting Animales**, Netherlands. 2017.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Portaria N° 148**, de 7 de junho de 2022. Available in: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html> Accessed: 10, April 2022.

MONTICELLI, P. F., ADES, C. Bioacoustics of domestication: Alarm and courtship calls of wild and domestic cavies. **Bioacoustics**. 20, 169–191. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/09524622.2011.9753642>.

MONTICELLI, P. F., ADES, C. The rich acoustic repertoire of a precocious rodent,

651 the wild cavy *Cavia aperea*. **Bioacoustics**. 22, 37–41. 2013. DOI:
652 <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/09524622.2012.711516>.

653 MONTICELLI, P. F., ALENCAR-JUNIOR, R. N., 2021. The acoustic behavior of the
654 Brazilian caatinga big rodent is incongruent to its actual position in Hydrochoerinae.
655 **Behaviour Processes** 193, 104523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104523>.

656 MOORHOUSE, T. P., DAHLSJÖ, C. A. L., BAKER, S. E., D'CRUZE, N.,
657 MACDONALD, D. W. The customer isn't always right—Conservation and animal welfare
658 implications of the increasing demand for wildlife tourism. **Plos one**, 2015.

659 MORALES, M. A., BARONE J. L., HENRY C. S. Acoustic alarm signalling
660 facilitates predator protection of treehoppers by mutualist ant bodyguards. **Proceedings of the**
661 **Royal Society B: Biological Sciences**. 275 (1645):1935-41. 2008. DOI:
662 [10.1098/rspb.2008.0410](https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0410).

663 MORTON, E. S. Grading, discreteness, redundancy and motivational-structural
664 rules. In: **Acoustic Communication in Birds** (Ed. by D. E. KROODSMA, E. H. MILLER,
665 H. Ouellet), pp. 183–211. San Diego: Academic Press. 1982.

666 MORTON, E. S. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in
667 some bird and mammal sounds. **American Naturalist**, 111, 855–869. 1977.

668 MUTANU, L., GOHIL, J., GUPTA, K., WAGIO, P., KOTONYA, G. A Review of
669 Automated Bioacoustics and General Acoustics Classification Research. **Sensors (Basel)**.
670 22, 8361. 2022. DOI: [10.3390/s22218361](https://doi.org/10.3390/s22218361).

671 NAGUIB, M., WILEY, H. Estimating the distance to a source of sound: Mechanisms
672 and adaptations for long-range communication. **Animal Behaviour**, 62 (5), 825–837. 2001.
673 DOI: <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1860>.

674 NASH, A. L., JEBB, A. H. M., BLUMSTEIN, D. T. Is the propensity to emit alarm
675 calls associated with health status?. **Current Zoology**. 66, 607-614. 2020 DOI:
676 [10.1093/cz/zoaa020](https://doi.org/10.1093/cz/zoaa020).

677 NICOLAS G, FRAIGNEAU C, AUBIN T. Variation in the behavioral responses of
678 Budgerigars *Melopsittacus undulatus* to an alarm call in relation to sex and season. **Anais da**
679 **Academia Brasileira de Ciências**, 76, 359–64. 2004. DOI: [https://doi.org/10.1590/S0001-](https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000200025)
680 37652004000200025

681 NOGUEIRA, S. S. C., PEDROZA, J. P., NOGUEIRA-FILHO, S. L. G.,
682 TOKUMARU, R. S. The Function of Click Call Emission in Capybaras (*Hydrochoerus*
683 *hydrochaeris*). **Ethology**. 118, 1001–1009, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/eth.12001>.

684 NOURI, K., BLUMSTEIN, D. T. Parasites are associated with noisy alarm
685 calls. **Frontiers in Ecology and Evolution**. 7, 1–6. 2019.

686 OLIVEIRA, C. D. L., SILVA, A. P. A., MOURA, P. A. G. Distribution and
687 importance of conservation units in the caatinga domain. **Anuário do Instituto de**
688 **Geociências**. 42, 425–429, 2019. DOI: https://doi.org/10.11137/2019_1_425_429.

689 OLIVEIRA, J. A., BONVICINO, C. R. Capítulo 12: Ordem Rodentia. In: REIS, N.
690 R., PERACCHI, A. L., PEDRO, W.A., LIMA, I. P. **Mamíferos do Brasil**, Paraná: Londrina,
691 347-400, 2006.

692 OWREN, M. J., RENDALL, D. Sound on the rebound: Bringing form and function
693 back to the forefront in understanding nonhuman primate vocal signaling. **Evolutionary**
694 **Anthropology**, v. 10, n. 2, p. 58-71, 2001. DOI: 10.1002/evan.1014.

695 PARTECKE, J., SCHWABL, I., GWINNER, E. Stress and the city: Urbanization
696 and its effects on the stress physiology in European blackbirds. **Ecology**. 87, 1945–1952.
697 2006.

698 PENAR, W., MAGIERA, A., KLOCEK, C. Applications of bioacoustics in animal
699 ecology. **Ecological Complexity**. 43, 100847, 2020. DOI:
700 <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100847>.

701 PENIDO, G., ASTETE, S., JÁCOMO, A. T. A., SOLLMANN, R., TÔRRES, N.,
702 SILVEIRA, L., FILHO, J. M. Mesocarnivore activity patterns in the semiarid Caatinga:

Limited by the harsh environment or affected by interspecific interactions? **Journal of Mammalogy**. 98, 1732–1740, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx119>.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R, TABARELLI, M., SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**, Recife: UFP, 3-73, 2003.

PRICE, T., WADEWITZ, P., CHENEY, D. Vervets revisited: A quantitative analysis of alarm call structure and context specificity. **Scientific Reports**, 5, 13220, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep13220>

QUEIROZ, M. G., SILVA, T. G. F., SOUZA, C. A. A., ROSA, F. J. A. M., ARAÚJO, G. N, SOUZA, L. S. B., MOURA, M. S. B. Composition of introcaatinga species under anthropic disturbance and its correlation with rainfall partitioning. **Floresta e Ambient**. 28, 1–10. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044>.

RADFORD, A. N., RIDLEY, A. R. Close calling regulates spacing between foraging competitors in the group-living pied babbler. **Animal Behavior**, 75, 2, 519-527. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.05.016>.

RANDALL, J. A., ROGOVIN, K. A., SHIER, D. M. Antipredator behavior of a social desert rodent: foot-drumming and alarm calling in the great gerbil, *Rhombomys opimus*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. 48, 110–118. 2000.

RANDALL, J. A., ROGOVIN, K. A. Variation in and meaning of alarm calls in a social desert rodent *Rhombomys opimus*. **Ethology**. 108, 513-527. 2002. DOI: [10.1046/j.1439-0310.2002.00797.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2002.00797.x).

RÉALE, D., READER, S. M., SOL, D., MCDOUGALL P. T., DINGEMANSE, N. J. Integrating animal temperament within ecology and evolution. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**. 82, 291 –318. 2007.

RENDALL, D., CHENEY, D. L., SEYFARTH, R. M. Proximate factors mediating "contact" calls in adult female baboons (*Papio cynocephalus ursinus*) and their infants. **Journal of Comparative Psychology**. 114, 36–46. 2000. DOI:

729 <https://doi.org/10.1037/0735-7036.114.1.36>.

730 RIBEIRO, R., ROCHA, C. R., MARINHO-FILHO, J. Natural history and
731 demography of *Thalpomys lasiotis* (Thomas, 1916), a rare and endemic species from the
732 Brazilian savanna. **Acta Theriologica**. 56, 275–282. 2011. DOI:
733 <https://doi.org/10.1007/s13364-011-0026-0>.

734 RIDLEY, A. R., CHILD, M. F., BELL, M. Interspecific audience effects on the
735 alarm-calling behaviour of a kleptoparasitic bird. **Biology Letters**. 6, 589–591. 2007.

736 RIZZINI, C. T. Tratado de fitogeografia do Brasil. São Paulo, **HUCITEC/EDUSP**.
737 2. 1979.

738 RUSSELL, J. A. Core affect and the psychological construction of emotion. **Psychol.**
739 **Rev.** 110: 145–172. 2003.

740 SCHÖNER, M. G., SIMON, R., SCHÖNER, C. R. Acoustic communication in
741 plant–animal interactions. **Current Opinion in Plant Biology**. 32, 88–95. 2016.
742 DOI: 10.1016/j.pbi.2016.06.011

743 SEHRSWEENEY, M., WILSON, D. R., BAIN, M., BOUTIN, S., LANE, J. E. The
744 effects of stress and glucocorticoids on vocalizations: a test in North American red squirrels.
745 **Behavioral Ecology**. 30, 1030–1040. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/beheco/arz044>

746 SEKHARDASH, N., BHATTACHARYYA, A. The Animal Communication System
747 (ANICOMs): Some Interesting Observations. **International Journal of Communication**. 27,
748 7-47. 2017.

749 SEYFARTH, R. M., CHENEY D. L., MARLER, P. Monkey responses to three
750 different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic
751 communication. **Science**, 210, 801–803. 1980.

752 SHANNON M. D., DREW R. Predator-associated vocalizations in North American
753 red squirrels, *Tamiasciurus hudsonicus*: are alarm calls predator specific? **Animal Behaviour**,
754 1135-1144. 2009. DOI: 10.1016/j.anbehav.2009.07.030, 78, 5.

755 SHERMAN, P. W. Nepotism and the evolution of alarm calls. **Science**. 197, 1246–
 756 1253. 1977.

757 SHELLEY, E. L., BLUMSTEIN D. T. The evolution of vocal alarm communication
 758 in rodents. **Behavioral Ecology**. 16, 169–177, 2005.
 759 DOI: <https://doi.org/10.1093/beheco/arh148>.

760 SILVA, J. I., OLIVIEIRA, R. F., VIEIRA, L. R., LIMA, E. S., ARAÚJO, M. R.,
 761 VIEIRA, A. G. T., ARAÚJO, M. L. M. Ocorrência e aspectos da biologia de *Urubitinga*
 762 *urubitinga* (Gmelin, 1788) em uma área de caatinga em Caetés - PE. **Congrebio**. 7, 306–311.
 763 2017.

764 SPENCE, H. R., Bioacoustic monitoring: Urgent challenges and opportunities on the
 765 Meso American Reef System. **Ocean. MTS/IEEE Charleston**, 2018. DOI:
 766 <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2018.8604744>.

767 SPERBER, A. L., WERNER, L. M., KAPPELER, P. M., FICHTEL, C. Grunt to
 768 go—Vocal coordination of group movements in redfronted lemurs. **Ethology**, 123,
 769 12, 894–905. DOI: <https://doi.org/10.1111/eth.12663>.

770 STEPHAN, C., ZUBERBÜHLER, K. Alarm Calling and Kinship. In:
 771 SHACKELFORD, T. K., WEEKES-SHACKELFORD, V. A. (eds) **Encyclopedia of**
 772 **Evolutionary Psychological Science**. Springer, Cham. 2021. DOI:
 773 https://doi.org/10.1007/978-3-319-19650-3_1512.

774 STREILEN, K. E. Ecology of Small Mammals in the Semiarid Brazilian Caatinga,
 775 Climate and faunal composition. **Annals of the Carnegie Museum of Natural History**.
 776 Pittsburgh. 51, 79-107, 1982.

777 STEVENSON, B. C., BORCHERS, D. L., ALTWEGG, R., SWIFT, R. J.,
 778 GILLESPIE, D. M., MEASEY, G. J. A general framework for animal density estimation from
 779 acoustic detections across a fixed microphone array. **Methods in Ecology and Evolution**. 6,
 780 38–48, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12291>.

- TABARELLI, M., LEAL, I. R., SCARANO, F. R., SILVA, J. M. C. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência & Cultura**. 70, 25–29. 2018. DOI: <https://doi.org/10.21800/2317-666020180004000097>.
- TASSO, M. A. L., CHANG, M. R. C. Análise erosional da Serra de Monte Alto entre Palmas de Monte Alto e Sebastião Laranjeiras, BA. Rev. **Acta Geográfica**. 7, 107–121, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5654/actageo2013.0714.0007>.
- THIRIAU, L. J. C., ZUBERBUHLER, C. C. K. Comprehension of own and other species' alarm calls in sooty mangabey vocal development. **Behavioral Ecology and Sociobiology**. 77, 56. 2023. DOI: 10.1007/s00265-023-03318-6.
- TIBBETTS, E. A., DALE, J. Individual recognition: It is good to be different. **Trends in Ecology and Evolution**. 22, 529–537. 2007.
- TORRES, R. R; LAPOLA, D. M; MARENGO, J. A; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3–4, p. 597–609, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0461-1>.
- VEHRENCAMP, S., RITTER, A. F., KEEVER, M., BRADBURY, J. Responses to Playback of Local vs. Distant Contact Calls in the Orange-Fronted Conure, *Aratinga canicularis*. **Ethology**. 109. 37 - 54. 2002. DOI: 10.1046/j.1439-0310.2003.00850.x.
- WEIR, B. S., COCKERHAM, C. C. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. **Evolution** 38:1358–1370, 1984.
- WASER, P. M.; BROWN, C. H. Habitat acoustics and primate communication. **American Journal of Primatology**, v. 10, n. 2, p. 135-154, 1986. DOI: 10.1002/ajp.1350100205.
- WILEY, R. H.; RICHARDS, D. G. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection. **Acoustic Communication in Birds**, v. 1, p. 131-181, 1982.
- WILSON, D. R. Animal Communication Theory: Information and Influence. **Current**

807 **History**. 114, 80. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1525/curh.2015.114.769.80>.

808 WREGE, P. H., ROWLAND, E. D., KEEN, S., SHIU, Y. Acoustic monitoring for
 809 conservation in tropical forests: examples from forest elephants. **Methods in Ecology and**
 810 **Evolution**. 8, 1292–1301. 2017. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12730>.

811 YOM-TOV, Y., BALABAN, A., HADAD, E., WEIL, G., ROL, U. The plight of the
 812 endangered mountain gazelle *Gazella gazella*. **Oryx**. 55, 71–8. 2021. DOI:
 813 10.1017/S003060531900108X.

814 ZOGNO, M. A., MIGLINO, M. A., OLIVEIRA, M. F. Análise bioquímica dos
 815 líquidos fetais e citologia do fluido amniótico da fêmea de Mocó (*Kerodon rupestris*).
 816 **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**. 41, 228–235. 2004. DOI:
 817 <https://doi.org/10.1590/s1413-95962004000400002>.

818 ZUBERBUHLER, K. Chapter 8 Survivor Signals: The Biology and Psychology of
 819 Animal Alarm Calling, Advances in the Study of Behavior. **Academic Press**. 40, 277-322.
 820 2009. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(09\)40008-1](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(09)40008-1).

821 ZUBERBUHLER, K. Referential labeling in diana monkeys. **Animal Behavior**. 59,
 822 917–927. 2000.

823

Capítulo I

824

825

826

827

828

829 **Indicadores vocais de bem-estar em mocós (*Kerodon rupestris*) de vida**

830 **livre**

831 (Será submetido a *Applied Animal Behaviour Science*)

Indicadores vocais de bem-estar em mocós (*Kerodon rupestris*) de vida livre

Resumo

O mocó está ameaçado pelas alterações antrópicas em seu habitat natural. Apesar de sua vulnerabilidade, pouco se sabe sobre como esse roedor responde aos impactos ambientais e como essas mudanças afetam sua comunicação acústica e bem-estar. Assim, afim de verificar se as características acústicas e a frequência de uso das vocalizações podem ser utilizadas como indicadores de bem-estar em vida livre, analisamos os chamados de mocós em quatro áreas com diferentes níveis de interferência antrópica. A pesquisa foi conduzida em duas unidades de conservação no estado da Bahia, Brasil, cujas áreas amostrais foram classificadas como menos afetadas por atividade humana (áreas 1 e 2) e mais afetadas (áreas 3 e 4). Os dados acústicos foram coletados pelo método *ad libitum* e analisados por meio do *software* Raven Pro. A análise de função discriminante (DFA) foi aplicada para classificar os tipos vocais, enquanto modelos lineares generalizados mistos e testes não paramétricos (X^2) avaliaram diferenças na quantidade e nos parâmetros acústicos das vocalizações em relação às áreas, valência emocional e excitação. Foram registrados 3.494 chamados, dos quais 2.671 (76,4%) foram validados pela DFA. O chamado *alarm whistle* foi emitido em todas as áreas, sendo mais frequente em contextos negativos ($X^2 = 978,26$, GL = 1, $P < 0,001$). Nas áreas menos afetadas, sua emissão foi inferior ao esperado, enquanto nas áreas mais afetadas foi maior ($X^2 = 324,50$, GL = 3, $P < 0,001$). O *fast alarm whistle* e o *scream* foram predominantes em estados de valência negativa nas áreas mais impactadas. Já o *slow whistle* apresentou emissão similar em todas as áreas ($X^2 = 4,73$, GL = 3, $P = 0,192$), mas o número de pulsos aumentou em contextos negativos ($F_{2, 25,27} = 3,87$, $P = 0,028$). Outros chamados, como o *snort* e o *snort-like*, foram emitidos por animais em estado de valência negativa e mais recorrentes em ambiente antropizado. Os resultados mostram que nos ambientes com maior interferência antrópica os mocós intensificaram do uso de vocalizações de alarme e agressividade. Adicionalmente, os resultados mostram que mocós em estado de valência negativa emitem um maior número de pulsos de *slow whistle*, revelando o potencial uso desse chamado como indicador de bem-estar para a espécie.

Palavras-chave: Bioacústica; Conservação; Estados afetivos, Etologia aplicada; Vocalização

Abstract

The rock cavy is threatened by anthropogenic changes in its natural habitat. Despite its vulnerability, little is known about how this rodent responds to environmental impacts and how these changes affect its acoustic communication and well-being. Therefore, to determine whether the acoustic characteristics and frequency of vocalizations can be used as indicators of well-being in free-ranging individuals, we analyzed the vocalizations of rock cavies in four areas with different levels of anthropogenic interference. The research was conducted in two conservation units in the state of Bahia, Brazil, where the sampling areas were classified as less affected by human activity (areas 1 and 2) and more affected (areas 3 and 4). Acoustic data were collected using the ad libitum method and analyzed with Raven Pro software. Discriminant function analysis (DFA) was applied to classify vocal types, while generalized linear mixed models and non-parametric tests (X^2) were used to assess differences in the quantity and acoustic parameters of vocalizations concerning the areas, emotional valence, and arousal. A total of 3,494 calls were recorded, of which 2,671 (76.4%) were validated by DFA. The alarm whistle call was emitted in all areas, being more frequent in negative contexts ($X^2 = 978.26$, $DF = 1$, $P < 0.001$). In less affected areas, its emission was lower than expected, while in more affected areas, it was higher ($X^2 = 324.50$, $DF = 3$, $P < 0.001$). The fast alarm whistle and scream calls were predominant in negative valence states in the most impacted areas. Meanwhile, the slow whistle was emitted similarly across all areas ($X^2 = 4.73$, $DF = 3$, $P = 0.192$), but the number of pulses increased in negative contexts ($F_2, 25.27 = 3.87$, $P = 0.028$). Other calls, such as snort and snort-like, were emitted by animals in negative valence states and were more frequent in anthropized environments. The results indicate that in environments with greater anthropogenic interference, rock cavies intensified the use of alarm and aggressive vocalizations. Additionally, the findings show that rock cavies in negative valence states emit a higher number of pulses in slow whistle calls, highlighting the potential use of this call as an indicator of welfare for the species.

Keywords: Affective states; Applied Ethology; Bioacoustics; Conservation; Vocalization.

1. Introdução

Pesquisas mostram que os parâmetros acústicos e a frequência de uso das vocalizações variam em função do contexto motivacional em que foram produzidos (Morton, 1977; August e Anderson, 1987; Manteuffel et al., 2004; Gogoleva et al., 2010). Esses estudos têm demonstrado eficácia no desenvolvimento de indicadores não invasivos de bem-estar a partir de variações nos parâmetros acústicos das vocalizações (Briefer et al., 2019; Herborn et al., 2020; Lima et al., 2022). A investigação dos parâmetros acústicos sob diferentes condições e na presença de diferentes ameaças revela que, em situações hostis, os animais tendem a emitir chamados mais longos, com frequências sonoras mais altas e maior quantidade de vocalizações de alarme, agonia e medo (Gogoleva et al., 2010; Briefer, 2012; Briefer, 2020). Essas alterações nos parâmetros acústicos e frequência de uso de chamados, podem refletir o estado afetivo do animal (Mendl et al., 2010; Briefer et al., 2019), revelando valência emocional positiva ou negativa, além de níveis de excitação alta ou baixa como resposta do animal ao contexto e qualidade do ambiente em que se encontra (Russel, 2003; Manser, 2010; Mendl et al., 2010). A ideia principal é que para garantir o bem-estar dos animais, é essencial entender seus estados emocionais, que são classificados conforme sua valência (positiva ou negativa) (Mendl et al., 2010). Compreender essas emoções permite avaliar se os animais estão bem ou passando por algum sofrimento e, assim, inferir sobre seu estado de bem-estar. O uso da bioacústica tem se mostrado, portanto, ser uma técnica promissora para monitorar a qualidade do ambiente e avaliar o bem-estar dos animais (Briefer et al., 2015; Jorge et al., 2018; Lima et al., 2022; Lima et al. 2023). Essa abordagem permite analisar fatores de risco e compreender as relações entre a emissão de sons e a qualidade ambiental, denotando possíveis comprometimentos do bem-estar animal (Manteuffel et al., 2004; Briefer, 2012).

O conhecimento sobre o bem-estar de animais em vida livre (Browning e Veit, 2021) ainda tem sido pouco explorado (Hill e Broom, 2009). Estudos recentes têm contribuído para avanços na área, com destaque para práticas voltadas à avaliação das condições de vida de animais selvagens em seus habitats naturais (JWD Wildlife Welfare Supplement Editorial Board, 2016; Harvey et al., 2020). Protocolos específicos, como os desenvolvidos para avaliar o bem-estar de cavalos selvagens em vida livre, oferecem ferramentas importantes para a análise de aspectos relacionados à saúde e comportamento (Harvey et al., 2020). Esses avanços estimulam investigações mais detalhadas sobre emoções em espécies específicas, como os roedores, ampliando a compreensão sobre os indicadores de bem-estar animal. Foi observado, por exemplo, que há variações nas vocalizações de alarme do mocó (*Kerodon rupestris*) em ambientes com diferentes níveis de impacto antrópico (Almeida, 2021), sugerindo uma relação entre a qualidade ambiental, o estado emocional e a variação nos parâmetros acústicos emitidos por essa espécie em vida livre. O mocó, é um roedor endêmico do semiárido brasileiro que está classificado como vulnerável, com alerta para o declínio populacional na lista de espécies brasileiras ameaçadas de extinção (ICMBio, 2018b; MMA, 2022). Esta classificação se dá em decorrência da perda e fragmentação de habitat e a caça (Costa et al., 2005; ICMBio, 2018a). A espécie vive em grupos sociais nas áreas rochosas da caatinga e utiliza o canal acústico como principal meio de comunicação (Lacher, 1981). O repertório acústico da espécie inclui 11 tipos de vocalizações, que são classificadas conforme o contexto de emissão: chamados de contato e coesão (*contact call*, *slow-whistle*), regulação social (*whine*, *peepy-squeak*, *yelp*), agressividade e dominância social (*purr*, *snort/nasal hiss*, *growl*), alarme ou intimidação (*alarm whistle*, *drrrr*), e sinais mecânicos, como *drumming* e *teeth-chattering* (Monticelli e Alencar-Junior, 2021). A dificuldade de acesso às áreas onde o mocó habita, limita a compreensão sobre como essa espécie está

949 lidando com as constantes alterações ambientais e de que maneira tais impactos
950 antrópicos influenciam seu *fitness*, bem-estar e comunicação acústica. Assim, o estudo
951 dos parâmetros acústicos emitidos nas vocalizações do mocó em diferentes contextos da
952 vida livre, pode ser um facilitador para o desenvolvimento de indicadores de bem-estar
953 não invasivos para a espécie, além de auxiliar em estratégias de manejo e conservação
954 para monitorar os efeitos antropogênicos nas populações desta espécie. Dessa forma, o
955 objetivo do estudo foi analisar as vocalizações emitidas por mocós selvagens em áreas
956 sob diferentes níveis de impacto antrópico, para verificar se há características acústicas
957 que podem ser utilizadas como indicadores de bem-estar nesta espécie.

958 Em situações hostis é esperado aumento na duração dos chamados, elevação de
959 frequências sonoras em chamados de alarme (Almeida, 2021) e maior quantidade dessas
960 vocalizações, que são fatores associados a estados emocionais negativos e alta excitação
961 (August e Anderson, 1987; Briefer, 2020). Nesse sentido, nas áreas com maior impacto
962 antrópico, prevemos que os mocós experimentem com mais frequência contextos que
963 induzam a um estado de valência negativa e de alta excitação, e consequentemente,
964 emitam chamados de alarme e de agressividade com mais frequência. Já em áreas de
965 menor impacto humano, espera-se que esses chamados ocorram com menor frequência,
966 refletindo um estado emocional mais equilibrado e menos afetado por ameaças
967 ambientais (Gogoleva et al., 2010; Briefer, 2012; Lima et al., 2022). Desta forma, com
968 base em estudos anteriores, que identificaram variações acústicas devido ao ambiente e
969 estado motivacional dos animais (*Kerodon rupestris*, Almeida, 2021; *Cuniculus paca*,
970 Lima et al., 2022), esperamos encontrar variações nos parâmetros acústicos de frequência
971 mínima, máxima e dominante, duração, intervalo entre pulsos e número de pulsos em
972 função do estado afetivo dos mocós.

2. Material e Métodos

2.1 Nota ética

Esse estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais em experimentação da Universidade Estadual de Santa Cruz (CEUA-UESC) (#021/21) e licenciado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (#80143-1) e Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) (#24.230 #26.010).

2.2 Área de estudo e animais

O estudo foi realizado com animais de vida livre que habitam duas unidades de conservação (UCs), o Parque Estadual da Serra dos Montes Altos (PESMA) e Refúgio de Vida Silvestre da Serra dos Montes Altos (REVISMA) (Figura 1), que são interligadas e cobrem uma área estimada em 45.990 hectares no centro-sul do estado da Bahia-Brasil (latitudes 14°16' e 14°39'S e longitudes 42°46' e 43°46'O). Essas UCs fazem parte de região semiárida brasileira (temperatura média entorno de 25°C), e apresentam índice pluviométrico médio anual de 694mm (INMET, 2023). As UCs integram uma área de ecótono, marcada pela transição de fitofisionomias de caatinga herbácea à arbórea, cerrado, campos rupestres e matas de galeria (Freire e Silva, 2019) e apresenta relevo caracterizado pela presença de pediplano sertanejo, serras centrais do planalto espinhaço e depressão do rio São Francisco (Tasso e Chang, 2013).

Dentro do PESMA e REVISMA foram selecionadas quatro áreas amostrais distintas (Áreas 1, 2, 3, 4) com diferentes níveis de interferência antrópica, uma situada nos limites do parque (A1: 3.189 m² coordenada central (CC) 14°24'10"S 42°58'47'O) e as demais (A2: 3.285 m² CC: 14°27'22"S 42°55'08"O; A3: 2.955 m² CC: 14°26'53"S 42°55'11"O; A4: 3.036 m² CC: 14°18'19"S 43°05'30"O) localizadas no refúgio (Figura 1). Para a determinação das áreas amostrais foram realizadas 12 expedições a campo

distribuídas nos meses de dezembro (2021) e janeiro (2022), com busca direta e indireta (vestígios) dos animais, e consulta de literatura (Barros e Almeida, 2018; Almeida, 2021) acerca da ocorrência de *K. rupestris* para a área de estudo. Além disso, levamos em consideração as informações fornecidas pelos guardas das UCs que monitoram a segurança do local, visualizam os grupos de mocó em determinadas áreas e nos informaram sobre a acessibilidade e condições ambientais.

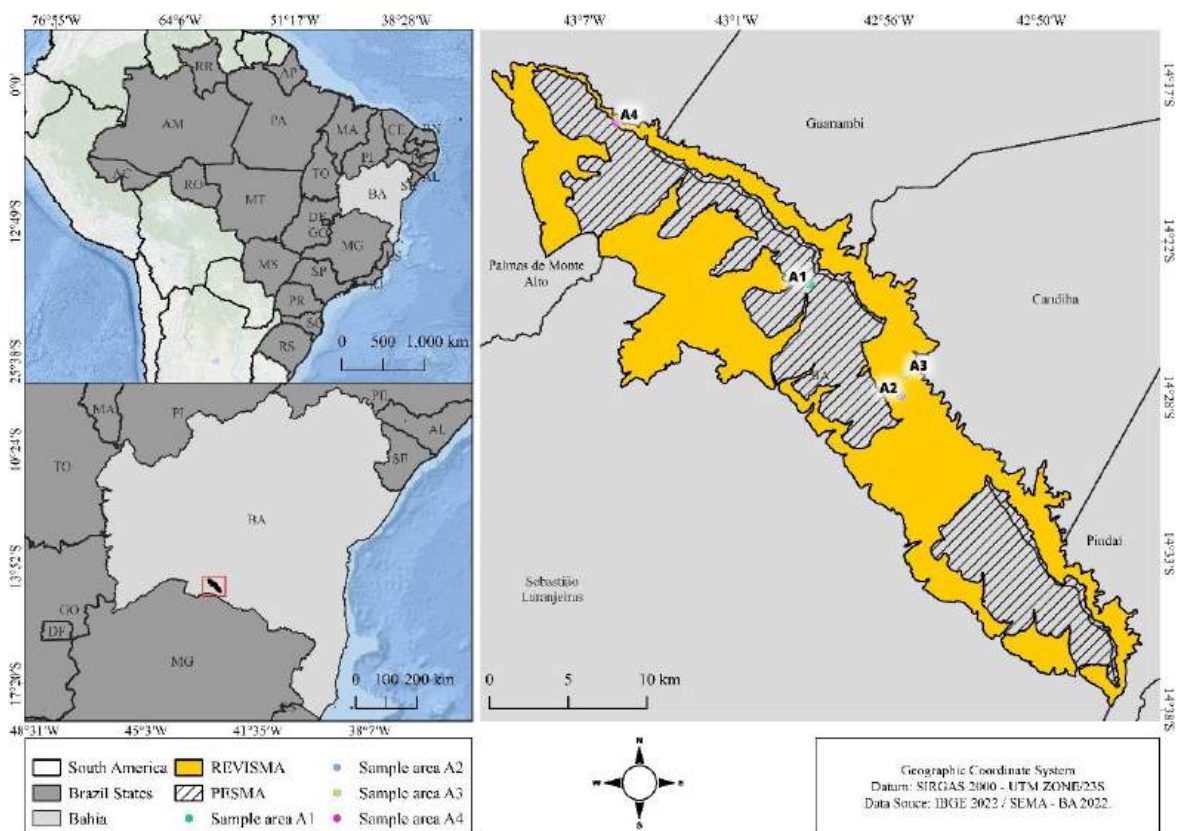


Figura 1: Localização das áreas de estudo

A área 1 foi estimada como uma das áreas menos perturbadas nesse estudo, pois é distante da área urbana (5,3 km), de difícil acesso e sem a ocorrência direta de humanos ou indícios (cercas, bebedouros, animais domésticos, resíduos sólidos urbanos) que sugerem atividade humana nessa área. A área 2 localiza-se em local de valor histórico para a Serra dos Montes Altos, por possuir pinturas rupestres que atraem visitas de turistas e pesquisadores. Esta área é visitada regularmente pelos guardas das UCs, o que a torna um local seguro (sem caça) para os animais e sem indícios de degradação

1014 ambiental ou características de alterações antrópicas. Esta área é de difícil acesso e,
1015 portanto, recebe visitantes e pesquisadores esporadicamente, o que a torna também uma
1016 das áreas menos afetadas nesse estudo. As áreas 3 e 4 possuem maior interferência
1017 antrópica, pois são de acesso relativamente fácil em relação às demais áreas (1 e 2) e
1018 possuem características que as tornam mais hostis a vida animal em relação a
1019 sobrevivência e bem-estar. A área 3 localiza-se à 503 m de distância de uma estrada com
1020 possibilidade de tráfego de veículos que ocasionalmente geram perturbação sonora.
1021 Foram registrados sons entre 75dB a 105dB durante a passagem dos veículos. A área 4
1022 está localizada à 1.8 km de distância de habitações humanas rurais e em local com
1023 atividades de agricultura e pecuária, conseqüentemente, há presença de transeuntes que
1024 desempenham funções de pastoreio e plantio. Nesta área os grupos sociais de mocó
1025 compartilham o espaço com animais de produção que transitam nos afloramentos
1026 rochosos e recursos, oriundos da produção pecuária, tais como bebedouros e cochos com
1027 sal e ração (observação pessoal). Na área 4 foi observado indício de leve desmatamento,
1028 com a poda de árvores para o processamento de madeira e também descarte de resíduos
1029 sólidos urbanos. Nas áreas 3 e 4 há cercas e poços artesianos com rede de distribuição de
1030 água para moradores próximos, o que gera fluxo de humanos para manutenção do
1031 equipamento utilizado neste processo. Adicionalmente, nessas áreas há ocorrência de cães
1032 domésticos que predam ou afugentam os mocós, o que pode contribuir para um bem-estar
1033 negativo para esse roedor. No entanto, apesar das diferenças, as quatro áreas amostrais
1034 possuem características naturais de vegetação e paisagem similares, com a predominância
1035 de estratos de vegetação arbustiva e herbácea típicos de caatinga, compostos por galhos
1036 secos e plantas espinhosas, cobertura vegetal geral do tipo formação savânica
1037 (Mapbiomas, 2022), presença de grandes rochedos e pedologia do tipo neossolo litólico
1038 distrófico e latossolo vermelho-amarelo distrófico (Embrapa, 2022), apresentam dados de

hipsometria similares que variam entre 750 m a 1.150 m (USGS, 2022) e não possuem indícios de queimadas atuais ou outras alterações antrópicas severas na paisagem.

Para identificar possíveis ameaças aos mocós e caracterizar a fauna de predadores nas áreas estudadas utilizamos de armadilhamento fotográfico (três da marca Bushnell modelo 119436, duas de marca Suntek modelo hc-300A e uma Suntek modelo hc-550A). As câmeras foram instaladas aos pares, em posição frontal, a uma altura de 30 a 50cm em relação ao solo, ou sobrepostas sobre o nível do solo e sobre árvores (câmeras não pareadas). Foram programadas em modo vídeo com disparos ocasionados por via de sensor de movimento-temperatura, com tempo de gravação de um minuto (30 segundos de intervalo entre os registros). As câmeras permaneceram em funcionamento 24h/dia (janeiro a dezembro/2022), salvo os dias destinados a manutenção e troca entre as áreas amostrais. Cada área amostral abrigou as câmeras por aproximadamente 40 dias não consecutivos, sendo feita a troca entre áreas semanalmente. Na área 1 foram registradas as espécies Irara (*Eira barbara*), onça parda (*Puma concolor*) e o lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) que podem ser predadores naturais do mocó em vida livre. Na área 2 não ocorreram registros de predadores por câmeras trap, mas a partir de observação direta foi visualizada ave de rapina (possível *Caracara plancus*) sobrevoando os afloramentos rochosos e afugentando os mocós. Na área 3 obtivemos os registros das espécies mesopredadoras jaguatirica (*Leopardus pardalis*), gato-do-mato (*L. tigrinus*) e cachorro-do-mato (*Cerdocyon thous*). Na área 4, por visualização direta em campo foram observadas as espécies *L. pardalis* (também registrada em vídeo) e ave de rapina (possível *C. plancus*).

Neste estudo consideramos um grupo social de mocó, os indivíduos que viviam em um único afloramento rochoso. Desta forma, foram coletados dados a partir de quatro grupos sociais de mocó por cada área amostrada, totalizando 16 grupos investigados.

Cada grupo possuía em média 21 ($\sigma_{\bar{x}} = 0,34$) indivíduos, estimados a partir da observação direta dos mocós que habitavam cada afloramento rochoso. A contagem dos mocós ocorreu durante todo o período amostral a partir da visualização de todo o conjunto de indivíduos, à olho nú e com uso de binóculo (Urban gate model 80x80). Para essa estimativa conservadora consideramos o maior número de indivíduos visualizados de uma só vez no afloramento rochoso em cada expedição.

2.3 Coleta de dados

As vocalizações e os comportamentos associados foram coletados simultaneamente pelo método *ad libitum* (Altmann, 1974) por um observador (WN) que registrou os comportamentos associados às emissões sonoras, e um auxiliar de campo que registrou as vocalizações utilizando um gravador acústico (detalhes abaixo). As coletas abrangeram o período de janeiro a dezembro de 2022, sendo realizadas 84 expedições a campo (A1:22, A2:20, A3:19, A4:23). Para preservar a homogeneidade de observações e impedir influências em relação à variação temporal e climática, as expedições aconteceram de forma intercalada entre as áreas, garantindo que em cada mês as quatro áreas fossem amostradas. Para determinação do horário de coletas estimamos o período (diurno ou noturno) de maior atividade dos mocós para as áreas amostrais, pois na literatura há divergência entre o período de maior atividade (dia ou noite) (Lacher, 1981; Mares et al., 1981; Delciellos, 2016; Dias et al., 2018). Para essa estimativa, durante o período piloto do estudo (dezembro/2021 a meados de janeiro/2022), além das observações diretas dos animais em campo, instalamos as seis câmeras trap citadas acima, que permaneceram ativas em campo durante 48 dias (12 dias para cada área amostral, com três dias por cada grupo investigado). As câmeras foram programadas em modo vídeo (um minuto de gravação com intervalo de 30 segundos entre os registros), com disparos via sensor de movimento-temperatura, instaladas aos pares e mantidas em

funcionamento 24 h/dia. No total obtivemos 189 registros de mocós, com 81% dos registros capturados entre os horários de 06h00 às 18h00, o que sugere maior atividade diurna dos mocós para as áreas estudadas. Diante disso, as coletas foram feitas entre 06h00 e 17h00, totalizando aproximadamente 920 horas de período amostral para coleta de registros acústicos e comportamentais de mocó.

Os sinais acústicos foram obtidos a partir de gravador portátil digital (modo mono, formato WAV, taxa de amostragem 48 kHz e resolução de 24-bits), marca Tascam modelo DR-44WL (Tóquio, Japão), acoplado a um microfone unidirecional Sennheiser MKE 600 (Wedemark, Germany). Para não perder o início da emissão sonora dos animais utilizamos a função “pré rec” em 5s, o que garantiu o registro prévio da vocalização antes de ser acionada a função de gravação. Assim, quando os mocós vocalizavam, o gravador era acionado manualmente pelo auxiliar de campo sendo mantida a gravação até finalizar qualquer emissão sonora do animal. Dessa forma, o gravador era colocado em modo de espera somente após o animal finalizar a vocalização.

Para coleta de dados, foram selecionados quatro postos por cada afloramento rochoso amostrado, onde o observador e seu auxiliar posicionavam-se sobre árvores e rochas elevadas, o que garantiu um distanciamento de três a seis metros em relação aos animais amostrados e possibilitou o avistamento dos comportamentos associados às vocalizações. A escolha dos postos ocorreu durante o período piloto, com base no avistamento dos mocós nas rochas, dos pontos de latrina e da aproximação de possíveis postos de coleta em relação as fendas de rochas com espaçamento $\geq 0,2$ m e profundidade ≤ 1.5 m, o que possibilitou a visualização dos comportamentos associados à emissão sonora dos mocós nesses locais utilizados para refúgio e nidificação. A identificação do sexo dos animais foi realizada a partir da visualização do aparelho genital do animal no momento do registro acústico e comportamental. Nos momentos em que o indivíduo

amostrado se distanciava dos pontos de observação, seu aparelho genital foi observado com o auxílio de um binóculo. Quando a identificação do sexo não foi possível ou duvidosa, o animal foi registrado na categoria de sexo não identificado. A classificação de faixa etária ocorreu com base na observação do tamanho dos indivíduos, pois adultos e filhotes são facilmente distinguíveis em relação ao tamanho corporal (Conceição e Bocchiglieri, 2021).

A habituação dos animais em relação a presença dos pesquisadores aconteceu durante o período piloto. Neste período, foi registrada uma diferença entre as áreas quanto ao tempo de espera para que os animais retornassem às suas atividades gerais após a ocupação dos postos de observação pelos pesquisadores. Acreditamos que essa diferença seja devido a habituação prévia dos animais à presença de humanos nas áreas mais afetadas (áreas 3 e 4). Diante disso, antes de iniciar a coleta de dados, aguardava-se o tempo médio de espera registrado em cada área (A1: 50min, $\sigma_{\bar{x}}$ 3,17 A2: 52min, $\sigma_{\bar{x}}$ 2,17 A3: 37min, $\sigma_{\bar{x}}$ 1,54 A4: 30min, $\sigma_{\bar{x}}$ 1,93). Durante o período de coleta de dados foi possível observar uma diminuição do tempo médio de espera para que os animais retornassem as suas atividades (A1: 44min, $\sigma_{\bar{x}}$ 0,96 A2: 46min, $\sigma_{\bar{x}}$ 0,81 A3: 32min, $\sigma_{\bar{x}}$ 0,58 A4: 28min, $\sigma_{\bar{x}}$ 0,70).

Até o momento, não há dados sobre a associação entre emoções e bem-estar para *K. rupestris*. Diante disso, consideramos que a valência das condições registradas foi positiva e de alta excitação (muito movimento do corpo) quando observadas por condições naturais em campo (alimentação, forrageio e brincadeira), sem a presença de ameaças ou interações agonísticas. A valência foi considerada negativa e de alta excitação quando havia comportamentos agonísticos e risco de ameaça (presença de humanos e predadores). Pensando na dimensão das valências (positiva/negativa) e excitação (alta/baixa); a valência e excitação neutras foram consideradas quando os animais

estavam em repouso (parado sobre uma rocha ou solo), sem a presença de ameaças ou perturbação antrópica. Como trata-se de um estudo com animais em vida livre essas condições foram manifestadas livremente em campo sem nenhum tipo de interferência direta dos pesquisadores.

2.4 Análise acústica

Para decifrar padrões espectros-temporais, avaliar as similaridades entre os diferentes sons e criar espectrogramas e oscilogramas, as emissões sonoras vocais de *K. rupestris* foram inspecionadas aural e visualmente em computador portátil Vostro 5320 (Dell Technologies, Texas, EUA) acoplada à Interface de áudio Tascam Lineup US-16x08 (Tóquio, Japan) e par de monitores de referência de áudio (Yamaha Hs8, Japan) com frequência de resposta 38Hz ~ 30KHz (-10dB) / 47Hz ~ 24KHz (-3dB), a partir do Software Raven Pro versão 1.6 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY) usando as configurações: janela tipo Hann, tamanho da janela 1351 amostras, 90% de sobreposição no domínio do tempo, e tamanho de DFT 4096. A menor unidade vocal dos chamados foi denominada pulso, definido na literatura também como elemento, nota ou sílaba, classificada como um som contínuo e sem interrupções internas (BARROS et al., 2010). Para cada pulso (elemento, nota, sílaba) foram medidas os seguintes parâmetros acústicos: frequência mínima (Hz), frequência máxima (Hz), frequência dominante (Hz), duração (s), 1º e 3º quartil (faixas de frequências de 25% e 75%) (Hz), frequência delta (Hz), amplitude mínima, média e máxima (dB), entropia agregada, média e máxima (bits), energia (dB), densidade de potência (dB), intervalo entre pulsos (s) e número de pulsos. Esses parâmetros acústicos foram escolhidos pela possibilidade de expressarem variações em razão da relação entre a condição ambiental, contexto de emissão e estado emocional dos animais (Briefer, 2012; Lima et al., 2022).

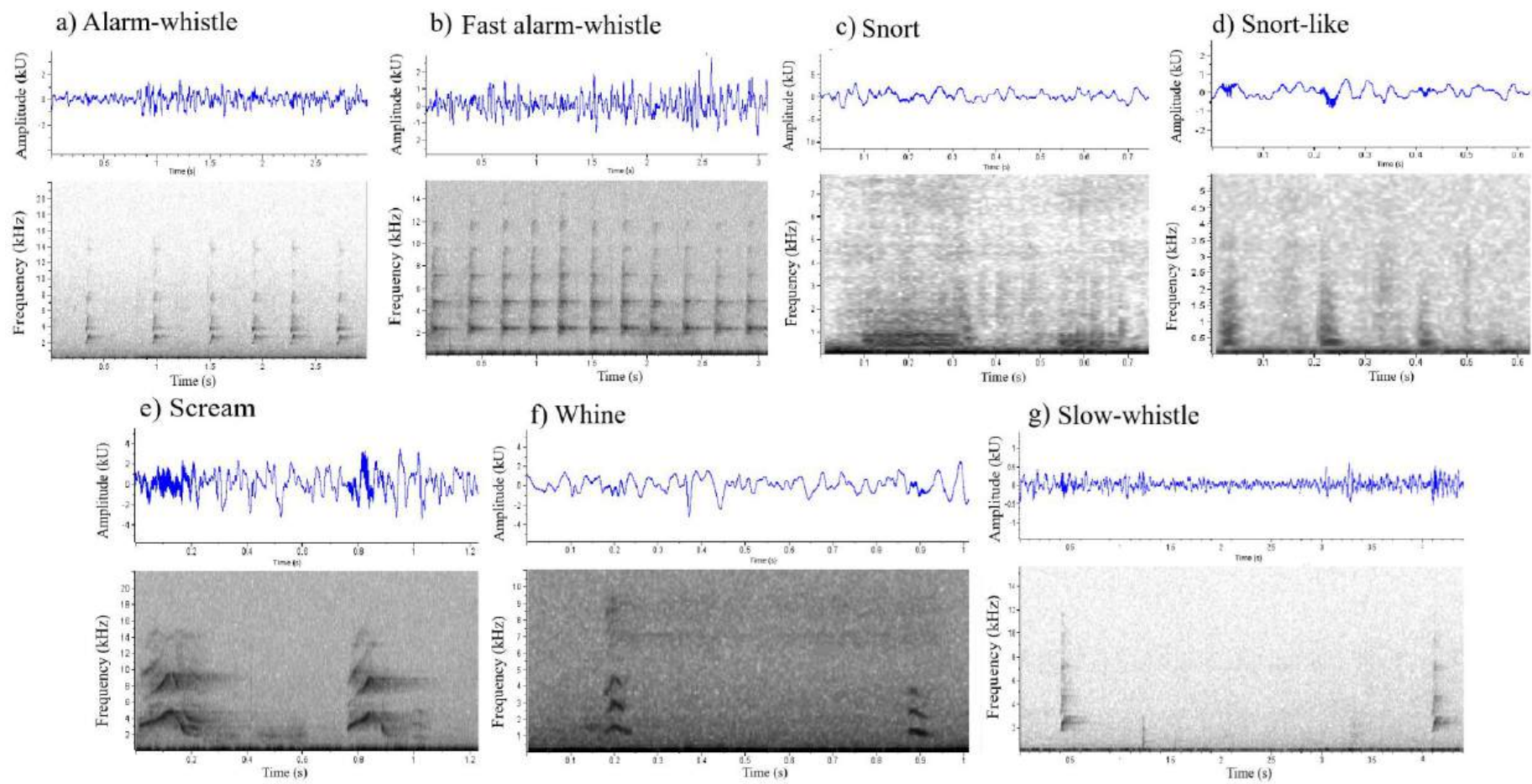
2.5 Análise de dados

1164 Para testar a classificação dos diferentes tipos de vocalizações emitidas pelos
1165 mocós, inicialmente categorizados pela inspeção aural e visual, foi aplicada a análise de
1166 função discriminante (DFA) dos parâmetros acústicos (ver sessão 2.4), usando o teste de
1167 validação cruzada. Para avaliar as diferenças nas quantidades de vocalizações conforme
1168 as áreas do estudo e a valência emocional, foram aplicados testes não paramétricos (X^2).
1169 Para verificar as diferenças nos parâmetros acústicos dos chamados emitidos pelos mocós
1170 em relação às áreas do estudo, valência e nível de excitação, utilizou-se o modelo linear
1171 generalizado misto (GLMM), aplicando-se um modelo para cada parâmetro (frequência
1172 mínima, máxima e dominante, duração do pulso, intervalo entre pulsos e número de
1173 pulsos), seguido por testes *post hoc* de *Tukey* quando apropriado. Esses parâmetros foram
1174 selecionados devido à sua relevância para estudos de emoção animal (Briefer, 2012; Lima
1175 et al., 2022) e pela presença de variação em alguns deles em mocós que habitam áreas
1176 com diferentes níveis de impacto antrópico (Almeida, 2021). Nos modelos, a valência
1177 (negativa, neutra e positiva) e o nível de excitação (baixo, neutro e elevado) foram
1178 considerados fatores fixos, e a identidade dos indivíduos foi incluída como fator aleatório,
1179 devido às observações repetidas dos mesmos mocós. Os resíduos dos modelos foram
1180 checados visualmente para verificação da distribuição normal e homocedasticidade. Para
1181 a escolha dos modelos que apresentaram melhor qualidade no ajuste de dados
1182 (comparando-se quando usada a valência ou a excitação como fator fixo) foram usados
1183 como critérios os modelos que apresentaram maior valor de Coeficiente de Determinação
1184 (R^2) e menores valores tanto para o Critério de Informação de Akaike Corrigido (AICc)
1185 quanto o Critério de Informação Bayesiano (BIC). As análises estatísticas foram
1186 conduzidas usando o programa Minitab (v. 21.4.3), com nível de significância definido
1187 em $\alpha < 0,05$.

3. Resultados

3.1 Classificação dos chamados

Foram registrados 3.494 chamados emitidos por mocós nas quatro áreas amostrais. Por meio da inspeção aural e visual (IAV) os chamados foram classificados em sete tipos de vocalizações (Figura 2), os quais foram emitidos em contextos distintos (Tabela 1). Contudo, por meio da análise de função discriminante (DFA) dos parâmetros acústicos e o teste de validação cruzada, houve a classificação correta de 2.671 (76,4%) dos chamados (Tabela 2). Na Tabela 3 (ver apêndices) estão apresentados os parâmetros acústicos dos chamados emitidos pelos mocós após as correções na classificação.



1197

1198 Figura 2: Representações dos oscilogramas e espectogramas das vocalizações do mocó.

- 1199 Tabela 1: Descrição do contexto de emissão e da categoria comportamental dos chamados do mocó associados a faixa etária (A: adultos e Fi:
1200 Filhotes) e sexo (M: macho, F: fêmea e NI: não identificado) dos emissores.

Vocalização	Faixa etária e Sexo	Categoria Comportamental	Contexto de emissão
<i>Alarm whistle</i>	A, F, M	Alarme	Chamado emitido por indivíduo em contexto de ameaça. Foram registrados principalmente por mocós expostos a humanos, predadores naturais (mamíferos carnívoros e aves de rapina) e cães. O animal posiciona-se em alerta, parado sobre rocha ou solo, com o corpo inclinado a 90° graus, cabeça para frente e vocaliza.
		Agonística	Chamado emitido durante conflito entre coespecíficos fora das fendas das rochas. O indivíduo fica parado em postura de enfrentamento e vocaliza até o início das agressões.
<i>Fast alarm whistle</i>	A, F, M	Alarme	Chamado estruturalmente similar a vocalização <i>alarm whistle</i> . Emitido em situação de perigo eminente, na presença e proximidade (< 25 m) de predador de grande potencial de caça. O animal em postura de alerta, parado sobre rocha ou solo, com o corpo inclinado a 90° graus, cabeça para frente e vocaliza.
<i>Slow whistle</i>	A, F, M	Contato	Chamado emitido durante atividades de forrageio em grupo ou individual, ou logo após o animal sair da fenda da rocha (refúgio e ninho). Foi registrado também em momentos anteriores ao aparecimento (> 25 m) de possíveis ameaças (humanos e cães).
<i>Snort</i>	A, F	Agonística	Chamado emitido anterior a um ataque por coespecífico. O indivíduo emissor assume postura de submissão, com a cabeça baixa e levemente direcionada para o agressor, permanece parado e vocaliza segundos antes de ser agredido e expulso da loca (fenda) da rocha.
<i>Snort-like</i>	A, F, M	Agonística	Chamado emitido durante contextos de agressão e enfrentamento entre coespecíficos

dentro da fenda da rocha. O emissor assume postura de enfileiramento, com a cabeça para frente e direcionada para o confrontante e vocaliza. Nesse contexto, o indivíduo emissor pode sofrer ou investir em ataque, afugentar o confrontante ou partir em fuga (anterior ou após o ataque).

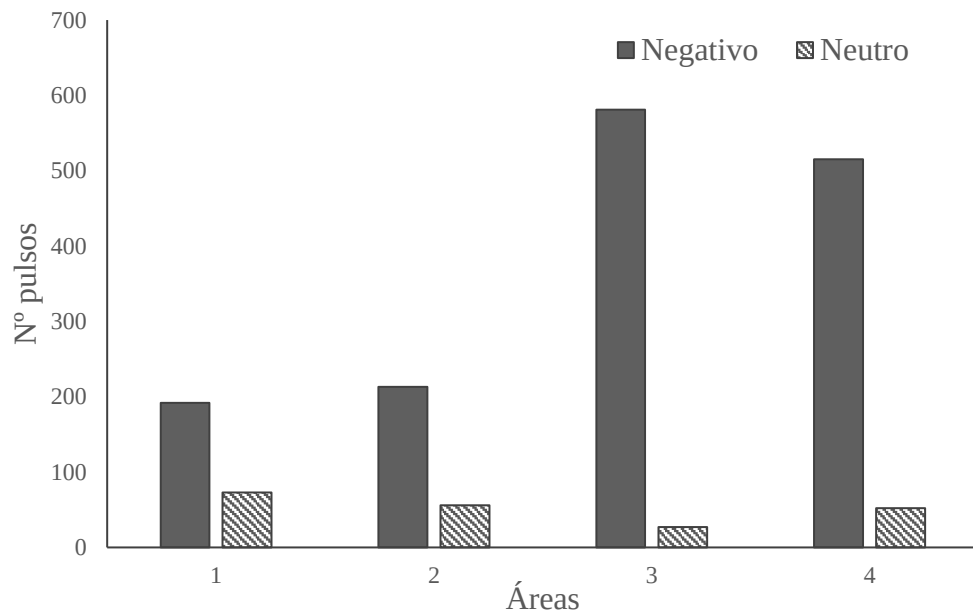
<i>Whine</i>	Fi, NI	Contato	Chamado emitido por indivíduo isolado do grupo. O animal parado sobre o solo ou rocha, com a cabeça levemente erguida acima do corpo, a movimenta de um lado para o outro e vocaliza.
<i>Scream</i>	A, NI	Dor	Chamado emitido por indivíduo em contexto de predação. Após ser capturado e mordido por interespecífico (cão), o emissor permanece imóvel com a cabeça direcionada para o interespecífico e vocaliza.

Tabela 2. Classificação dos chamados emitidos pelos mocós nas quatro áreas do estudo por meio da inspeção aural e visual (IAV) e pela análise de função discriminante (DFA) com teste de validação cruzada e proporções de classificações corretas (PCC).

Chamado	IAV	DFA	PCC
<i>Alarm whistle</i>	2382	1707	71,7
<i>Fast alarm whistle</i>	197	175	88,8
<i>Scream</i>	24	18	75,0
<i>Slow whistle</i>	267	196	73,4
<i>Snort</i>	55	55	100
<i>Snort-like</i>	557	511	91,7
<i>Whine</i>	12	9	75,0

3.2. Descrição das emissões de vocalizações de alarme

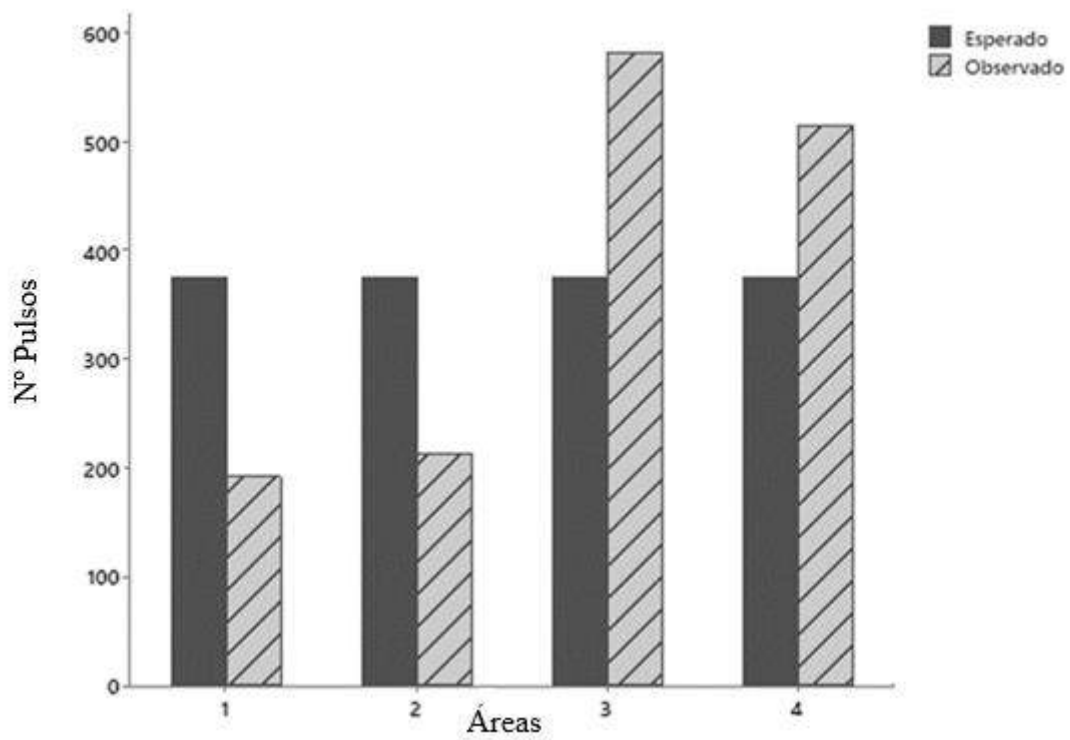
O chamado *alarm whistle* foi emitido pelos mocós de todas as áreas do estudo, tanto em contextos negativos, nos quais observou-se a presença de predadores, quanto em contextos neutros, nos quais não foi visualizado ameaça aparente e o animal estava em repouso. No entanto, este chamado foi emitido mais vezes em situações de estado afetivo negativo do que neutro ($X^2 = 978,26$ GL = 1, $P < 0,001$, Figura 3). Adicionalmente, em situações de valência negativa, nas áreas 1 e 2 o chamado *alarm whistle* foi emitido menos do que o esperado, enquanto nas áreas 3 e 4 a emissão deste chamado ocorreu mais do que o esperado ($X^2 = 324,50$, GL = 3, $P < 0,001$, Figura 4a). Por sua vez, em situações de valência neutra, nas áreas 1 e 2 o chamado *alarm whistle* foi emitido mais do que o esperado, enquanto nas áreas 3 e 4 a emissão deste chamado ocorreu menos do que o esperado ($X^2 = 20,80$, GL = 3, $P < 0,001$, Figura 4b).



1218

1219 Figura 3. Emissões de *alarm whistle* por mocós nas quatro áreas do estudo de acordo com
 1220 o contexto de estado afetivo (valência negativa x valência neutra).

1221 a)



1222

1223 b)

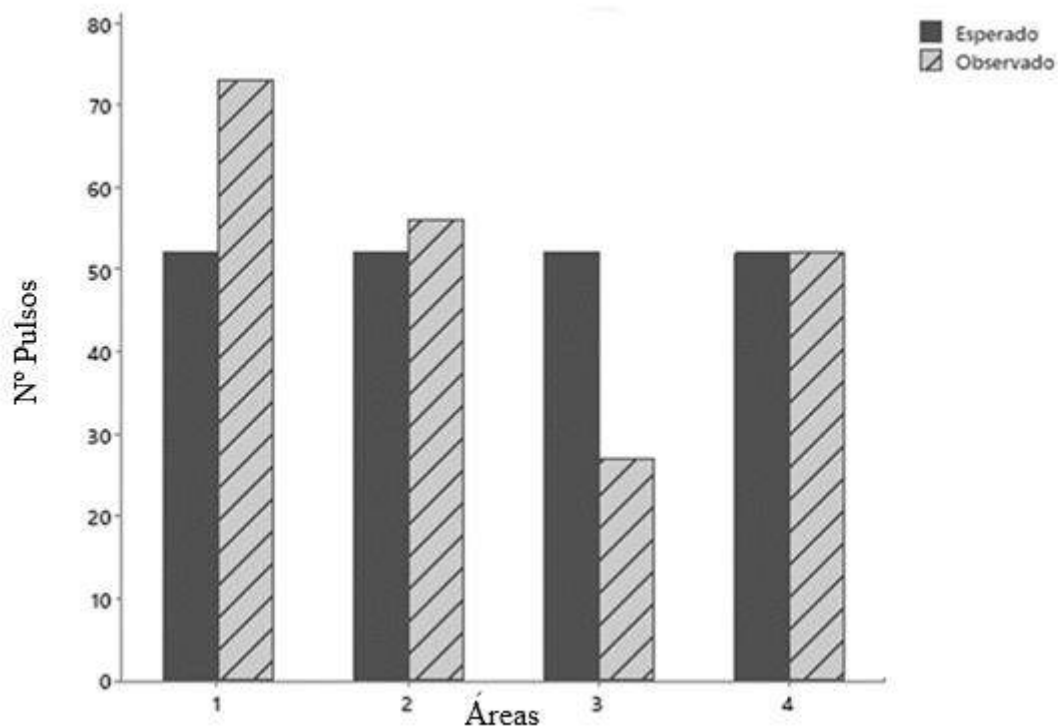


Figura 4. Emissões do chamado *alarm whistle* por mocós nas quatro áreas do estudo em contexto de (a) valência negativa e (b) valência neutra.

O chamado *fast alarm whistle* foi emitido pelos mocós apenas nas áreas 3 e 4 e em situação de valência negativa e alta excitação. A emissão desse chamado ocorreu mais vezes na área 4 do que na área 3 ($X^2 = 17,85$ GL = 1, $P = 0,001$, Figura 5). Na área 3 o chamado *fast alarm whistle* foi emitido 60 vezes apenas por um macho adulto, enquanto na Área 4 foi emitido 115 vezes por duas fêmeas adultas.

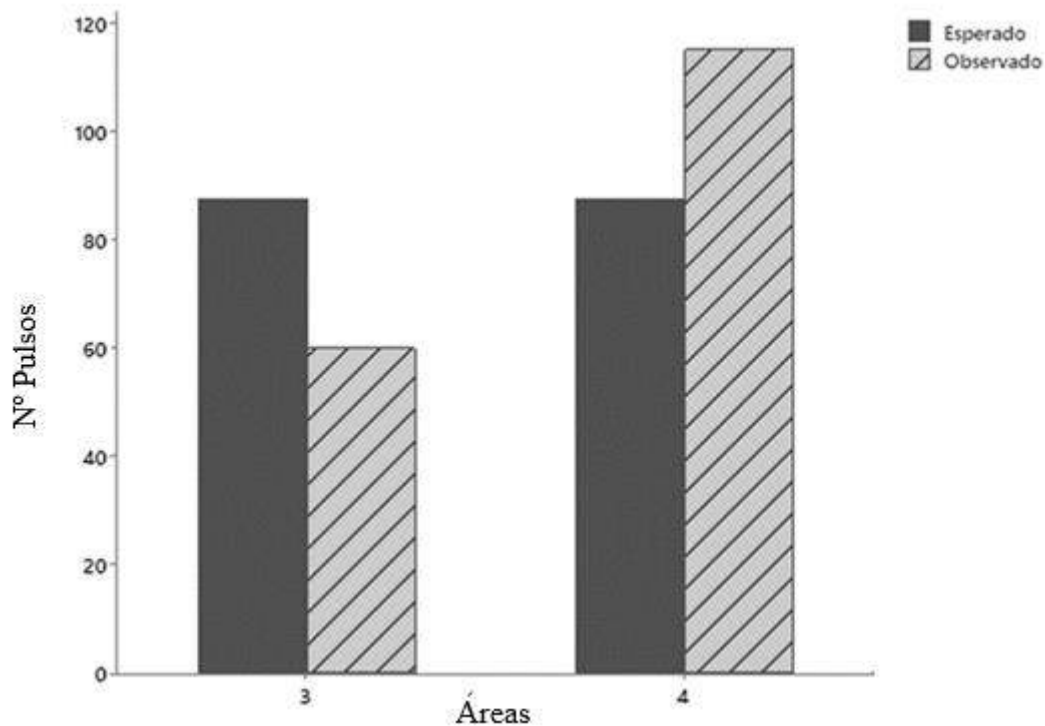


Figura 5. Emissões do chamado *fast alarm whistle* por mocós nas áreas 3 e 4 em contexto de valência negativa e alta excitação.

3.3. Descrição das emissões e parâmetros acústicos dos demais chamados do mocó

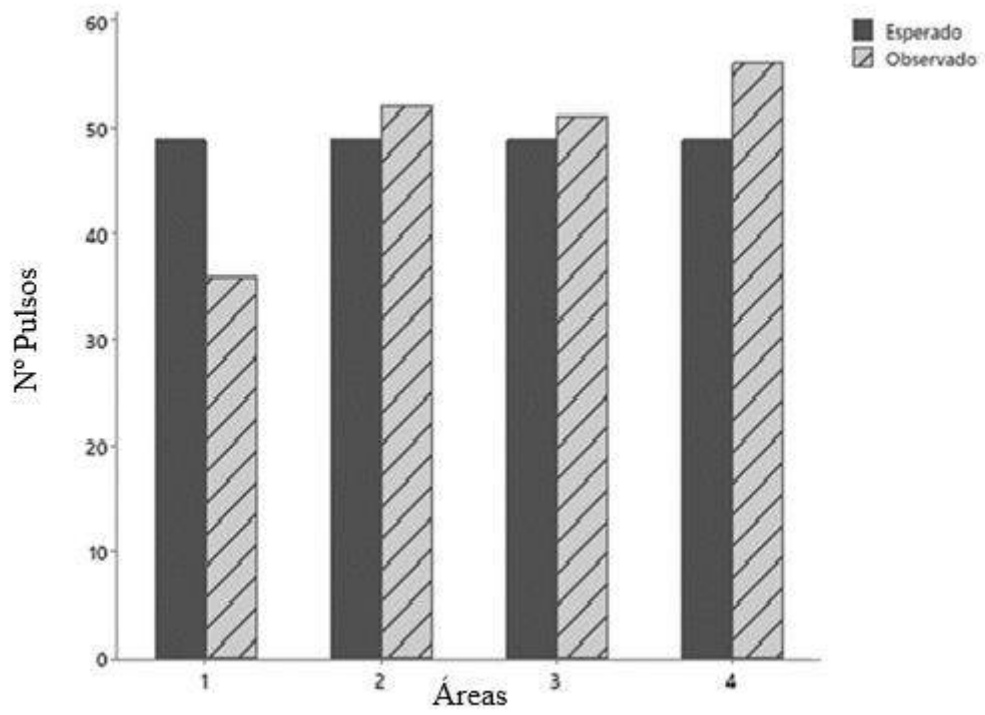
Após as correções realizadas pela DFA, constatou-se que o chamado *scream* foi emitido 18 vezes por apenas dois indivíduos, de sexo indeterminado, que habitavam a área 4. Já o chamado *whine* foi emitido 9 vezes por dois filhotes, também de sexo indeterminado, restrito às áreas 3 e 4 ($X^2 = 3,01$, GL = 1, $P = 0,083$). Ambos os chamados ocorreram exclusivamente em contextos de valência negativa e alta excitação. Dessa forma, não foi possível aplicar o modelo GLMM para a comparação dos parâmetros acústicos desses chamados em função das valências ou do nível de excitação.

O chamado *slow whistle* foi emitido 196 vezes por mocós de forma similar em todas as áreas do estudo ($X^2 = 4,73$, GL = 3, $P = 0,192$, Figura 6a). Este chamado foi emitido 96 vezes em situação de valência positiva e excitação elevada, 45 vezes em situação de valência negativa e excitação elevada e 55 vezes em situação de valência e excitação neutras. Os modelos nos quais foi aplicado as valências e excitação apresentaram boa qualidade no

ajuste aos dados para os parâmetros acústicos do chamado *slow whistle* (ver Tabela 4 com os valores de R^2 , AICc e BIC em anexo). A valência afetou o número de pulsos desse chamado ($F_{2, 25, 27} = 3,87$ $P = 0,028$). Os testes *pos hoc* mostraram que o número de pulsos de *slow whistle* diferiu entre as valências negativa e positiva e ambos foram similares em relação a valência neutra (Figura 7). As valências não afetaram os demais parâmetros acústicos do chamado *slow whistle* emitidos pelos mocós (frequência mínima: $F_2 = 0,10$, $P = 0,903$; frequência máxima: $F_2 = 1,03$, $P = 0,36$; duração: $F_2 = 1,19$, $P = 0,316$; frequência dominante: $F_2 = 0,99$, $P = 0,381$; intervalo entre pulsos: $F_2 = 1,48$ $P = 0,241$).

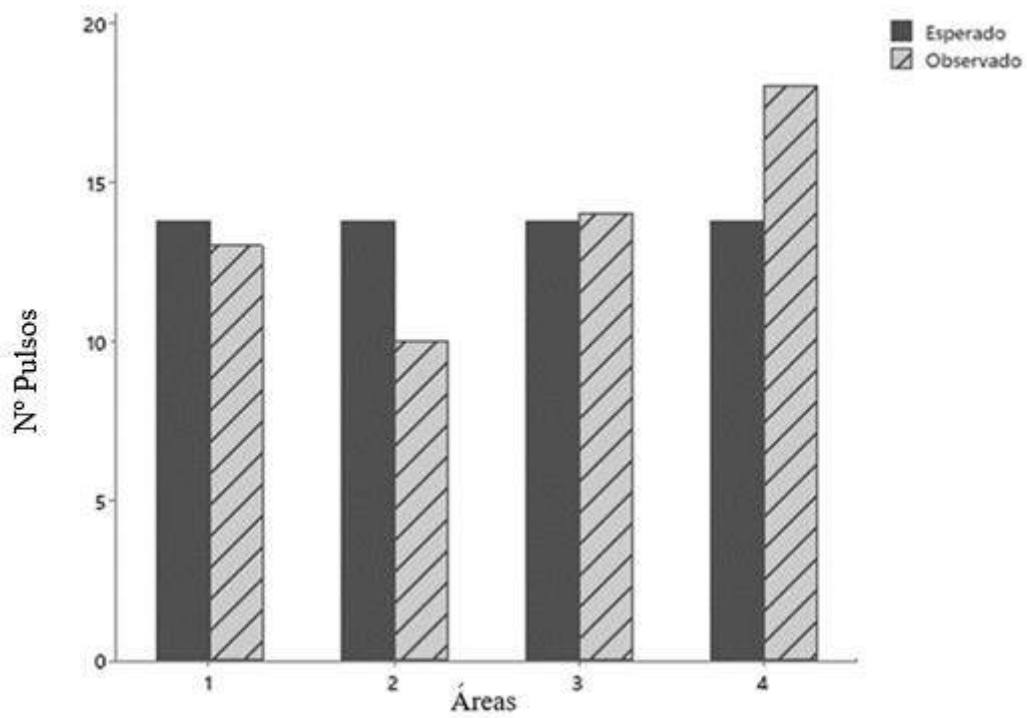
O chamado *snort* foi emitido de maneira similar por mocós de todas as áreas ($X^2 = 2,38$, GL = 3, $P = 0,497$) e ocorreu menos do que o esperado nas áreas 1 e 2 e mais do que o esperado nas áreas 3 e 4 (Figura 6b). Esse chamado foi emitido 55 vezes por mocós em estado de valência negativa e excitação elevada. Por sua vez, o chamado *snort-like* foi utilizado com maior frequência por mocós na área 3 em comparação às áreas 1, 2 e 4 ($X^2 = 50,05$ GL = 3, $P < 0,001$, Figura 6c). Esse chamado foi emitido 511 vezes por mocós em valência negativa e alta excitação. Para ambos os chamados, não foi possível aplicar o modelo GLMM para comparar os parâmetros acústicos de acordo com as valências e excitação.

a)



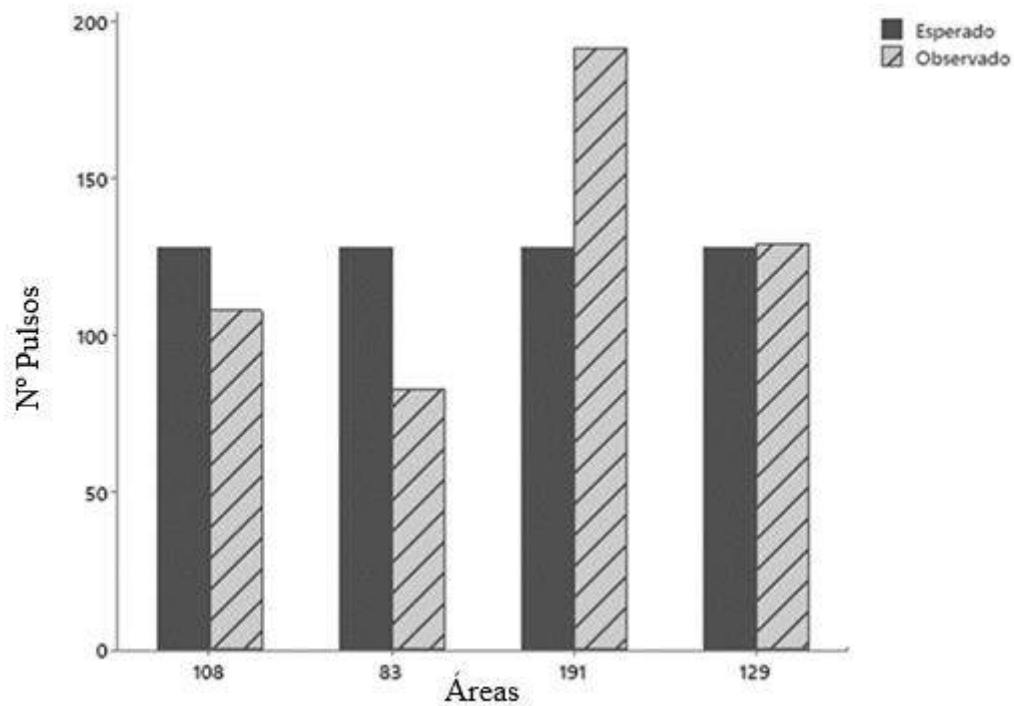
1266

1267 b)



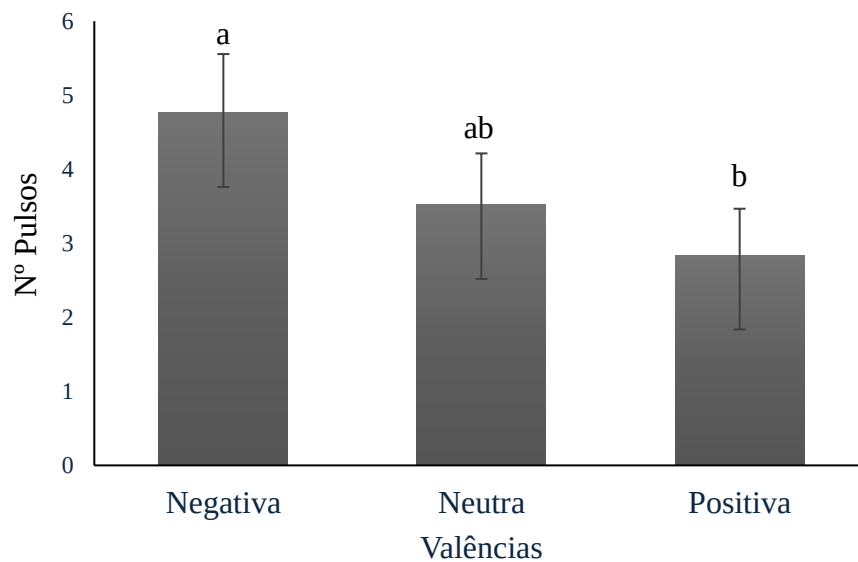
1268

1269 c)



1270

1271 Figura 6. Emissões dos chamados *slow whistle* (a), *snort* (b), *snort-like* (c) por mocós de
 1272 acordo com as quatro áreas do estudo.



1273

1274 Figura 7. Número de pulsos para o chamado *slow whistle* emitido por mocós nas áreas do
 1275 estudo de acordo com o estado afetivo (valência negativa x valência neutra x valência
 1276 positiva).

4. Discussão

Nossos resultados confirmam que os mocós respondem a diferentes contextos, mostrando uma comunicação acústica cujos padrões variam conforme o contexto ambiental e social, sugerindo alteração emocional. Em locais com maior interferência antrópica (áreas 3 e 4), os mocós emitiram maior número de pulsos nos chamados de alarme (Figuras 3 e 4), dor e agressividade (Tabela 1), o que reforça a hipótese de que ambientes mais antropizados aumentam o estresse e demandam uma comunicação mais robusta entre os mocós (Almeida, 2021). Nossos resultados estão de acordo com estudos que apontam a relação entre a comunicação acústica e o estado emocional de estresse em animais (Lima et al. 2022), sendo que sons mais altos (chamados de alarme) e frequentes representam uma resposta a estímulos de alta excitação e valência negativa (Manteuffel et al., 2004; Briefer, 2012; Townsend e Manser, 2013).

Os chamados de alarme do mocó, *alarm whistle* e *fast alarm whistle*, ocorreram com maior frequência nas áreas 3 e 4, onde a interferência antrópica é mais elevada devido à proximidade com estradas e atividades agropecuárias, fatores que aumentam a presença de predadores e de seres humanos. Além disso, na área 3 (próxima a estrada) foram registrados níveis de ruído entre 75 dB e 105 dB durante a passagem de veículos, mostrando um cenário ruidoso, com a presença de humanos, o que pode amplificar a percepção de ameaça dos mocós, intensificando suas vocalizações de alarme, como observado. Estudos indicam que ambientes mais ruidosos e antropizados podem alterar os comportamentos de alerta em espécies animais, desencadeando respostas mais intensas de estresse e vigilância. Por exemplo, Manser et al. (2010) investigaram como os chamados de alarme em suricatos (*Suricata suricatta*) são afetados por estímulos externos e observaram que ruídos aumentam a frequência e a intensidade das respostas de alerta. Fernández-Juricic et al. (2011) analisaram aves urbanas e descobriram que o ruído antropogênico reduz a eficácia da detecção de predadores, aumentando o nível de vigilância. Shannon et al. (2016) revisaram

estudos sobre o impacto do ruído em ecossistemas, concluindo que ele altera padrões de comportamento, como alimentação e descanso, em diversas espécies, gerando maior estresse fisiológico. Assim, nossos dados corroboram com outros estudos que mostraram que vocalizações de alta frequência e intensidade são mais utilizadas em ambientes perturbados e como consequência, os animais apresentam respostas vocais diferenciadas em relação a contextos harmônicos, sugerindo alteração emocional com a necessidade de comunicação urgente frente a estímulos de valência negativa, como a presença de predadores e atividade humana (Brumm e Slabbekoorn, 2005; Bee e Swanson, 2007).

A emissão exclusiva do chamado *fast alarm whistle* (Figura 5) pelos mocós nas áreas de maior pressão ambiental (3 e 4) destaca sua função adaptativa em resposta a eventos de ameaça grave. A sua emissão sugere apresentar vantagem para a sobrevivência do mocó, servindo como um alerta intenso que mobiliza a atenção dos membros do grupo. Chamados de alarme com função semelhante são documentadas em outros roedores, como a cutia (*Dasyprocta sp.*) e a paca (*Cuniculus paca*), cuja emissão de chamados específicos diante de predadores desempenha um papel fundamental na coordenação de respostas defensivas e na organização social em ambientes de risco (Emmons e Feer, 1997). Esse tipo de chamado se torna especialmente relevante em contextos onde a percepção de perigo é acentuada por fatores ambientais, reforçando a necessidade de comunicação clara e imediata (Furrer e Manser, 2009; Griesser, 2009). A emissão de *fast alarm whistle*, neste caso, pode ser interpretada como uma estratégia para maximizar a sobrevivência do grupo, proporcionando sinais claros que ajudam a evitar situações de risco iminente (Briefer e Mcelligott, 2011; Wessling et al., 2018).

O chamado *scream* é uma vocalização relacionada a dor (Almeida, 2021) e sinaliza distresse para os mocós (Tabela 1). Esse chamado ocorreu exclusivamente em uma das áreas mais impactadas deste estudo (área 4), durante processo de predação de mocós por cães, confirmando seu papel como resposta a situações de ameaça grave e risco para a

sobrevivência dos mocós. Entre mamíferos, esse tipo de chamado, restrito a contextos negativos, são frequentemente utilizados como um último recurso diante de ataques predatórios, refletindo situações de estresse agudo. Por exemplo, Townsend e Manser (2013) analisaram a comunicação acústica de suricatos (*Suricata suricatta*) e observaram que chamados de alta intensidade são utilizados em situações de captura iminente, influenciando a resposta dos demais membros do grupo e, em alguns casos, atraindo aliados para tentar interromper um ataque. Wessling et al. (2018) documentaram chamados de distresse em chimpanzés (*Pan troglodytes*), especialmente em situações de conflito ou risco severo, destacando que esses chamados podem tanto expressar medo quanto solicitar auxílio de companheiros próximos. Chamados intensos, como *scream*, podem servir tanto para expressar um estado emocional negativo quanto para comunicar um perigo imediato para outros membros da espécie (Briefer e Mcelligott, 2011; Blumstein e Chi, 2012). A exclusividade de ocorrência de *scream* na área 4, com maior pressão ambiental em razão de atividades agropecuárias, sugere que há uma relação direta entre ambientes antropizados e a intensificação de chamados de contextos negativos nos mocós, apontando para a adaptabilidade acústica como uma resposta às condições adversas desses ambientes (Francis et al., 2009; Shannon et al., 2016). A ocorrência de predadores introduzidos, como cães, nessas áreas antropizadas promove a emissão desse chamado em mocós de vida livre (Almeida, 2021). Esses resultados reforçam a correlação entre ambientes modificados pelo homem e à amplificação das respostas vocais de alarme, agressividade e dor dos mocós.

O chamado *whine* foi emitido exclusivamente por filhotes nas áreas 1 e 3, em contexto de isolamento social (Tabela 1) e em estado afetivo de valência negativa e alta excitação. Esse resultado contribui para a classificação de *whine* como um chamado de contato social de uso frequente por filhotes de mocós isolados do grupo, tal como registrado em estudo anterior com a espécie (Almeida, 2021) e também presente em outras espécies de caviomorfos (e.g. Lacey e Ebensperger, 2007; Machado e Genaro, 2014). Dessa forma,

a emissão de *whine* pode se dar para garantir que os filhotes permaneçam próximos aos membros do grupo, minimizando riscos associados ao isolamento social (Kogan et al., 2016; Burgdorf et al., 2020).

Os chamados *snort* e *snort-like* foram registrados em contextos agonísticos de agressão entre coespecíficos. Estes chamados refletem uma função de enfrentamento e sinalizam uma estratégia comunicativa que visa evitar confrontos diretos, antecedendo interações físicas e permitindo que os mocós façam uma avaliação mútua da ameaça apresentada por coespecíficos (Almeida, 2021). Essa resposta vocal antecipa o conflito e reduz o risco de danos físicos, promovendo evitação de conflito, com economia de energia (Briefer, 2012; Townsend e Manser, 2013; Wessling et al., 2018). Estudos sobre evitação de conflitos em espécies sociais mostram que chamados de dominância ajudam a estabelecer fronteiras territoriais e hierarquias de dominância de maneira menos agressiva, o que aumenta a estabilidade social e reduz os custos fisiológicos associados a confrontos físicos (Watanabe and Smuts, 1999; Kojima et al., 2020). Como observado em queixadas (*Tayassu pecari*), a emissão de *grunt* para manutenção da hierarquia social com atenuação de conflitos, permitindo a regulação de interações agonísticas sem a necessidade de agressão física constante (Nogueira et al., 2016). Nesse sentido, os chamados *snort* e *snort-like* funcionam como um atenuador de conflitos sociais (Almeida, 2021), permitindo aos mocós modularem suas respostas de acordo com o comportamento do oponente (Tabela 1).

Nossos resultados mostram que *slow whistle* foi o único chamado emitido por mocós em distintos estados emocionais, sendo registrado tanto em valência positiva quanto negativa e em estado neutro. Observamos que o número de pulsos desse chamado foi maior quando os mocós estão em estado afetivo de valência negativa (Figura 7). Os demais parâmetros acústicos avaliados, não foram alterados pela excitação ou valência. Esses achados reforçam a possibilidade de que o *slow whistle* seja um sinal vocal cuja expressão é modulada pelo contexto social e ambiental, fenômeno semelhante ao que se observa em

vocalizações de mamíferos em contextos de interação social variada (Briefer e Mcelligott, 2011; Fichtel et al., 2011; Lima et al., 2022). A estabilidade dos parâmetros acústicos, exceto no número de pulsos, sugere que a emissão desse chamado pode estar relacionada a minimização de ruídos desnecessários em ambientes impactados (Briefer, 2012; Wiley, 2013; Wessling et al., 2018). Essa consistência pode, portanto, refletir uma adaptação dos mocós ao ambiente com diferentes níveis de pressão antrópica, permitindo uma comunicação entre coespecíficos (contato) de possível baixo detecção para predadores.

A emissão de *slow whistle* em distintos contextos (Tabela 1) e valências (Figura 7) mostra que esse chamado pode desempenhar um papel multifuncional na comunicação social dos mocós. Esse chamado pode ser especialmente útil para promover coesão social ou alertar sobre ameaças, semelhante ao que estudos bioacústicos mostram para esquilos-de-cauda-vermelha (*Tamiasciurus hudsonicus*), que emitem o chamado *seet* como aviso sutil da presença de predadores, ajustando a comunicação para aumentar a coesão e segurança grupal em situações de ameaça (Lilly et al., 2019), e para esquilos terrestres (*Spermophilus parryii*), que utilizam o chamado *chirp* tanto para promover aproximação social quanto para alertar sobre potenciais ameaças (Digweed et al., 2009). Portanto, o *slow whistle* por ser utilizado em contextos emocionais distintos pode ter uma função social complexa, sinalizando a presença de predadores ou de coespecíficos (contato) ao grupo e, assim, pode reforçar a estabilidade do ambiente social, similar ao descrito em outras espécies de roedores e primatas que utilizam vocalizações mais estáveis para modular interações e manter o contato social em contextos distintos (Fichtel e Kappeler, 2002; Kogan et al., 2016). No entanto, para melhor esclarecer sobre a função desse chamado nos grupos sociais de mocó, sugerimos a aplicação de testes experimentais (e. g. Nogueira et al., 2012; Dos Santos et al., 2014).

A flexibilidade na emissão vocal em resposta aos estados emocionais, sugerem que os diferentes tipos vocais que registramos possam ser indicadores de bem-estar para o mocó.

Em nossas análises o número de pulsos do chamado *slow whistle* variou em relação as valências, com o registro de um maior número de pulsos emitidos em contexto de valência negativa. O *fast alarm whistle* foi emitido exclusivamente nas áreas de maior risco (áreas 3 e 4), como uma resposta direta à percepção de ameaça nesses locais de elevada pressão antrópica. O chamado *alarm whistle*, por sua vez, também esteve associado a situações de risco, sendo emitido mais frequentemente em áreas de maior perturbação ambiental, tal como descrito em estudos anteriores (Almeida, 2021). Os chamados *snort* e *snort-like* também ocorreram com maior frequência nessas áreas, sugerindo uma relação com interações agonísticas potencialmente intensificadas por fatores ambientais estressores. A emissão do chamado *scream*, registrado apenas na área 4 durante contexto de predação por cães, representa um marcador relevante de distresse para os mocós e risco à sua sobrevivência. A distribuição espacial dessas vocalizações reforça a hipótese de que os mocós ajustam seus padrões acústicos de acordo com o nível de perturbação ambiental, modulando sua comunicação em função de contextos que induzem a diferentes valências emocionais.

5. Conclusão

Os resultados confirmam que ambientes com maior interferência antrópica promovem diferenças nas emissões vocais dos mocós, como a intensificação do uso de vocalizações de alarme, agressividade e dor. Os chamados *fast alarm whistle* e *scream* foram emitidos exclusivamente por mocós em estado de valência negativa e alta excitação, na presença de predadores, indicando respostas a ameaças de alto grau em situações de distresse para *K. rupestris*. A emissão do *alarm whistle* foi mais frequente nas áreas de maior impacto antrópico e predominou entre mocós em estado afetivo de valência negativa e alta excitação. A emissão dos chamados *whine*, *snort* e *snort-like* ocorreu em mecanismos funcionais de coesão social e enfrentamento entre coespecíficos. Além disso, mocós em

1433 estado de valência negativa emitem um maior número de pulsos de *slow whistle*, o que
1434 demonstra seu potencial uso como indicador de bem-estar para a espécie. A flexibilidade na
1435 comunicação acústica dos mocós destaca o potencial de suas vocalizações como indicadores
1436 de bem-estar e adaptação ao estresse ambiental.

1437

APÊNDICES

1438 Tabela 3. Médias dos parâmetros acústicos dos chamados emitidos pelos mocós após
 1439 correções por meio da análise de função discriminante (DFA).

Variável	Tipo vocal	Total	Média	EP Média	DesvPad	Mínimo	Máximo
Nº Pulsos	Alarm whistle	1710	34,6497	0,623379	25,7781	3	117
	Fast alarm whistle	175	33,6343	1,53784	20,3437	60	55
	Scream	18	8,88889	1,38594	5,88006	4	14
	Slow whistle	195	3,88718	0,209320	2,92300	1	11
	Snort	55	2,03636	0,142048	1,05345	2	5
	Snort-like	511	17,7945	0,570031	12,8857	2	51
	Whine	9	3,22222	0,702728	2,10819	3	7
Freq Mínima (Hz)	Alarm whistle	1710	911160	1871,74	77400,3	597966	1195932
	Fast alarm whistle	175	891315	4184,88	55360,8	739945	1030638
	Scream	18	1394567	51490,5	218456	1134405	1805819
	Slow whistle	195	900977	3953,71	55210,6	747458	1020833
	Snort	55	206877	6151,12	45617,9	110250	323208
	Snort-like	511	305779	2761,98	62435,3	113077	560593
	Whine	9	725358	41497,0	124491	496622	911842
Freq Máxima (Hz)	Alarm whistle	1710	14879497	92682,8	3832633	1579798	149743352
	Fast alarm whistle	175	13785481	32554,2	430651	12949043	14650169
	Scream	18	15672741	131059	556038	14826724	16632543
	Slow whistle	195	10835149	75011,4	1047477	7029480	13507068
	Snort	55	1920687	94940,4	704097	905900	3362838
	Snort-like	511	4425779	40292,4	910822	2154490	6994909
	Whine	9	8742568	1236454	3709362	4203281	14672368

Delta Power (dB/Hz)	Alarm whistle	1710	-19,1929	1,11680	46,1821	-1343	10,36
	Fast alarm whistle	175	-16,5202	0,528287	6,98858	-36,98	-3,33
	Scream	18	-18,4328	1,44734	6,14054	-29,67	-11,48
	Slow whistle	195	-12,6675	0,384580	5,37037	-31,18	3
	Snort	55	-22,6847	1,12141	8,31657	-45,69	-8,54
	Snort-like	511	-19,1677	0,369918	8,36211	-46,33	5,19
	Whine	9	-20,3689	1,77272	5,31816	-28,4	-12,52
Duração (s)	Alarm whistle	1710	0,248197	0,0010580	0,0437488	0,1036	0,4084
	Fast alarm whistle	175	0,149082	0,0014659	0,0193915	0,1104	0,1983
	Scream	18	0,338356	0,0226845	0,0962421	0,1984	0,5368
	Slow whistle	195	323,552	160,885	2246,64	0,1103	16861
	Snort	55	0,229155	0,0090033	0,0667706	0,0754	0,4781
	Snort-like	511	0,0255294	0,0004708	0,0106424	0,0114	0,1021
	Whine	9	0,220111	0,0432149	0,129645	0,0715	0,4894
Amplitude média (U)	Alarm whistle	1710	1254,72	3990,58	165019	-970689	2573514
	Fast alarm whistle	175	-9010,51	3868,15	51170,8	-408715	183124
	Scream	18	2751,29	4646,26	19712,4	-43194	32004
	Slow whistle	195	-3985,60	4994,91	69750,1	-904551	131915
	Snort	55	36109,1	14434,7	107051	-170155	556380
	Snort-like	511	-493,115	14335,4	324056	-1360630	1227630
	Whine	9	-5175,92	26407,4	79222,3	-193673	80354
Amplitude Máxima (U)	Alarm whistle	1710	2727358	110205	4555883	-562000	32767000
	Fast alarm whistle	175	275566	15558,0	205812	68000	1060000
	Scream	18	1868000	167057	708761	835000	3361000

	Slow whistle	195	1193241	145114	2026403	149000	19360000
	Snort	55	1597455	239995	1779851	406000	11539000
	Snort-like	511	538346	21957,4	496355	-723000	3320000
	Whine	9	2286444	680279	2040838	548000	7083000
Amplitude mínima (U)	Alarm whistle	1710	-2698073	106972	4423530	-32768000	-60000
	Fast alarm whistle	175	-265457	14530,2	192216	-1140000	-82000
	Scream	18	-2113556	261365	1108877	-5315000	-1015000
	Slow whistle	195	-1056462	86260,0	1204556	-8199000	-69000
	Snort	55	-1796582	332570	2466406	-14121000	-223000
	Snort-like	511	-539511	24826,4	561208	-3939000	735000
	Whine	9	-1974778	530622	1591867	-5285000	-558000
Freq 25% (Hz)	Alarm whistle	1710	2485260	12554,6	519160	861328	5081836
	Fast alarm whistle	175	2472504	42324,8	559905	2153320	4909570
	Scream	18	2780176	85512,9	362800	2411719	3703711
	Slow whistle	195	2510149	53325,1	744645	1291992	7751953
	Snort	55	312475	11969,3	88766,8	172266	430664
	Snort-like	511	617057	12530,0	283244	172266	1981055
	Whine	9	1253711	80070,9	240213	1033594	1808789
Freq 75% (Hz)	Alarm whistle	1710	3532322	26462,2	1094271	1205859	13953516
	Fast alarm whistle	175	2892832	62427,6	825840	2325586	5081836
	Scream	18	4124805	354170	1502616	2670117	7751953
	Slow whistle	195	3264280	77338,4	1079972	2048242	9905273
	Snort	55	536836	22599,2	167600	172266	861328
	Snort-like	511	1329854	30497,5	689406	258398	5512500
	Whine	9	2172461	327914	983743	1205859	4220508

Energia (dB FS)	Alarm whistle	1710	-13824,2	187,474	7752,43	-33379	6778
	Fast alarm whistle	175	-14746,5	695,466	9200,16	-29638	6957
	Scream	18	-3527,87	726,592	3082,67	-9737	1153
	Slow whistle	195	-18638,6	498,754	6964,72	-35854	-3868
	Snort	55	-11060,0	1035,80	7681,68	-25454	6568
	Snort-like	511	-34965,6	339,800	7681,29	-48976	-14246
	Whine	9	-15994,4	2722,41	8167,24	-29962	-7249
Freq Dominante (Hz)	Alarm whistle	1710	2752401	18850,9	779526	843750	5340234
	Fast alarm whistle	175	2567004	44374,4	587019	2153320	4909570
	Scream	18	2976367	170884	724999	1808789	4565039
	Slow whistle	195	2616565	50406,2	703885	1981055	5167969
	Snort	55	348494	15473,8	114757	172266	516797
	Snort-like	511	690462	19948,9	450951	172266	3273047
	Whine	9	1330274	111300	333899	1119727	2153320
Delta Freq (Hz)	Alarm whistle	1710	13927872	47955,4	1983058	9343220	19060169
	Fast alarm whistle	175	12894166	32798,4	433882	12034068	13753220
	Scream	18	14278174	141181	598981	13210991	15206897
	Slow whistle	195	9932932	74379,4	1038652	6183829	12583508
	Snort	55	1580924	102165	757674	712216	3064865
	Snort-like	511	4117569	40213,4	909036	1889325	6727927
	Whine	9	8017211	1208122	3624365	3514219	13760526
Entropia agregada (bits)	Alarm whistle	1710	4354,92	18,6601	771,637	2081	6285
	Fast alarm whistle	175	3630,94	64,7704	856,832	1869	5334

	Scream	18	4671,56	166,525	706,504	3392	6199
	Slow whistle	195	4370,04	51,1589	714,395	2407	6101
	Snort	55	2619,71	81,7418	606,213	1105	3677
	Snort-like	511	3822,61	31,8310	719,550	0,955	5336
	Whine	9	3641,67	278,554	835,663	2583	4630
Entropia Média (bits)	Alarm whistle	1710	4483,92	16,0450	663,493	2411	6285
	Fast alarm whistle	175	3636,01	61,8033	817,581	1774	5334
	Scream	18	4671,56	166,525	706,504	3392	6199
	Slow whistle	195	4261,08	56,5047	789,045	2346	6101
	Snort	55	2619,71	81,7418	606,213	1105	3677
	Snort-like	511	3821,45	31,8587	720,175	0,955	5336
	Whine	9	3641,67	278,554	835,663	2583	4630
Entropia Máxima (bits)	Alarm whistle	1710	4859,31	21,3589	883,236	2411	6928
	Fast alarm whistle	175	4398,46	40,1269	530,828	2226	5334
	Scream	18	4671,56	166,525	706,504	3392	6199
	Slow whistle	195	4660,74	52,4736	732,754	2869	6286
	Snort	55	2619,71	81,7418	606,213	1105	3677
	Snort-like	511	3821,15	31,8126	719,134	0,955	5336
	Whine	9	3641,67	278,554	835,663	2583	4630
Intervalo entre notas (S)	Alarm whistle	1710	0,256237	0,0036779	0,152090	0	1
	Fast alarm whistle	175	0,0429543	0,0053491	0,0707619	0	0,9
	Scream	18	2,425	0,575707	2,44252	0,21	9,11
	Slow whistle	195	2,20415	0,0856716	1,19634	0	6,5
	Snort	55	0,715455	0,163264	1,21080	0	6,04

Snort-like	511	0,100509	0,0180526	0,408084	0	4,12
Whine	9	3,37667	1,18137	3,54410	0	9,82

1440

1441 Tabela 4. Valores de Coeficiente de Determinação (R^2), Critério de Informação de Akaike
 1442 Corrigido (AICc) e Critério de Informação Bayesiano (BIC) dos modelos generalizados
 1443 lineares múltiplos (GLMMs) para comparação dos parâmetros acústicos dos chamados *slow*
 1444 *whistle* emitidos por mocós as quatro áreas do estudo usando o estado emotivo (valência)
 1445 ou excitação como fator fixo.

Chamado	Parâmetro	Fator	R2	AICc	BIC
		fixo			
Slow					
whistle	Frequência Mínima	Valência	27.77%	4747,99	4754,44
		Excitação	27.19%	4768,16	4774,62
	Frequência Máxima	Valência	87,59%	5670,57	5677,02
		Excitação	87.58%	5698,03	5704,49
	Duração	Valência	84,58%	-849,79	-843,34
		Excitação	84,57%	-856,97	-850,51
	Intervalo entre pulsos	Valência	45,21%	600,82	607,27
		Excitação	44,98%	599,82	606,29
	Nº Pulsos	Valência	42.83%	924,63	931,08
		Excitação	43,.70%	931,87	938,33
	Frequência Dominante	Valência	60,08	5669,71	5676,16
		Excitação	60,07	5696,88	5703,34

1446

6. Referências

- Alencar-Junior, R.N., 2011. O repertório acústico de um especialista de rochedos da caatinga, o Mocó. Dissertation (Master's in psychology). *São Paulo University*, São Paulo. Dept. Psicol. Exp. p. 102.
- Almeida, W.N., 2021. Indicadores acústicos para a conservação do mocó (*Kerodon rupestris*) em áreas perturbadas de caatinga. Dissertation (Master's in zoology). *Universidade Estadual de Santa Cruz*, Bahia-Brasil. Dept. Ciências Biológicas. p. 74.
- Altmann, J., 1974. Observational Study of Behavior: Sampling Methods. *Behaviour* 49, 227–267. <https://doi.org/10.1080/14794802.2011.585831>.
- August, P.V., Anderson, J.G.T., 1987. Mammal sounds and motivation-structural rules: a test of the hypothesis. *Journal of Mammalogy* 68, 1-9.
- Barros, K.S., Almeida, W.N., 2018. Mamíferos terrestres do Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, Bahia: primeiros foto-registros. *Bol. dá Soc. Bras. Mastozool.* 83, 162–167.
- Barros, K.S., Tokumaru, R.S., Pedroza, J.P., Nogueira, S.S.C., 2010. Vocal Repertoire of Captive Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*): Structure, Context and Function. *Ethology* 117, 83–94. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01853.x>.
- Bee, M.A., Swanson, E.M., 2007. Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour* 74, 1765-1776. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.03.019>.
- Blumstein, D.T., Chi, Y.Y., 2012. Scared and less noisy: Glucocorticoids are associated with alarm calling behavior in yellow-bellied marmots. *Hormones and Behavior* 62, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2012.08.009>.
- Briefer, E.F., 2012. Vocal expression of emotions in mammals: Mechanisms of production and evidence. *Journal Zoology*. 288, 1–20. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2012.00920.x>.

1473 Briefer, E.F., McElligott, A.G., 2011. Indicators of age, body size and sex in goat
1474 kid calls revealed using the source–filter theory. *Applied Animal Behaviour Science* 133,
1475 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.001>.

1476 Briefer, E.F., Tallet, C., 2022. Emotional vocalizations in pigs: Understanding
1477 animal emotions to improve welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 246, 105546.
1478 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105546>.

1479 Brumm, H., Slabbekoorn, H., 2005. Acoustic communication in noise. *Advances in*
1480 *the Study of Behavior* 35, 151-209. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(05\)35004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(05)35004-2).

1481 Briefer, E.F., Tettamanti, F., McElligott, A.G., 2015. Emotions in goats: Mapping
1482 physiological, behavioural and vocal profiles. *Animal Behaviour* 99, 131–143.
1483 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.11.002>.

1484 Briefer, E., Linhart, P., Policht, R., Spinka, M., Leliveld, L., et al., 2019. Vocal
1485 expression of emotional valence in pigs across multiple call types and contexts. *PeerJ*
1486 *Preprints*. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27934>.

1487 Browning, H., Veit, W., 2021. Freedom and Animal Welfare. *Animals* 11, 1148.
1488 <https://doi.org/10.3390/ani11041148>.

1489 Bonvicino, C., Oliveira, J., D’Andrea, O., 2008. Guia dos Roedores do Brasil com
1490 chaves para gêneros baseadas em caracteres externos. Organização Pan-Americana da
1491 Saúde, Rio de Janeiro. p. 120.

1492 Burgdorf, J., Kroes, R.A., Moskal, J.R., Panksepp, J., 2020. Uncovering the
1493 molecular and neurobiological bases of positive affective vocalizations in mammals.
1494 *Applied Animal Behaviour Science* 232, 105093.
1495 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105093>.

1496 Burgdorf, J.S., Brudzynski, S.M., Moskal, J.R., 2020. Using rat ultrasonic
1497 vocalization to study the neurobiology of emotion: from basic science to the development
1498 of novel therapeutics for affective disorders. *Curr Opin Neurobiol.* 60, 192-200.

1499 <https://doi.org/10.1016/j.conb.2019.12.008>.

1500 Conceição, A.M., Bocchiglieri, A., 2021. Population density and use of space by
 1501 *Kerodon rupestris*: An endemic and threatened rodent in the semiarid areas of Brazil.
 1502 *Journal of Arid Environments* 186, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104425>.

1503 Costa, L.P., Leite, Y.L.R., Mendes, S.L., Ditchfield, A.D., 2005. Conservação de
 1504 mamíferos no Brasil. *Megadiversidade* 1, 103-112.

1505 Delciellos, A.C., 2016. Mammals of four Caatinga areas in northeastern Brazil:
 1506 inventory, species biology, and community structure. *Check List* 12, 1-15.

1507 Dias, D.M., Campos, C.B., Rodrigues, F.H.G., 2018. Behavioural ecology in a
 1508 predator-prey system. *Mammalian Biology* 92, 30-36.

1509 Digweed, S.M., Rendall, D., Ryan, M.J., 2009. Discrete versus graded variation in
 1510 animal signals: Rethinking some recent examples. *Animal Behaviour* 78, 191-196.
 1511 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.04.019>.

1512 Dos Santos, E., Tokumaru, R., Nogueira Filho, S., Nogueira, S., 2014. The effects
 1513 of unrelated offspring whistle call on capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). *Brazilian J.*
 1514 *Biol.* 74, S171–S176. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.25212>.

1515 Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2022. Sistema de
 1516 classificação de solos do Brasil. Available at: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>
 1517 Accessed: 13 November 2023.

1518 Emmons, L.H., Feer, F., 1997. Neotropical Rainforest Mammals: A Field Guide,
 1519 2nd ed. *University of Chicago Press*, Chicago.

1520 Fernández-Juricic, E., et al., 2011. Silent flights? How airport noise and
 1521 urbanization may influence anti-predator strategies in birds. *Applied Animal Behaviour*
 1522 *Science* 130, 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.12.002>.

1523 Fichtel, C., Kappeler, P.M., 2002. Anti-predator vocalizations in a nocturnal
 1524 primate, the gray mouse lemur (*Microcebus murinus*). *Ethology* 108, 1067-1081.

1525 <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2002.00839.x>.

1526 Fichtel, C., Perry, S., Gros-Louis, J., 2005. Alarm calls of white-faced capuchin
 1527 monkeys: An acoustic analysis. *Animal Behaviour* 70, 165-176.
 1528 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.08.016>

1529 Fichtel, C., Hammerschmidt, K., Jürgens, U., 2011. Vocal repertoires in animals: A
 1530 response to context and audience? *Journal of Comparative Psychology* 125, 112-117.
 1531 <https://doi.org/10.1037/a0022797>

1532 Francis, C.D., Ortega, C.P., Cruz, A., 2009. Noise pollution changes avian
 1533 communities and species interactions. *Current Biology* 19, 1415-1419.
 1534 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>

1535 Furrer, R.D., Manser, M.B., 2009. Banded mongoose recruitment calls convey
 1536 information about risk and not stimulus type. *Animal Behaviour* 78, 195-201.
 1537 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.04.012>

1538 Griesser, M., 2009. Mobbing calls signal predator category in a kin group-living
 1539 bird species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276, 2887-2892.
 1540 <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0473>

1541 Gogoleva, S.S., Volodina, E.V., Volodin, I.A., Kharlamova, A.V., Trut, L.N.,
 1542 2010. The gradual vocal responses to human-provoked discomfort in farmed silver foxes.
 1543 *Acta Ethologica* 13, 75-85. <https://doi.org/10.1007/s10211-010-0076-3>

1544 Herborn, K.A., McElligott, A.G., Mitchell, M.A., Sandilands, V., Bradshaw, B.,
 1545 Asher, L., 2020. Spectral entropy of early-life distress calls as an iceberg indicator of
 1546 chicken welfare. *Journal of the Royal Society Interface* 17, 20200086.
 1547 <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0086>

1548 ICMBIO, 2018a. Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção, vol. 1,
 1549 66-70. Available at:
 1550 <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes->

diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf (Accessed 10 April 2021).

ICMBIO, 2018b. Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção, vol. 2, 401-403. Available at:
https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf (Accessed 10 April 2021).

INMET, 2023. Instituto Nacional de Meteorologia. Available at:
<https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A426> (Accessed 15 March 2023).

Jirkof, P., Rudeck, J., Lewejohann, L., 2019. Assessing affective state in laboratory rodents to promote animal welfare—What is the progress in applied refinement research? *Animals* 9, 1026. <https://doi.org/10.3390/ani9121026>

Jorge, F.C., Machado, C.G., Nogueira, S.S.C., Nogueira-Filho, S.L.G., 2018. The effectiveness of acoustic indices for forest monitoring in Atlantic rainforest fragments. *Ecological Indicators* 91, 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.001>

Kogan, J.A., Shishim, C.A., Crick, F., Burgdorf, J., 2016. Neural and molecular bases of positive affective vocalizations in juvenile rats. *Animal Behaviour* 123, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.10.003>

Kojima, S., Watanabe, A., Takahashi, T., Smuts, B.B., 2020. Social buffering in monkeys: Vocalizations in the context of distress. *Animal Behaviour* 159, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.11.003>

Lacey, E.A., Ebensperger, L.A., 2007. Social structure in octodontid and ctenomyid rodents. In: Wolff, J.O., Sherman, P.W. (Eds.), *Rodent Societies: An Ecological and Evolutionary Perspective*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 403–415. <https://doi.org/10.7208/9780226905389-036>

Lacher, T.E., 1981. The comparative social behavior of *Kerodon rupestris* and *Galea spixii* and the evolution of behavior in the Caviidae. *Bulletin of Carnegie Museum of Natural History* 17, 1-71.

1577 Lima, A. F., Lima, S. G., Nogueira-Filho, S. L., Held, S. D., Mendl, M., Nogueira,
 1578 S. S. 2023. Object play as a positive emotional state indicator for farmed spotted paca
 1579 (*Cuniculus paca*). *Animals*, 14 (1), 78. <https://doi.org/10.3390/ani14010078>.
 1580 Lima, A.F., Lima, S.G., Nogueira-Filho, S.L., Held, S., Paul, E., Mendl, M.,
 1581 Nogueira, S.S., 2022. Vocal expression of emotions in farmed spotted paca (*Cuniculus*
 1582 *paca*). *Applied Animal Behaviour Science*. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105753>
 1583 Lilly, J.C., et al., 2019. Vocal communication in squirrels: Ecological influences on
 1584 seet and chirp calls. *Ecology and Evolution* 9, 4987-5000.
 1585 <https://doi.org/10.1002/ece3.5031>
 1586 Machado, F.A., Genaro, G., 2014. Acoustic communication in Caviomorph
 1587 rodents: A review of its role in social behavior. *J. Mammal.* 95, 45–56.
 1588 Manteuffel, G., Puppe, B., Schön, P.C., 2004. Vocalization of farm animals as a
 1589 measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 88, 163-182.
 1590 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.012>
 1591 Manser, M.B., 2010. The generation of functionally referential and motivational
 1592 vocal signals in mammals. In: *Handbook of Behavioral Neuroscience*. Elsevier, pp. 477-
 1593 486.
 1594 MAPBIOMAS, 2022. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de
 1595 Solo do Brasil. Available at: <https://mapbiomas.org/> (Accessed 15 November 2023).
 1596 Mares, M.A., Willig, M.R., Streilein, K.E., Lacher, T.E., 1981. The mammals of
 1597 northeastern Brazil: a preliminary assessment. *Annals of Carnegie Museum* 50, 81-137.
 1598 Mendl, M., Burman, O.H.P., Paul, E.S., 2010. An integrative and functional
 1599 framework for the study of animal emotion and mood. *Proceedings of the Royal Society B:*
 1600 *Biological Sciences* 277, 2895-2904.
 1601 MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2022. Portaria Nº 148, de 7 de junho de
 1602 2022. Available at: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704->

1603 atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html (Accessed 10 April
 1604 2022).
 1605 Monticelli, P.F., Alencar-Junior, R.N., 2021. The acoustic behavior of the
 1606 Brazilian caatinga big rodent is incongruent to its actual position in Hydrochoerinae.
 1607 *Behavioural Processes* 193, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104523>
 1608 Manser, M.B., et al., 2010. Predation and social organization in mammals: Insights
 1609 from meerkats. *Animal Behaviour* 80, 509-518.
 1610 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2010.06.019>
 1611 Nogueira, S.S.C., Pedroza, J.P., Nogueira-Filho, S.L.G., Tokumaru, R.S., 2012.
 1612 The function of click call emission in capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*). *Ethology*
 1613 118, 1001-1009. <https://doi.org/10.1111/eth.12001>
 1614 Oliveira, C.D.L., Silva, A.P.A., Moura, P.A.G., 2019. Distribution and importance
 1615 of conservation units in the caatinga domain. *Anuário do Instituto de Geociências* 42, 425-
 1616 429. https://doi.org/10.11137/2019_1_425_429
 1617 Oliveira, J.A., Bonvicino, C.R., 2006. Capítulo 12: Ordem Rodentia. In: Reis,
 1618 N.R., Peracchi, A.L., Pedro, W.A., Lima, I.P. (Eds.), *Mamíferos do Brasil*. Londrina,
 1619 Paraná, pp. 347-400.
 1620 Prado, D.E., 2003. As caatingas da América do Sul. In: Leal, I.R., Tabarelli, M.,
 1621 Silva, J.M.C. (Eds.), *Ecologia e Conservação da Caatinga*. UFP, Recife, pp. 3-73.
 1622 Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Souza, C.A.A., Rosa, F.J.A.M., Araújo, G.N., Souza,
 1623 L.S.B., Moura, M.S.B., 2021. Composition of intro Caatinga species under anthropic
 1624 disturbance and its correlation with rainfall partitioning. *Floresta e Ambiente* 28, 1-10.
 1625 <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0044>
 1626 Ribeiro, R., Rocha, C.R., Marinho-Filho, J., 2011. Natural history and demography
 1627 of *Thalpomys lasiotis* (Thomas, 1916), a rare and endemic species from the Brazilian
 1628 savanna. *Acta Theriologica* 56, 275-282. <https://doi.org/10.1007/s13364-011-0026-0>

- Russell, J.A., 2003. Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review* 110, 145-172.
- Nogueira, S.S., Caselli, C.B., Costa, T.S., Moura, L.N., Nogueira-Filho, S.L., 2016. The role of grunt calls in the social dominance hierarchy of the white-lipped peccary (Mammalia, Tayassuidae). *PLoS One* 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158665>
- Shannon, G., et al., 2016. A synthesis of two decades of research on the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews* 91, 982-1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>
- Tasso, M.A.L., Chang, M.R.C., 2013. Análise erosional da Serra de Monte Alto entre Palmas de Monte Alto e Sebastião Laranjeiras, BA. *Revista ACTA Geográfica* 7, 107-121. <https://doi.org/10.5654/actageo2013.0714.0007>
- Townsend, S.W., Manser, M.B., 2013. Functionally referential communication in mammals: The past, present and the future. *Ethology* 119, 1-12. <https://doi.org/10.1111/eth.12000>
- Torres, R.R., Lapola, D.M., Marengo, J.A., Lombardo, M.A., 2012. Socio-climatic hotspots in Brazil. *Climatic Change* 115, 597-609. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0461-1>
- USGS, United States Geological Survey, 2022. Available in: <https://www.usgs.gov/> (Accessed 15 November 2023).
- Watanabe, A., Smuts, B., 1999. Communication and social relationships in wild baboons. *Animal Behaviour* 58, 505-513. <https://doi.org/10.1006/anbe.1999.1153>
- Wessling, E.G., et al., 2018. Primate vocal communication in degraded habitats. *Animal Behaviour* 142, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2018.05.011>
- Wiley, R. H., 2013. Signal detection, noise, and the evolution of communication. *Advances in the Study of Behavior*, 45, 179–228. doi:10.1016/B978-0-12-407186-5.00004-8

Capítulo II

**The free-range rock cavy (*Kerodon rupestris*) communicates the urgency of a threat
using different alarm calls**

(Este artigo foi submetido ao periódico internacional *Ethology* e está em revisão final dos
autores em resposta a revista)

The free-range rock cavy (*Kerodon rupestris*) communicates the urgency of a threat using different alarm calls

Wesley N. Almeida¹; Sérgio L. G. Nogueira-Filho¹; Kamila S. Barros²;
Selene S. C. Nogueira¹

¹Laboratório de Etologia Aplicada, Universidade Estadual de Santa Cruz, Brazil

² Laboratório de Estudo Animal, Universidade do Estado da Bahia, Brazil

Corresponding author: Selene S. C. Nogueira; email address: selene@uesc.br

Conflict of Interest Statement

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

We thank park rangers João C. Santos, Edvan F. Pereira and Antônio Marcos S. Brito for all their support in the field. We also thank the agencies that supported us, Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES - Finance Code 001, WNA Grant, Process #88882.451299/2019-01 #8888485144/2020-00); and National Institute of Science and Technology in Interdisciplinary and Transdisciplinary Studies in Ecology and Evolution (IN-TREE – Process CNPq #465767/ 2014-1 and CAPES #23038.000776/2017-54), Bahia, Brazil; SSCN and SLGNF received a grant from the Council for Scientific and Technological Development (CNPq) (Processes # 303448/2019-9 and # 04226/ 2019-0, respectively).

Abstract

The rock cavy, a social rodent, emits alarm calls to signal danger. These calls are adjusted depending on the type of predator and the urgency of the threat. To confirm this, we aimed to compare the acoustic responses of free-range *Kerodon rupestris* in different threat contexts. The study was conducted in two conservation units located in the Brazilian semiarid region known as the Caatinga. All alarm calls were collected using the ad libitum method. Calls were classified through aural and visual inspection using Raven Pro software. Discriminant function analysis was applied to test the classification of vocal types. To assess differences in vocalization quantities and acoustic parameters, generalized mixed linear models were used, followed by Tukey post hoc tests when appropriate. Our results showed that rock cavies emitted two vocal types (alarm whistle and fast alarm whistle) in threat contexts. *K. rupestris* emitted more alarm whistles on average when the threats were close (≤ 25 m away) ($F_{1,16} = 13.68$, $P = 0.002$). It was observed that both the type of threat ($F_{6,28.74} = 15.60$, $P < 0.001$) and the proximity of the threat ($F_{1,329.56} = 30.26$, $P < 0.001$) affected the intervals between pulses of the alarm whistles. Rocky cavies emitted alarm whistles with longer intervals between pulses when faced with threats from humans and dogs than birds of prey, tayra and ocelot. When the threat was closer, the rocky cavies emitted alarm whistles with shorter intervals between pulses. Fast alarm whistles were emitted only by rock cavy close to potential hunting predators. This study highlights that the distance from the threat and different threats influence adjustments in *K. rupestris* alarm calls. The rock cavy signals higher-degree dangers by emitting faster calls with shorter intervals between pulses.

Keywords: Bioacoustics; Caviidae, Conservation; Defensive behavior; Dry Forest; Vocalization.

1. Introduction

The alarm call is an anti-predator strategy widely used by various species of mammals and birds (Hollén & Radford, 2009). These vocalizations are usually conspicuous and addressed to conspecifics as a way to announce danger (Blumstein, 2007). These signs may reflect an underlying state of motivation or excitement experienced by the emitter when exposed to certain predators (Morton, 1977). Therefore, specific changes in the structures of the calls (e.g., number of pulses, intensity, pitch, vocal type) are able to transmit several types of information to the receivers (Morton, 1982; Shannon & Drew, 2009).

Alarm calls, for instance, can contain different information that is transmitted depending on the type of predator or reveal the urgency of the response to certain threats (Suzuki, 2011; Gill, Bierema & Hauber, 2013; Mclachlan & Magrath, 2020). The vocalizations elicited by predators may have characteristics for investigations into the adaptive functionality of prey responses to predation (Macedonia & Evans, 1993). For instance, white-eyed gallinules (*Phylidonyris novaehollandiae*) assess the reliability of an acoustic warning signal and the urgency with which to respond based on the number of pulses emitted. This assessment becomes more pronounced during encounters with potentially more dangerous predators (Mclachlan & Magrath, 2020). In addition, the numerous hunting strategies employed by predators make it necessary to develop qualitatively different acoustic behaviors in prey in order to increase escape success (Blumstein & Armitage, 1997; Caro, 2005). Green monkeys (*Chlorocebus aethiops*) emit distinct alarm calls for different predators, such as carnivores, eagles, humans, and snakes (Cheney & Seyfarth, 1988; Price & Chebey, 2015). Similarly, capuchins (*Cercopithecus diana*) signal danger in various ways, using louder alarm calls when threatened by leopards (*Panthera pardus*) and quieter calls for crowned hawk-eagles (*Stephanoaetus coronatus*) (Zuberbühler, 2000).

These variations in alarm calls may be related to the restrictions on escape time imposed by different predators, which may consequently influence adjustments in prey communication to signal varying degrees of danger to their co-species (Macedonia & Evans, 1993; Blumstein, 2007). In addition, for the predator category, this information can be related to its location and the urgency of the response to the threat. The large gerbil (*Rhombomys opimus*), for example, is a rodent that emits a rhythmic call when the predator is far away, another intense call as the predator approaches and a short whistle when surprised by the predator (Randall & Rogovin, 2002). Yellow-bellied marmots (*Marmota flaviventris*), on the other hand, vocalize more quickly and with a greater number of pulses as the threat approaches (Blumstein, 2007). Therefore, acoustic calls can convey the immediacy of a threat by indicating the speed or urgency required for defensive actions (Gill et al., 2013).

Social rodents inhabiting harsh environments often emit numerous alarm calls when threatened by various predators (Blumstein & Armitage, 1997). The free-range rock cavy (*Kerodon rupestris*) is an example of social rodent, which frequently emits alarm calls in the wild and occupies a foundational position in the food chain, serving as prey for numerous predators in Brazil's semi-arid regions (Lacher, 1981; Marinho et al., 2018; Penido et al., 2017; Almeida, 2021). *K. rupestris* is an endemic species found exclusively in the caatinga biome, inhabiting rocky outcrops that are challenging to access (Bonvicino et al., 2008). Classified as endangered, its population is in decline primarily due to habitat loss, fragmentation, and hunting activities (ICMBio, 2018b; MMA, 2022). The species is organized in social groups that live in a harem structure, usually composed of one male and three to four adult females and their young. The group has a hierarchy of social dominance and members often use the acoustic channel in their social interactions (Lacher, 1981; Monticelli & Alencar-Junior, 2021).

A specific type of alarm call, known as the alarm whistle, is part of the rock cavy's acoustic repertoire (Lacher, 1981). This call is easily detectable in the wild during threatening situations, such as agonistic encounters involving the rock cavy (Almeida, 2021; Alencar-Junior, 2011). It has been suggested that this call carries complex social information and not just information about danger (Lacher, 1981; Alencar-Junior, 2011; Almeida, 2021). The alarm whistle, when recorded in different areas and under different levels of anthropogenic impact, shows variations in the number of pulses and in acoustic parameters (high and peak frequencies), suggesting that it is a possible ecological acoustic indicator for the species in the wild (Almeida, 2021).

It is known that other rodents adjust their alarm calls according to the type of predator or urgency of response to a threat (*Rhombomys opimus* Randall & Rogovin, 2002; *Marmota caudata* and *M. marmota*, Blumstein, 2007; *Tamiasciurus hudsonicus* Shannon & Digweed, 2009). Thus, the aim of this study was to compare the acoustic responses of *K. rupestris* in different threat contexts in the species' natural environment, to test whether this vocalization is associated with the type of predator or urgency of response to the threat. Following the literature, it can be predicted that *Kerodon rupestris* will adjust its alarm vocalizations according to the type and proximity of the threat, as observed in other species. For example, studies reveal that mammals emit different alarm calls for specific predators (Macedonia & Evans, 1993), and these vocalizations can vary in intensity and frequency depending on the severity of the threat (Cheney & Seyfarth, 1988; Zuberbuhler, 2000). In squirrels, more intense alarm calls occur in response to more dangerous predators (Chebey, 2015), and this intensity increases with the proximity of the threat (Mclachlan; Magrath, 2020). Studies on social rodents, such as *Rhombomys opimus*, also show that closer threats result in more frequent and intense calls (Randall & Rogovin, 2002), while marmots modulate their vocalizations according to the urgency of the situation (Blumstein, 2007). These findings suggest that *Kerodon rupestris* will exhibit a similar pattern, with faster and

more intense vocalizations (shorter intervals between pulses) when confronted with natural predators and imminent threats.

Following the literature (e.g., Macedonia & Evans, 1993; Cheney & Seyfarth, 1988; Zuberbuhler, 2000; Chebey, 2015; Mclachlan & Magrath, 2020), it can be predicted that the rock cavy will respond with a higher frequency of alarm calls and more intense alarm vocalizations, characterized by shorter intervals between pulses, in situations involving greater threats (such as natural predators) compared to less threatening situations (like exposure to humans and other primates). In addition, we expect that a shorter distance between the threats and the rock cavy will lead to more intense alarm calls with shorter intervals between pulses, as these phenomena have already been found in other species (Randall & Rogovin, 2002; Blumstein, 2007).

2. Material and methods

2.1. Ethical note

This study was approved by the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio) (#80143-1), the Institute for the Environment and Water Resources (INEMA) (#24.230 #26.010) and the Ethics Committee for the Use of Animals in Experimentation at the State University of Santa Cruz (CEUA-UESC) (#021/21).

2.2 Study area and animals

The study was carried out in two conservation units (CUs), namely the State Park of the Serra dos Montes Altos (PESMA) and the Serra dos Montes Altos Wildlife Refuge (REVISMA), between the latitudes 14°16' and 14°39'S and longitudes 42°46' and 43°46'W (Figure 1). These CUs are located in the southwestern region of the state of Bahia and are part of Brazil's semi-arid region with an average annual rainfall of 694 mm. (Freire & Silva, 2019). The geopolitical division of these areas is between six municipalities: Candiba, Guanambi, Palmas de Monte Alto, Pindaí, Urandi and Sebastião Laranjeiras. The PESMA and REVISMA are habitats for many rare and endemic species of caatinga and cerrado

ecosystems and their transition areas (Barros & Almeida, 2018). The natural landscape is characteristic of these ecotone zones, with a transition from herbaceous to arboreal caatinga vegetation, rupestrian fields, gallery forests and relief with the presence of the sertanejo pediplain, the São Francisco River depression and the central mountains of the Espinhaço plateau. (Tasso & Chang, 2013).

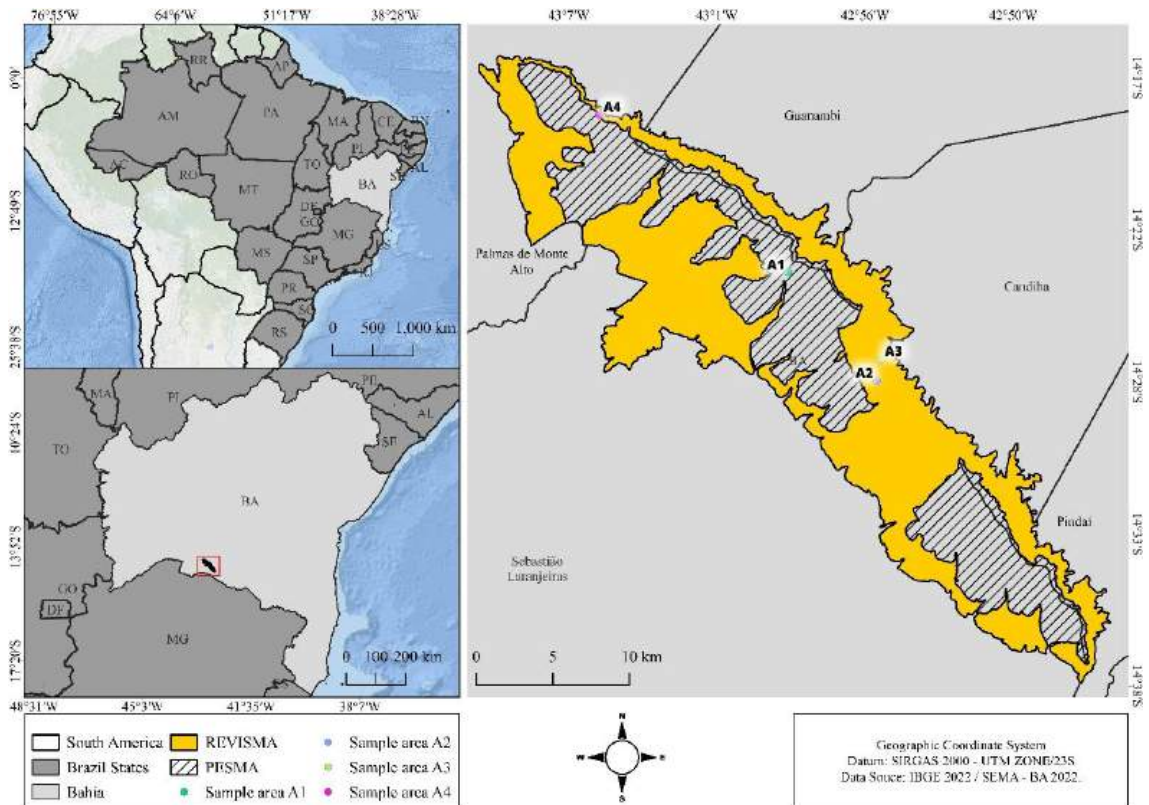


Figure 1: Location of the study area.

Four sampling areas were selected within the CUs, one located on the edge of PESMA (A1: 3,189 m² central coordinate (CC) 14°24'10"S 42°58'47" W) and the others (A2: 3. 285 m² CC: 14°27'22"S 42°55'08" W; A3: 2,955 m² CC: 14°26'53"S 42°55'11" W; A4: 3,036 m² CC: 14°18'19"S 43°05'30" W) located in REVISMA. These areas have similar natural vegetation and landscape characteristics, with a predominance of shrubby and herbaceous vegetation strata typical of the caatinga, made up of dry branches and thorny plants. They are also characterized by the presence of large boulders, with no evidence of recent fires or other severe anthropogenic changes to the landscape. Two of these areas (1

and 2) are difficult to access and are located further away from human settlements (≥ 6 km) and are therefore less subject to human activity. The other areas (3 and 4) are located closer (≥ 800 m) to human habitation and are used as a source of economic resources for local populations through small-scale farming and livestock activities. The sampling areas were chosen after carrying out 12 field expeditions between the months of December (2021) and January (2022), with direct and indirect searches (traces) for the animals, as well as consulting the literature (Barros & Almeida, 2018; Almeida, 2021) on the occurrence of *K. rupestris* and possible predators for the study area. We also took into account the information provided by the CU guards who monitor the security of the site, visualize the groups of rock cavy and possible predators in certain areas and informed us about accessibility. In this study, we consider individuals that inhabit a single rocky outcrop to be a rock cavy group. In this context, data was collected from 16 social groups distributed equally across each area. Each group had an average of 21 (SE = 0.34) individuals. We made this estimate based on direct observation of the rock cavies that inhabited the rock outcrops. The rock cavies were counted by viewing the entire group of individuals with the naked eye or using binoculars (Urban gate model 80x80). We considered the largest number of individuals seen at one time on the rocky outcrop in each expedition.

2.3. Data collection

Data collection was carried out between January and December 2022, with 84 field expeditions (920 hours). The alarm calls and associated behaviors were collected simultaneously using the ad libitum method (Altmann, 1974) by an observer (WN) who recorded the behaviors associated with the sound emissions, and a field assistant who recorded the calls using an acoustic recorder (details below). We estimated the period of greatest rock cavy activity (day or night) in the study area to determine the optimal collection time, given the conflicting findings regarding the peak activity period (day or night) of the

species (Lacher, 1981; Mares et al., 1981; Delciellos, 2016; Dias et al., 2018).

For this estimate, in addition to observations of the animals in the field, we installed six camera traps (three bushnell model 119436, two suntek hc-300A and one suntek hc-550A), which remained active in the field for 48 days (12 days for each sampling area divided into three days for each group investigated) in the pilot period of the study (December/2021 to mid-January/2022). The cameras were programmed in video mode (one minute of recording with a 30-second interval between recordings), triggered via a motion-temperature sensor, installed in pairs and kept running 24 hours a day. In total, we obtained 189 records of animals, with 81% of the records between 06h00 and 18h00, suggesting greater daytime activity by animals in the areas. In view of this result, we defined the collection period as between 06h00 and 17h00.

The acoustic signals were recorded using a portable digital recorder (mono mode, WAV format, 48 kHz sampling rate and 24-bit resolution), Tascam DR-44WL (Tokyo, Japan), coupled to a Sennheiser MKE 600 unidirectional microphone (Wedemark, Germany). To ensure the start of the animals' sound emission was not missed, the "pre-rec" function was set to 5 seconds. This feature guarantees that the vocalization is captured even before the recording function is fully activated. Thus, when the rock cavy vocalized, the recorder was manually triggered and kept running until the animal finished making sounds. The recorder was then put into standby mode only after the vocalization had ceased. For data collection, the observer and assistant used collection posts (on trees and high rocks), which ensured approximately 3.0 to 6.0 meters from the animals sampled and made it possible to spot the behaviors associated with the vocalizations. The observer's posts were selected during the pilot phase based on sightings of rock cavy on rocks, latrine points, and the proximity of potential collection sites to rock crevices (≥ 0.2 m apart and ≤ 1.5 m deep). This selection allowed for the observation of behaviors associated with rock cavy sound emission in these areas used for refuge and nesting. During the pilot study, the rock cavy's

reactions were observed at different distances in relation to threats such as ocelots (*Leopardus pardalis*), humans and dogs. When these threats were at less than 25 m from the collection points, the rock cavy emitted alarm calls that sounded more frequent and intense. Therefore, during sampling, the distance of the possible threat from the collection points was considered, with the determination of close threats (< 25 m) and distant threats (≥ 25 m). To do this, we delimited the space based on natural structures in the environment (positioning of rocks, stones, trees and bushes). The distance in the field was measured with a tape measure. Aerial predators (birds of prey) were considered a distant threat because they flew over the rocky outcrops without landing or attacking (approaching) the rock cavy.

The sex of the animals was identified by viewing the animal's genitalia at the time of the acoustic and behavioral recording. At times when the individual being sampled moved away from the observation points, its genitals were observed using binoculars. When identification was not possible or doubtful, the animal was recorded in the unidentified sex category. The classification of age group was based on observing the size of the individuals, as adults and offspring are easily distinguishable in terms of body size (Conceição & Bocchiglieri, 2021). The animals were habituated to the presence of researchers during the pilot period. During this period, differences were observed and recorded between the areas in terms of the waiting time for the animals to return to their general activities after the researchers had occupied the observation posts. Therefore, before starting data collection, the average waiting time recorded in each area was presumed (A1: 50 min; SE: 3.17 A2: 52 min; SE: 2.17 A3: 37 min; SE: 1.54; A4: 30 min; SE: 1.93).

2.4. Acoustic analysis

The aural and visual inspection of the alarm calls was carried out on a Vostro 5320 laptop computer (Dell Technologies, Texas, USA) coupled with a Tascam Lineup US-16x08 audio interface (Tokyo, Japan) and a pair of audio reference monitors (Yamaha Hs8, Japan) with a frequency response of 38Hz ~ 30KHz (-10dB) / 47Hz ~ 24KHz (-3dB). We

used Raven Pro software version 1.6 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY) using the settings: Hann-type window, window size 1351 samples, 90% overlap in the time domain, and DFT size 4096. Based on this inspection, we selected the emissions with the least interference from environmental noise and the best graphic image quality. For each pulse (element, note, syllable) we measured the parameters of minimum frequency, maximum frequency, delta time, peak frequency, delta frequency, delta power, average amplitude, maximum amplitude, minimum amplitude, 1st quartile frequency 25%, 3rd quartile frequency 75%, energy, aggregate entropy, average entropy, maximum entropy, pulses interval and number of pulses. We chose these acoustic parameters because it is possible to extract a range of information about vocalizations and animals, as already shown in the literature (Blumstein & Arnold, 1995; Randall & Rogovin, 2002; Shannon & Digweed, 2009; Lima et al., 2022).

2.5. Data analysis and statistics

To test the classification of the different types of vocalizations recorded in the threat contexts, we initially categorized them by aural and visual inspection, and then applied discriminant function analysis (DFA) of the acoustic parameters (see section on acoustic analysis), using the cross-validation test.

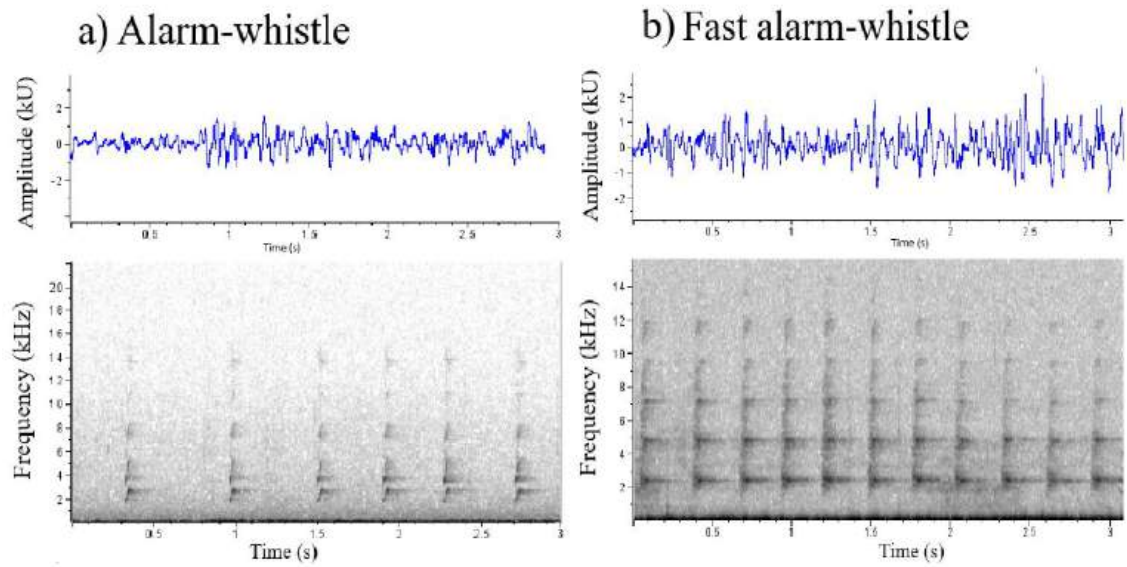
To check whether there were differences in the number of vocalizations according to study area, sex of rock cavy, type of threat and distance from the threat, the general linear model (GLM) was applied, one model for each variable, followed by Tukey's post hoc tests when appropriate. We considered the study area, the sex of the rocky cavy, the type of threat and the distance from the threat as fixed factors of the model. In these models, the identity of the individuals was included as a random factor, due to repeated observations of the same rock cavy. The residuals of the models were visually checked for normal distribution and homoscedasticity and the logarithmic transformation was applied to meet the assumptions of the method.

The generalized mixed linear models (GLMM) were applied to check for differences between the interval between alarm vocalization pulses emitted by the rock cavy, followed by Tukey's post hoc tests when appropriate. In the model, the type of threat and distance from the threat were considered fixed factors. In this model, the identity of the individuals was also included as a random factor, due to repeated observations of the same rock cavy. The residuals of the models were visually checked for normal distribution and homoscedasticity and were considered adequate. Statistical analyses were conducted using the Minitab program (v. 21.4.3), with a significance level set at $\alpha < 0.05$.

3. Results

3.1. Types of alarm calls

The rock cavy emitted two types of alarm vocalizations (Figure 2) when faced with threatening situations: alarm whistle and fast alarm whistle. The most frequent vocalization, the alarm whistle, was emitted 1952 times. The fast alarm whistle was emitted 197 times. Using the DFA cross-validation test, it was found that the alarm whistle was classified correctly 1871 times (98.4%), while the fast alarm whistle was classified correctly 196 times (99.5%). Table 1 shows the acoustic parameters of the alarm whistle and fast alarm whistle vocalizations, considering only the correctly classified recordings.



1953

1954 Figure 2. Representations of the rock cavy's alarm calls. Oscillogram and spectrogram with
 1955 six pulses of the so-called alarm whistle (a), oscillogram and spectrogram with eleven pulses
 1956 of the so-called fast alarm whistle (b).

1957 Table 1. Acoustic parameters of alarm vocalizations (alarm whistle and fast alarm whistle) emitted by rock cavy in the face of threats.

Variable	Vocal type*	N	Average	S. E.**	Minimum	Maximum
Number of Pulses	A. Whistle	1871	35.7	0.6	10	123
	F.A. Whistle	196	34.3	1.5	10	81
Pulses interval (s)	A. Whistle	1834	0.2	0.0	0.0	1.0
	F.A. Whistle	195	0.0	0.0	0.0	0.1
Low frequency (Hz)	A. Whistle	1871	902862	2204	8028	1398745
	F.A. Whistle	196	895433	4050	739945	1057065
High frequency (Hz)	A. Whistle	1871	14931825	86911	184428	15000000
	F.A. Whistle	196	13765008	29932	12949043	14650169
Delta time (s)	A. Whistle	1871	0.3	0.0	0.1	0.4
	F.A. Whistle	196	0.1	0.0	0.1	0.2
Peak frequency (Hz)	A. Whistle	1871	2719075	17271	843750	5340234
	F.A. Whistle	196	2678247	54775	2153320	4995703
Delta frequency (Hz)	A. Whistle	1871	14022254	46118	9343220	19060169

	F.A. Whistle	196	12869574	30277	12034068	13753220
Delta Power (dB/Hz)	A. Whistle	1871	-17.7	0.2	-47.7	-2.0
	F.A. Whistle	196	-16.4	0.5	-37.0	-3.3
Average amplitude (U)	A. Whistle	1871	2853	3371	-1116035	2573514
	F.A. Whistle	196	-7979	3511	-408715	183124
Maximum amplitude (U)	A. Whistle	1870	2572587	100712	-562000	32767000
	F.A. Whistle	196	341903	53228	68000	9958000
Minimum amplitude (U)	A. Whistle	1871	-2517822	97940	-33000000	334000
	F.A Whistle	196	-320709	49090	-9350000	-82000
1st quartile frequency 25% (Hz)	A. Whistle	1871	2488901	11857	861328	5081836
	F.A Whistle	196	2504443	45516	1378125	4909570
3rd quartile frequency 75% (Hz)	A. Whistle	1871	3289753	21244	1205859	6976758
	F.A Whistle	196	3028491	66416	2325586	5081836
Energy (dB FS)	A. Whistle	1871	-13378	193	-39006	6778
	F.A Whistle	196	-15679	669	-31665	6957

Aggregate entropy (bits)	A. Whistle	1871	14022254	46118	9343220	19060169
	F.A Whistle	196	12869574	30277	12034068	13753220
Average entropy (bits)	A. Whistle	1871	4209.4	17.8	2020	6285
	F.A Whistle	196	3788.7	65.4	1774	6091
Maximum entropy (bits)	A. Whistle	1871	4720.7	22.9	2020	6928
	F.A Whistle	196	4467.5	42.5	2226	6091

1958 * A. Whistle: Alarm whistle; F.A. Whistle: Fast alarm whistle.

1959 ** S.E.: Standard Error.

3.2. Description of alarm call emissions

The alarm whistle was emitted by rock cavies in all the sampling areas. However, while in Area 1 these vocalizations were emitted in the presence of the tayra (*Eira barbara*) and yellow-breasted capuchin monkeys (*Sapajus xanthosternos*), in Area 4 they were emitted in the presence of birds of prey (possibly *Caracara plancus*), dogs (*Canis familiaris*), humans and ocelots. In Area 2, rock cavies emitted alarm whistles in the presence of marmosets (*Callithrix spp.*) and when these animals were nearby (≤ 25 m away). In Areas 3 and 4, the rock cavies emitted alarm calls when threatened by ocelots that were far away (> 25 m away), while in Areas 2 and 4 the rock cavies emitted an alarm whistle when threatened by a bird of prey that was far away (> 25 m away) (Table 2). In Areas 1 and 2, six rock cavies emitted alarm whistles, while in Areas 3 and 4, eight and 12 individuals, respectively, emitted these vocalizations (Table 3).

1972 Table 2. Number of alarm whistle emissions by rock cavies according to the type of threat
 1973 and its distance (near and far).

Area	Threat	Far away	Close
Area 1	Tayra	199	34
	Yellow-breasted capuchin monkey	67	33
Area 2	Bird of prey	139	0
	Marmoset	0	65
Area 3	Dog	36	234
	Human	91	217
	Ocelot	30	0
Area 4	Bird of prey	157	0
	Dog	84	273
	Human	59	99
	Ocelot	54	0

1974

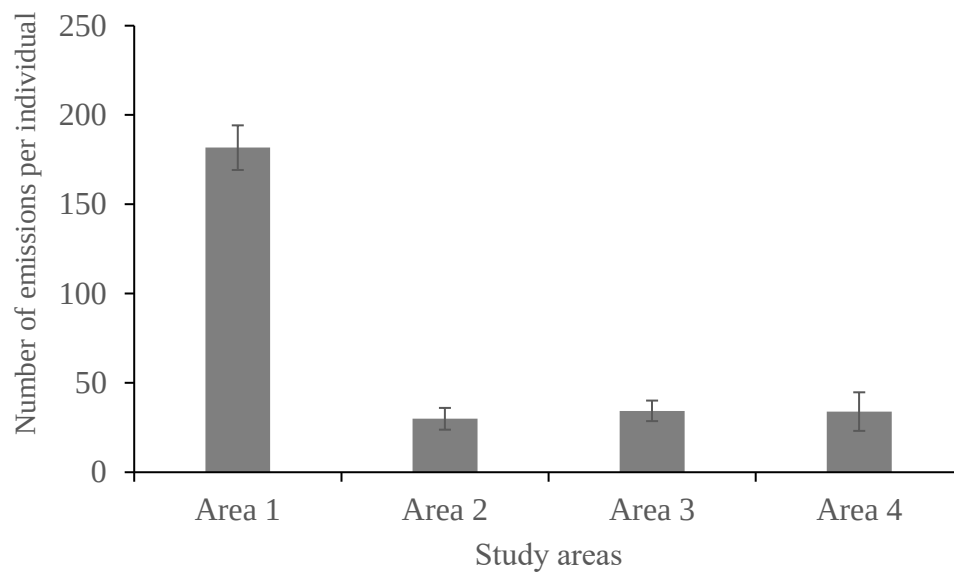
1975 Table 3. Number of males and females who emitted alarm whistles according to the study
 1976 areas.

	Male	Female	Unidentified
Area 1	2	2	2
Area 2	2	2	2
Area 3	5	5	3
Area 4	5	6	1

1977

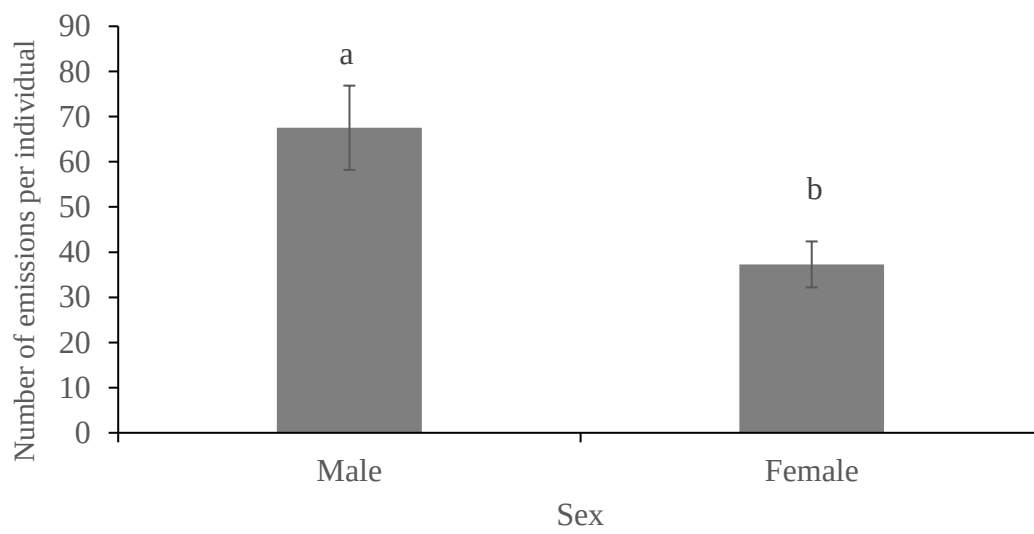
1978 There was a tendency for rock cavies to emit more alarm whistles per individual
1979 on average in Area 1 compared to the other areas ($F_{3, 16} = 3.14$, $P = 0.054$) (Figure 3a).
1980 There was an effect of the sex of the rock cavies on the number of alarm whistles
1981 ($F_{1, 16} = 13.68$, $P = 0.002$). The post hoc tests showed that, on average, males emitted
1982 more alarm whistles than females (Figure 3b). There was also an effect of threat type on
1983 the number of alarm whistles emitted by rock cavies ($F_{6, 16} = 6.51$, $P = 0.021$). Post hoc
1984 tests showed that rock cavies emitted more alarm whistles, on average, to birds of prey
1985 than to humans and yellow-breasted capuchin monkeys (Figure 3c). There was also an
1986 effect of distance from the threat on the number of alarm whistles emitted by rock cavies.
1987 The post hoc tests showed that rock cavies emitted more alarm whistles on average when
1988 the threats were close (≤ 25 m away) ($F_{1, 16} = 13.68$, $P = 0.002$) (Figure 3d). There was no
1989 effect of the interaction between the sex of the rock cavies and the distance from the threat
1990 ($F_{1, 16} = 1.73$, $P = 0.207$).

1991 a)



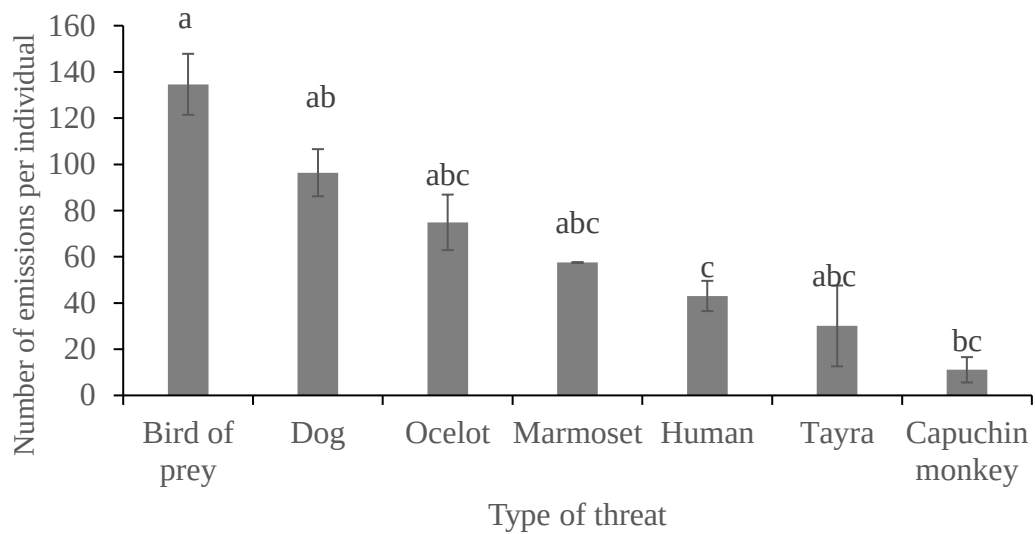
1992

1993 b)



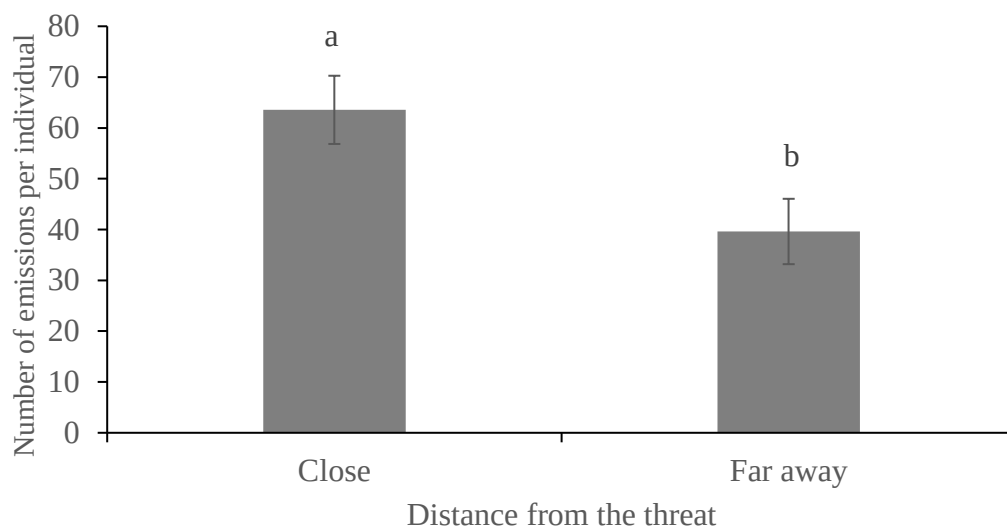
1994

1995 c)



1996

1997 d)



1998

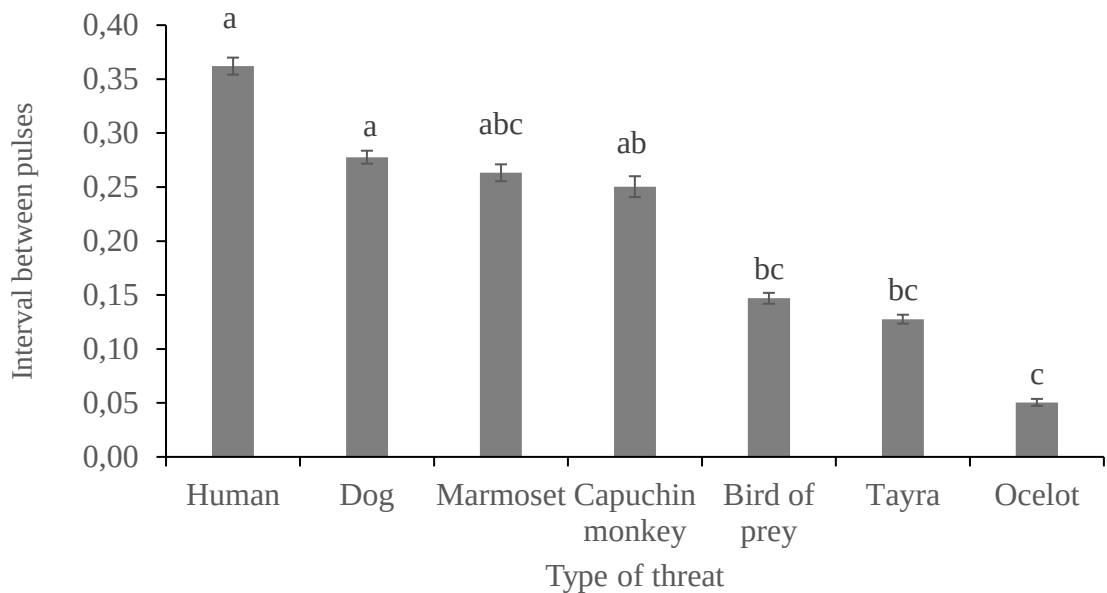
1999 Figure 3: Averages ($\pm$ standard error) of the number of alarm whistle emissions
 2000 per individual by rock cavies according to study area (a), sex (b), type of threat (c) and
 2001 distance from the threat (d). Different letters above the columns indicate differences
 2002 between the means ($P < 0.05$).

2003 The fast alarm whistle was only emitted by rock cavies in Areas 3 and 4 when
 2004 faced with the threat of ocelots and when this predator was nearby (≤ 25 m away). In Area
 2005 3, the fast alarm whistle was emitted 81 times by an adult male, while in Area 4 the fast
 2006 alarm whistle was emitted 115 times by two adult females.

2007 **3.3. Differences in the acoustic parameters of alarm vocalizations**

2008 It was observed that both the type of threat ($F_{6, 28.74} = 15.60$, $P < 0.001$) and the
 2009 proximity of the threat ($F_{1, 329.56} = 30.26$, $P < 0.001$) affected the intervals between pulses
 2010 of the alarm whistles emitted by the rock cavies. The post hoc tests showed that, on
 2011 average, rock cavies emitted alarm whistles with longer intervals between pulses when
 2012 faced with threats from humans and dogs than birds of prey, tayras and ocelots (Figure
 2013 4a). Additionally, when the threat was closer, the rock cavies emitted alarm whistles with
 2014 shorter intervals between pulses (Figure 4b).

2015 a)



2016

2017 b)

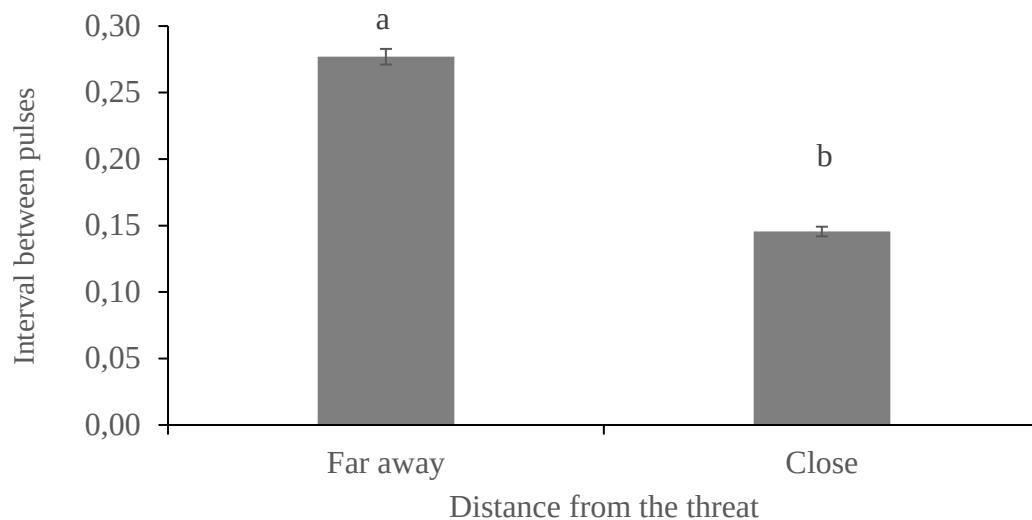


Figure 4 - Means ($\pm$ standard error) of the intervals between alarm whistle pulses emitted by rock cavies according to the type of threat (a) and distance from the threat (b). Different letters above the columns indicate differences between the means ($P < 0.05$).

4. Discussion

As we predicted, the rock cavies emitted alarm calls with shorter intervals between pulses when confronted with natural predators, compared to situations involving lower threats, such as the presence of humans and other primates. The shorter distance from the threat to the rock cavies also promoted the emission of more intense alarm whistles with a shorter interval between pulses. Moreover, a greater number of alarm whistle pulses were recorded in contexts of greater threat. These results confirm our hypotheses.

In addition to corroborating the hypotheses, our results showed a new alarm call for *K. rupestris*, not mentioned in the current literature. The acoustic repertoire of this species only includes the description of the alarm whistle (Lacher, 1981; Monticelli & Alencar-Junior, 2021). Here, we describe the fast alarm whistle as a new type of alarm call of the rock cavy. This call is structurally similar to the alarm whistle (Figure 2), but the two differ in relation to acoustic parameters (Table 1). In our records, the fast alarm

whistle was emitted only in the presence and proximity of *L. pardalis*, possibly the predator with the greatest potential lethality for the rock cavy in this study area. Thus, we believe that the fast alarm whistle can be an exclusive call in the context of a high risk for the survival of rock cavies in the wild. This has also been observed in other rodents that emit specific alarm calls denoting more dangerous contexts (*Otospermophilus beecheyi*, Owings & Virginia, 1978; *Marmota flaviventris* Blumstein & Armitage, 1997; *Atlantoxerus getulus* Marel, Darias & Waterman, 2019).

Referential alarm calls alert conspecifics about different types or categories of predators (aerial or terrestrial) and have been widely described for mammals (Macedonia and Evans, 1993; Furrer & Manser, 2009; Zuberbuhler, 2000; Chebey, 2015) and birds (Bugnyar, Kijne & Kotrschal, 2001; Templeton, Greene & David, 2005; Marino, 2017). However, the differences we recorded in the rock cavy's alarm whistle were mainly influenced by the distance of the threat from the sender (Figures 3d and 4b), which reveals behavioral plasticity in relation to the type of risk. This result is similar to that shown for yellow-bellied marmots (*Marmota flaviventris*), which warn of greater dangers with faster (more units per time interval) and more frequent calls (Blumstein, 2007). We believe that the rock cavy adjusts the alarm whistle to provide information about the urgency of the response to the threat, discriminating it as a greater or lesser risk to its survival. This result is compatible with that shown for other rodent species (e.g., *Otospermophilus variegatus*, Krenz, 1977; *Marmota caudata*, Blumstein, 1995; *M. marmota*, Blumstein & Arnold, 1995; *Urocitellus richardsonii*, Sloan, Wilson & Hare 2005; *U. columbianus* Harris et al., 2010), which use alarm calls to inform of threats of a greater or lesser degree without distinguishing the type of predator.

Animals that live in complex habitats, such as semi-arboreal species that live in open forests, need information about the type of predator to favor escape success

(Macedonia & Evans 1993; Price & Chebey, 2015), as they are hunted by different predators that use different hunting strategies (Greene & Meagher, 1998; Zuberbuhler, 2000). On the other hand, for species that live in more enclosed environments and use burrows to protect themselves from predation, it is usual for them to report the urgency or degree of threat (Blumstein & Armitage, 1997; Mcrae, 2020). Thus, the variations we recorded in the alarm whistle of the rock cavy are compatible with the lifestyle of this rodent that lives in the rocky outcrops of the Brazilian caatinga (Dias et al., 2018), where it uses rock crevices for shelter and protection (Lacher, 1981). However, being herbivorous and making use of the arboreal space to obtain food (Lacher, 1981; Willig & Lacher, 1991), the rock cavy may occasionally experience environments that demand referential alarm calls. From this perspective, we recorded more intense alarm whistles in the presence of the ocelot compared to other natural predators (Figure 4a) and fast alarm whistles emitted exclusively in the presence and proximity of the ocelot. However, since we conducted an observational study, we suggest applying experimental tests (e.g., Blumstein, 2007; Furrer & Manser, 2009; Mcrae, 2020) to investigate possible referential signaling in rock cavy alarm calls.

In our records and according to the literature (Lacher, 1981; Monticelli & Alencar-Junior, 2021), the alarm whistle was emitted exclusively by adults. Therefore, there is strong evidence that this call is exclusively emitted by individuals in this age group. In addition, the alarm whistle was emitted in the presence of primates (Table 1) that apparently posed no risk to the rock cavy's survival. Lacher (1981) also recorded this call in non-threatening contexts and suggests that this call may contain complex information in addition to warning of danger. In other studies (Alencar-Junior, 2011; Almeida, 2021), the alarm whistle was recorded in agonistic contexts of dispute between co-species. Thus, to better describe the use of this vocalization by rock cavies, we believe it is necessary to

investigate this call from the perspective of experimental call function tests (e. g. Nogueira et al., 2012; Dos Santos et al., 2014).

5. Conclusion

This study provides compelling evidence that the presence of natural predators and the proximity of threats significantly influence the alarm whistles of rock cavies (*Kerodon rupestris*). Specifically, these cavies emit alarm whistles with shorter intervals between pulses when faced with immediate danger. Moreover, faster alarm whistles are produced only in the presence and close proximity of predators with high hunting potential. These findings show that the distance and type of threat lead to adjustments in the alarm calls of rock cavies, highlighting their sophisticated communication system. Therefore, we conclude that *K. rupestris* signals greater dangers by emitting faster calls with shorter intervals between pulses, underscoring the adaptive significance of their vocal responses in predator evasion.

6. References

- Alencar-Junior, R. N. (2011). The acoustic repertoire of a caatinga rock specialist, the rock cavy. (Master's dissertation, São Paulo University, São Paulo, Dept. Psicol. Exp.). 102 p.
- Almeida, W. N. (2021). Acoustic indicators for the conservation of the rock cavy (*Kerodon rupestris*) in disturbed caatinga areas. (Master's dissertation, Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia-Brasil, Dept. Ciências Biológicas). 74 p.
- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour*, 49, 227–267. <https://doi.org/10.1080/14794802.2011.585831>
- Barros, K. S., & Almeida, W. N. (2018). Mamíferos terrestres do Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, Bahia: primeiros foto-registros. *Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia*, 83, 162–167.
- Blumstein, D. T. (1999). Alarm calling in three species of marmots. *Behaviour*, 136, 731–757.
- Blumstein, D. T., & Armitage, K. B. (1997). Does sociality drive the evolution of communicative complexity? A comparative test with ground-dwelling sciurid alarm calls. *The American Naturalist*, 150, 179–200. <https://doi.org/10.1086/286062>
- Blumstein, D. T., & Arnold, W. (1995). Situational specificity in alpine-marmot alarm communication. *Ethology*, 100, 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1995.tb00310.x>
- Blumstein, D. T. (1995). Golden-marmot alarm calls: The production of situationally specific vocalizations. *Ethology*, 100, 113–125.
- Blumstein, D. T. (2007). The evolution, function, and meaning of marmot alarm communication. *Advances in the Study of Behavior*, 37, 371–401.

2123 Bonvicino, C., Oliveira, J., & D’Andrea, O. (2008). Guia dos roedores do Brasil
 2124 com chaves para gêneros baseadas em caracteres externos. Rio de Janeiro: Organização
 2125 Pan-Americana da Saúde. 120 p.

2126 Bugnyar, T., Kijne, M., & Kotrschal, K. (2001). Food calling in ravens: are
 2127 ‘yells’ referential signals? *Animal Behaviour*, 61, 949–958.
 2128 <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1668>

2129 Caro, T. (2005). *Antipredator defenses in birds and mammals*. Chicago:
 2130 University of Chicago Press.

2131 Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (1988). Assessment of meaning and the
 2132 detection of unreliable signals by vervet monkeys. *Animal Behaviour*, 36, 477–486.

2133 Conceição, A. M., & Bocchiglieri, A. (2021). Population density and use of
 2134 space by *Kerodon rupestris*: An endemic and threatened rodent in the semiarid areas of
 2135 Brazil. *Journal of Arid Environments*, 186, 1–7.
 2136 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104425>

2137 Delciellos, A. C. (2016). Mammals of four Caatinga areas in northeastern Brazil:
 2138 inventory, species biology, and community structure. *Check List*, 12, 1–15.

2139 Dias, D. M., Campos, C. B., & Rodrigues, F. H. G. (2018). Behavioural ecology
 2140 in a predator-prey system. *Mammalian Biology*, 92, 30–36.

2141 Dos Santos, E., Tokumaru, R., Nogueira Filho, S., & Nogueira, S. (2014). The
 2142 effects of unrelated offspring whistle call on capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*).
 2143 *Brazilian Journal of Biology*, 74, 171–176. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.25212>

2144 Freire, J. M. S., & Silva, J. S. (2019). Clado Mimosoide (Leguminosae e
 2145 Caesalpinioideae) no Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, Bahia, Brasil.
 2146 *Rodriguésia*, 70. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201970093>

2147 Furrer, R. D., & Manser, M. B. (2009). The evolution of urgency-based and
 2148 functionally referential alarm calls in ground-dwelling species. *The American*
 2149 *Naturalist*, 173, 400–410. <https://doi.org/10.1086/596541>

2150 Gill, S. A., Bierema, A. M. K., & Hauber, M. (2013). On the meaning of alarm
 2151 calls: a review of functional reference in avian alarm calling. *Ethology*, 119, 449–461.
 2152 <https://doi.org/10.1111/eth.12097>

2153 Greene, E., & Meagher, T. (1998). Red squirrels, *Tamiasciurus hudsonicus*,
 2154 produce predator-class specific alarm calls. *Animal Behaviour*, 55, 511–518.

2155 Harris, M. A., Murie, J. O., & Duncan, J. A. (2010). Responses of Columbian
 2156 ground squirrels to playback of recorded calls. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 63, 318–
 2157 330. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1983.tb00747.x>

2158 Hollén, L. I., & Radford, A. N. (2009). The development of alarm call behaviour
 2159 in mammals and birds. *Animal Behaviour*, 78(4), 791–800.
 2160 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.07.021>

2161 ICMBio. (2018a). *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*
 2162 (Vol. 1, pp. 66–70). Available at
 2163 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf)
 2164 [diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf) (Accessed April 10, 2021).

2165 ICMBio. (2018b). *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*
 2166 (Vol. 2, pp. 401–403). Available at
 2167 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf)
 2168 [diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf) (Accessed April 10, 2021).

2169 INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Available at
 2170 <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A426> (Accessed March 15, 2023).

2171 Lacher, T. E. (1981). The comparative social behavior of *Kerodon rupestris* and
 2172 *Galea spixii* and the evolution of behavior in the Caviidae. *Bulletin of the Carnegie*
 2173 *Museum of Natural History*, 17, 1–71.

2174 Lima, A. F., Lima, S. G., Nogueira-Filho, S. L., Held, S., Paul, E., Mendl, M., &
 2175 Nogueira, S. S. (2022). Vocal expression of emotions in farmed spotted paca (*Cuniculus*
 2176 *paca*). *Applied Animal Behaviour Science*, 105753.
 2177 <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105753>

2178 Macedonia, J. M., & Evans, S. (1993). Variation among mammalian alarm call
 2179 systems and the problem of meaning in animal signals. *Ethology*, 93, 177–197.

2180 Marel, V. A., Darias, L. M., & Waterman, J. M. (2019). Group-enhanced
 2181 predator detection and quality of vigilance in a social ground squirrel. *Animal*
 2182 *Behaviour*, 151, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.02.017>

2183 Mares, M. A., Willig, M. R., Streilein, K. E., & Lacher, T. E. (1981). The
 2184 mammals of northeastern Brazil: a preliminary assessment. *Annals of the Carnegie*
 2185 *Museum*, 50, 81–137.

2186 Marinho, P. H., Bezerra, D., Antongiovanni, M., Fonseca, C. R., & Venticinque,
 2187 E. M. (2018). Activity patterns of the threatened northern tiger cat *Leopardus tigrinus*
 2188 and its potential prey in a Brazilian dry tropical forest. *Mammalian Biology*, 89, 30–36.
 2189 <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.12.004>

2190 Marino, L. (2017). Thinking chickens: a review of cognition, emotion, and
 2191 behavior in the domestic chicken. *Animal Cognition*, 20, 127–147.
 2192 <https://doi.org/10.1007/s10071-016-1064-4>

2193 Mclachlan, J. R., & Magrath, R. D. (2020). Speedy revelations: how alarm calls
 2194 can convey rapid, reliable information about urgent danger. *Proceedings of the Royal*
 2195 *Society*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2772>

2196 Mcrae, T. R. (2020). A review of squirrel alarm-calling behavior: What we
 2197 know and what we do not know about how predator attributes affect alarm calls. *Animal*
 2198 *Behavior and Cognition*, 7, 168–191. <https://doi.org/10.26451/abc.07.02.11.2020>
 2199 MMA, Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria N° 148, de 7 de junho de
 2200 2022. Available at: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html)
 2201 [atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html) (Accessed: 10
 2202 April 2022).
 2203 Monticelli, P. F., & Alencar-Junior, R. N. (2021). The acoustic behavior of the
 2204 Brazilian caatinga big rodent is incongruent to its actual position in Hydrochoerinae.
 2205 *Behaviour Processes*, 193, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104523>
 2206 Morton, E. S. (1982). Grading, discreteness, redundancy and motivational-
 2207 structural rules. In Kroodsma, D. E., Miller, E. H., & Ouellet, H. (Eds.), *Acoustic*
 2208 *Communication in Birds* (pp. 183–211). San Diego: Academic Press.
 2209 Morton, E. S. (1977). On the occurrence and significance of motivation-
 2210 structural rules in some bird and mammal sounds. *American Naturalist*, 111, 855–869.
 2211 Owings, D. H., & Virginia, R. A. (1978). Alarm calls of California ground
 2212 squirrels (*Spermophilus beecheyi*). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 46, 58–70.
 2213 <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1978.tb01438.x>
 2214 Price, T., Wadewitz, P., & Cheney, D. (2015). Vervets revisited: A quantitative
 2215 analysis of alarm call structure and context specificity. *Scientific Reports*, 5, 13220.
 2216 <https://doi.org/10.1038/srep13220>
 2217 Randall, J. A., & Rogovin, K. (2002). Variation in and meaning of alarm calls in
 2218 a social desert rodent *Rhombomys opimus*. *Ethology*, 108, 513–527.
 2219 <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2002.00797.x>

2220 Rendall, D., Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2000). Proximate factors
 2221 mediating "contact" calls in adult female baboons (*Papio cynocephalus ursinus*) and
 2222 their infants. *Journal of Comparative Psychology*, 114, 36–46.
 2223 <https://doi.org/10.1037/0735-7036.114.1.36>
 2224 Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., & Marler, P. (1980). Monkey responses to three
 2225 different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic communication.
 2226 *Science*, 210, 801–803.
 2227 Shannon, M. D., & Drew, R. (2009). Predator-associated vocalizations in North
 2228 American red squirrels, *Tamiasciurus hudsonicus*: are alarm calls predator specific?
 2229 *Animal Behaviour*, 78, 1135–1144. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.07.030>
 2230 Sloan, J. L., Wilson, D. R., & Hare, J. F. (2005). Functional morphology of
 2231 Richardson's ground squirrel, *Spermophilus richardsonii*, alarm calls: The meaning of
 2232 chirps, whistles and chucks. *Animal Behaviour*, 70, 937–944.
 2233 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.01.013>
 2234 Suzuki, T. N. (2011). Parental alarm calls warn nestlings about different
 2235 predatory threats. *Current Biology*, 21, R15–R16.
 2236 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.11.027>
 2237 Tasso, M. A. L., & Chang, M. R. C. (2013). Análise erosional da Serra de Monte
 2238 Alto entre Palmas de Monte Alto e Sebastião Laranjeiras, BA. *Revista Acta Geográfica*,
 2239 7, 107–121. <https://doi.org/10.5654/actageo2013.0714.0007>
 2240 Templeton, C. N., Greene, E., & David, K. (2005). Allometry of alarm calls:
 2241 black-capped chickadees encode information about predator size. *Science*, 208, 1934–
 2242 1937. <https://doi.org/10.1126/science.110884>
 2243 Willig, M. R., & Lacher, T. E. (1991). Food selection of a tropical mammalian
 2244 folivore in relation to leaf-nutrient content. *Journal of Mammalogy*, 72, 314–321.

- 2245 Zuberbuhler, K. (2000). Referential labeling in diana monkeys. *Animal*
2246 *Behaviour*, 59, 917–927. <https://doi.org/10.1006/anbe.1999.1317>

2247

Capítulo III

2248

2249

2250

2251

2252

2253 **A função dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle* em mocós (*Kerodon rupestris*)**

2254 **de vida livre**

2255 (Será submetido a *Ethology*)

A função dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle* em mocós (*Kerodon rupestris*) de vida livre

Resumo

K. rupestris é um roedor social ameaçado de extinção que utiliza sinais acústicos como principal canal de comunicação. Para a espécie, foram descritos dois tipos de chamados: o *alarm whistle*, associado a contextos de alarme, e o *slow whistle*, relacionado à comunicação de contato. Contudo, ainda há necessidade de testes experimentais para esclarecer as funções desses sinais. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar as repostas de mocós selvagens, que habitam uma unidade de conservação na região semiárida da Bahia, Brasil, aos playbacks dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle*. Inicialmente, gravamos 86 chamados *slow whistle* e 643 chamados *alarm whistle* *ad libitum* para a montagem dos playbacks. Posteriormente, aplicamos uma análise de função discriminante (DFA) para confirmar os chamados, que foram classificados como *slow whistle* (DFA = 0,96) e *alarm whistle* (DFA = 0,97). Testamos 16 indivíduos com o playback de *slow whistle* e 18 com o chamado de *alarm whistle*. Para ambos os testes, usamos como controle o playback do próprio ambiente com ruído mecânico de *Quesada gigas*. As respostas comportamentais dos animais foram registradas em vídeo e analisadas com o *software* CowLog. Os resultados mostraram que durante o playback do *alarm whistle*, os mocós permaneceram mais tempo em estado de alerta ($F_{2,24} = 35,42$, $P < 0,001$), além de fugirem de forma mais frequente em comparação ao teste controle ($F_{2,26} = 8,86$, $P < 0,001$). No teste com *slow whistle*, os indivíduos apresentaram maior tempo em repouso ($F_{2,28} = 19,78$, $P < 0,001$) e direcionaram a cabeça por mais tempo para a fonte sonora ($F_{2,18} = 8,61$, $P < 0,001$), quando comparado ao controle. Esses achados corroboram as funções sugeridas aos dois tipos de chamados. O *alarm whistle* está associado a situações de alerta, induzindo comportamentos de vigilância e fuga, enquanto o *slow whistle* é usado como chamado de contato, promovendo poucos movimentos e atenção na comunicação entre indivíduos.

Palavras-chave: Bioacústica; Caatinga; Contato social; Etologia; Vocalização.

**The function of the alarm whistle and slow whistle calls in free range rock cavy
(*Kerodon rupestris*)**

Abstract

K. rupestris is a socially living rodent threatened with extinction that uses acoustic signals as its primary communication channel. Two types of calls have been described for the species: the *alarm whistle*, associated with alarm contexts, and the *slow whistle*, related to contact communication. However, experimental tests are still needed to clarify the functions of these signals. Therefore, this study aimed to evaluate the responses of wild rock cavies inhabiting a conservation unit in the semi-arid region of Bahia, Brazil, to playbacks of *alarm whistle* and *slow whistle* calls. Initially, we recorded 86 *slow whistle* calls and 643 *alarm whistle* calls *ad libitum* for the construction of playback stimuli. Subsequently, we applied a discriminant function analysis (DFA) to confirm the calls, which were perfectly classified as *slow whistle* (DFA = 0.96) and *alarm whistle* (DFA = 0.97). We tested 16 individuals with the *slow whistle* playback and 18 with the *alarm whistle* playback. For both tests, we used an environmental control playback with mechanical noise from *Quesada gigas*. The animals' behavioral responses were recorded on video and analyzed using CowLog software. The results showed that during the *alarm whistle* playback, rock cavies remained alert for a longer time ($F_{2,24} = 35.42$, $P < 0.001$) and fled more frequently compared to the control test ($F_{2,26} = 8.86$, $P < 0.001$). In the *slow whistle* test, individuals spent more time resting ($F_{2,28} = 19.78$, $P < 0.001$) and directed their heads toward the sound source for a longer period ($F_{2,18} = 8.61$, $P < 0.001$) when compared to the control. These findings support the previously suggested functions of the two call types. The *alarm whistle* is associated with alert situations, inducing vigilance and escape behaviors, while the *slow whistle* is used as a contact call, promoting minimal movement and attention in communication between individuals.

Keywords: Bioacoustics; Dry Forest; Social contact; Ethology; Vocalization.

1. Introdução

A comunicação acústica desempenha um papel essencial para a coordenação das atividades dos animais (Bradbury & Vehrencamp, 2009). Os chamados acústicos possuem características específicas e desempenham funções variadas que possibilitam o sucesso de transmissão, recepção e interpretação dos sons pelos animais (Bradbury & Vehrencamp, 1998; Borker et al., 2014; Lewis et al., 2020). Assim, os chamados podem coordenar interações entre grupos sociais (Nogueira et al., 2012; Dos Santos et al., 2014), encontrar parceiros de reprodução (Wilson, 2015), evitar predação (Fischer, 1995; Suzuki, 2011) e defesa de território (Naguib & Wiley, 2001).

Dentre os vários tipos de chamados acústicos, aqueles que desempenham a função de alarme estão presentes em uma grande quantidade de espécies e têm sido amplamente estudados (Caro, 2005; Blumstein, 2007). Sinais de alarme em mamíferos são essenciais para defesa contra predadores, e várias espécies mostram diferentes tipos de chamadas de acordo com o predador ou a iminência do perigo (Macedonia & Evans, 2010). Os chamados de alarmes são geralmente conspícuos e podem apresentar variações em sua estrutura em razão do destinatário pretendido, podendo ser direcionados para inter e intraespecíficos (Marler, 1955; Blumstein, 1999). Quando direcionados para um predador, podem desempenhar a função de desencorajar uma possível perseguição ou atrair outros predadores com a função de estabelecer uma competição que facilitaria a fuga da presa (Blumstein, 2007). Para animais sociais, em contexto de ameaça, esses sinais podem alertar coespecíficos sobre a presença de predadores ou causar um tumulto durante o qual o emissor pode escapar (Stephan & Zuberbühler, 2021). Nesses contextos, os chamados de alarme podem maximizar o *fitness* do animal por trazer benefícios próprios relacionados à sua sobrevivência, ao manipular o comportamento de intra e interespecíficos para ter sucesso de fuga frente a uma situação de perigo e, indiretamente

benefícios cooperativos ao alertar coespecíficos sobre o perigo e garantir a sobrevivência de seus descendentes (Hamilton, 1964; Blumstein & Armitage, 1997; Sekhardash & Bhattacharyya, 2017). Dessa forma, dados sobre chamados de alarme podem fornecer subsídios para estudos sobre nepotismo (Sherman, 1977), seleção de parentesco (Dos Santos et al., 2014; Stephan & Zuberbühler, 2021), altruísmo (Tamachi, 1987) e função de chamado (Blumstein, 1999; Blumstein, 2007).

Em espécies sociais, outros chamados amplamente estudados são os de contato (Kondo & Watanabe, 2009). Esses chamados são emitidos com a função primordial de promover a coesão entre os membros de um grupo social (Bradbury & Vehrencamp, 1998, Meaux et al., 2023). Chamados de contato são utilizados nos mais variados sistemas sociais para coordenar o posicionamento de indivíduos durante atividades de forrageio (Cortopassi & Bradbury, 2006; Nogueira et al., 2012), deslocamento entre áreas (Fichtel & Manser, 2010; Sperber et al., 2017), repouso (Radford & Ridley, 2008), promovem o contato mãe-filhote em relações de cuidado parental (Rendall et al., 2000), são utilizados para o recrutamento de membros (Meaux et al., 2023), regulam o espaçamento entre indivíduos para evitar competição intraespecífica (Radford & Ridley, 2008) e podem ter funções sociais relacionadas à sua distinção em nível individual (Cortopassi & Bradbury, 2006; Elie & Theunissen, 2018). Portanto, a função dos chamados de contato pode variar entre as espécies e contextos em que são emitidos.

Para compreender a função de um chamado acústico, além da observação do emissor, é necessário investigar os comportamentos manifestados pelos respectivos receptores (Kondo & Watanabe, 2009). Por exemplo, a resposta comportamental esperada em coespecíficos à chamados de alarme é a fuga (Herzog & Hopf, 1984; Stephan & Zuberbühler, 2021). No entanto, alguns indivíduos podem responder com vocalizações e postura corporal de alerta que indicam a percepção do anúncio de perigo (Seyfarth et

al., 1980; Nicolas et al., 2004). Para chamados de contato, as respostas de receptores de mesma espécie podem ser vocalizar (Vehrencamp et al., 2003), assumir posição de alerta, orientar a cabeça para a fonte sonora e aproximar-se dessa fonte (Nogueira et al., 2012).

Chamados de alarme e contato já foram registrados em várias espécies da subordem caviomorpha (Eisenberg, 1974; Barros et al., 2011; Monticelli & Ades, 2013, 2011; Lima et al., 2018). Para o mocó (*Kerodon rupestris*), roedor social ameaçado de extinção e endêmico da caatinga (MMA, 2022; ICMbio, 2018), foram registrados os chamados *alarm whistle* e *slow whistle*, respectivamente, categorizados como chamados de alarme e contato (Lacher, 1981). *Alarm whistle* é um chamado conspícuo da espécie e comumente emitido por indivíduos em situações de ameaça (Monticelli & Alencar-Junior, 2021) e também contexto agonístico (Alencar-Junior, 2011; Almeida, 2021). Lacher (1981), destaca que esse chamado pode possuir uma função social complexa para além de apenas informar sobre o perigo. Tal afirmação é corroborada em estudos que registram esse tipo vocal em contextos distintos e sugerem a necessidade de realização de testes experimentais para averiguar a função desse chamado (Alencar-Junior, 2011; Almeida, 2021). *Alarm whistle* quando registrado em ambientes com diferentes níveis de impacto antrópico apresentou variações na quantidade de emissão e em frequências sonoras (*higher* e *peak frequencies*), sendo sugerido como um possível indicador de bem-estar para a espécie em vida livre (Almeida, 2021). *Slow whistle* é um chamado que possui estrutura acústica similar a *alarm whistle*, com diferenças relacionadas a emissão de pulsos que podem ocorrer de maneira isolada ou em menor quantidade em comparação a *alarm whistle* (Lacher, 1981; Monticelli & Alencar-Junior, 2021). Trata-se de um tipo vocal emitido por indivíduos durante atividades de forrageio, em momentos que precedem um contexto de ameaça e durante interações mãe-filhote, funcionando como uma teia de comunicação para os indivíduos no momento em que saem das rochas

(Lacher, 1981).

Apesar dessas descrições e sugestões de funcionalidade, é necessário a aplicação de testes de função dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle* nessa espécie, assim como já realizado para outros chamados de caviomorfos (*Cavia porcellus* e *C. aperea* Monticelli & Ades, 2011; *Hydrochoerus hydrochoeris* Nogueira et al., 2012; Dos Santos et al., 2014). Portanto, neste estudo objetivamos avaliar as repostas dos mocós aos playbacks dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle*. Dado que os chamados de alarme podem gerar respostas de fuga e comportamento de alerta nos animais (Herzog & Hopf, 1984; Stephan & Zuberbühler, 2021), esperamos que a reprodução dos playbacks dos chamados *alarm whistle* resultem em fuga e aumento no tempo no estado de alerta. Por outro lado, chamados de contato podem promover deslocamento, direcionamento da cabeça em relação a fonte sonora, emissão de vocalizações (Vehrencamp et al., 2003; Nogueira et al., 2012) e repouso (Manser, 2001; Kondo & Watanabe, 2009). Desta forma, esperamos que a reprodução do playback dos chamados *slow whistle* possa evocar essas respostas comportamentais nos mocós em vida livre.

2. Material e métodos

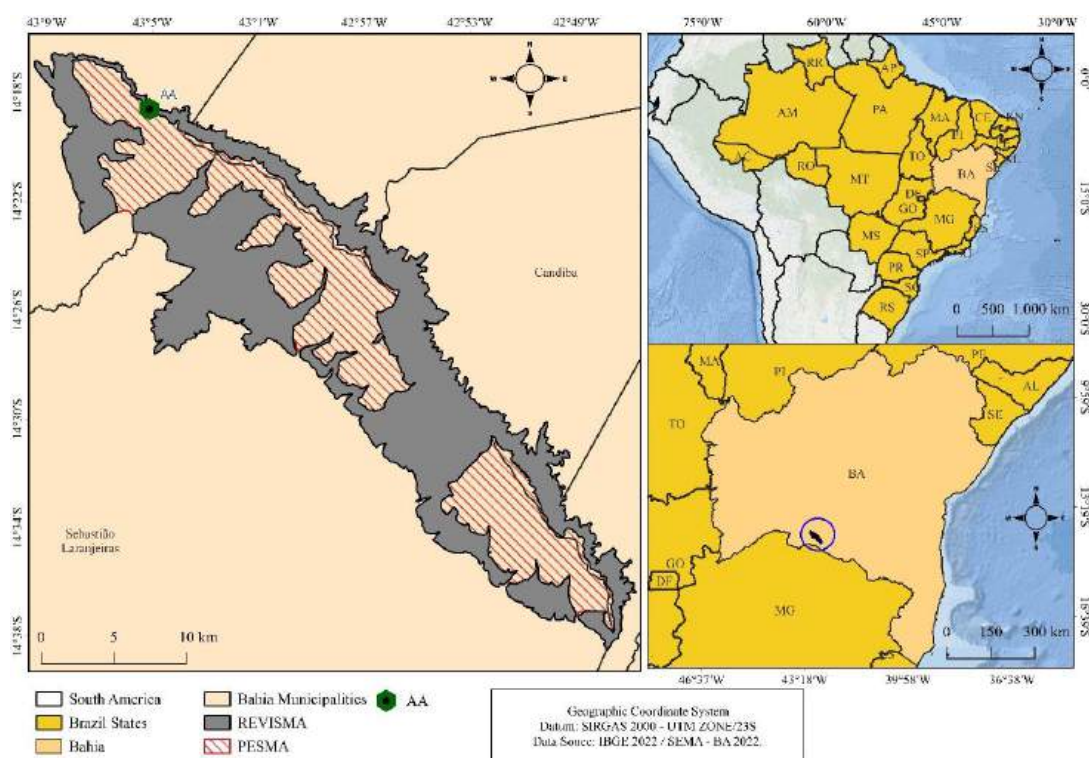
2.1 Nota ética

Esse estudo foi autorizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (#80143-1), Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) (#24.230 #26.010) e Comissão de Ética no Uso de Animais em experimentação da Universidade Estadual de Santa Cruz (CEUA-UESC) (#021/21).

2.2 Área de estudo e animais

Este estudo foi conduzido com animais de vida livre que habitam uma área (~ 30 km² coordenada central: 14°18'19" S 43°05'30" O) localizada em uma unidade de conservação (UC), o Refúgio de Vida Silvestre da Serra dos Montes Altos (REVISMA).

2410 Esta UC encontra-se interligada com o Parque Estadual da Serra dos Montes Altos
 2411 (PESMA) e estão situadas entre as latitudes 14°16' e 14°39'S e longitudes 42°46' e
 2412 43°46'O (Figura 1). Essas UCs estão inseridas na região centro-sul do estado da Bahia-
 2413 Brasil, e fazem parte de região semiárida, caracterizada como uma área de ecótono, com
 2414 transição de fitofisionomias de caatinga herbácea à arbórea, cerrado, campos rupestres e
 2415 matas de galeria (Tasso & Chang, 2013). A determinação da área amostral se deu com
 2416 base na ocorrência da espécie registrada na literatura para essa área de estudo (Barros &
 2417 Almeida, 2018; Almeida, 2021), uso de técnicas de busca ativa com visualização direta e
 2418 indireta (vestígios) dos animais em campo e a partir de informações fornecidas pelos
 2419 guardas dessa unidade de conservação que monitoram a segurança dessa área, visualizam
 2420 os grupos de mocó e nos informaram sobre as formas de acessibilidade.



2421
 2422 Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

2423 A área do estudo apresenta paisagem natural típica de caatinga com a
 2424 predominância de estratos de vegetação arbustiva e herbácea compostos por galhos secos

e plantas espinhosas, com a presença de grandes afloramentos rochosos e índice pluviométrico médio anual de 694 mm (Freire & Silva, 2019). Na área do estudo, escolhemos aleatoriamente quatro grupos sociais de mocós para coleta de dados acústicos que foram posteriormente processados e usados na criação dos estímulos acústicos. Os testes de função de chamado foram realizados a partir de 34 indivíduos distribuídos entre 17 grupos de mocó (ver detalhes na sessão 2.6). Neste estudo, consideramos como grupo social os indivíduos que habitam um único afloramento rochoso. Dessa forma, esse estudo foi realizado a partir de grupos compostos em média por 21 (SE = 0,45) mocós. Essa estimativa conservadora se deu a partir da observação direta dos indivíduos que habitam cada afloramento rochoso. A contagem dos mocós foi feita durante todo o período de coleta de dados a partir da visualização direta ou com o uso de binóculo (80x80 Urban gate model) de todo o conjunto de indivíduos, considerando o maior número de mocós visualizados de uma só vez em cada expedição a campo.

2.3 Coleta de dados

Os animais foram expostos a dois tratamentos que compreenderam a reprodução de chamados (um para *alarm whistle* e outro para *slow whistle*) e um som do próprio ambiente com ruído mecânico de *Quesada gigas* (ver detalhes na sessão 2.5). Este último som foi escolhido por apresentar estrutura sonora diferente dos chamados experimentados e por ser habitual aos mocós dessa região. Os chamados e o som do ambiente foram obtidos a partir de 17 expedições (187 horas) a campo realizadas de maneira não consecutiva durante o período de janeiro a setembro (2022). As sessões de observação e registro vocal aconteceram no período diurno, entre 06h00 às 17h00, seguindo o período de maior atividade do mocó observado para a área de estudo durante período piloto do estudo (dezembro/2021) e de acordo com a literatura (Lacher, 1981; Conceição & Bocchiglieri, 2021).

2450 Os registros dos chamados utilizados para a produção dos estímulos acústicos
2451 foram coletados pelo método *ad libitum* (Altmann, 1974) por um observador (WNA) e
2452 um auxiliar de campo que registrou as vocalizações utilizando um gravador portátil digital
2453 (Tascam DR-44WL Tóquio, Japão) configurado em modo mono, formato WAV, taxa de
2454 amostragem 48 kHz e resolução de 24-bits, acoplado um microfone unidirecional
2455 Sennheiser MKE 600 (Wedemark, Germany). Para não perder o início da emissão sonora
2456 dos animais foi utilizada a função “pré rec” em 5s. Quando os mocós vocalizavam o
2457 gravador era acionado manualmente sendo mantida a gravação até finalizar qualquer
2458 emissão sonora do animal. Portanto, o gravador era colocado em modo de espera somente
2459 após o animal finalizar a vocalização.

2460 Para a coleta de dados acústicos foram selecionados quatro postos de coleta (sobre
2461 árvores e rochas elevadas) por cada afloramento rochoso, o que garantiu um
2462 distanciamento de aproximadamente 3,0 a 6,0 m em relação aos animais amostrados e
2463 possibilitou o avistamento dos comportamentos associados as vocalizações. A escolha
2464 dos postos ocorreu durante o período piloto deste estudo com base no avistamento dos
2465 mocós nas rochas, dos pontos de latrina e da aproximação dos postos de coleta em relação
2466 as fendas de rochas com espaçamento $\geq 0,2$ m e profundidade $\leq 1,5$ m, o que possibilitou
2467 a visualização dos comportamentos associados a emissão sonora dos mocós nesses locais
2468 utilizados para refúgio e nidificação. A identificação do sexo dos animais foi realizada a
2469 partir da visualização do aparelho genital do animal no momento do registro acústico. Em
2470 momentos que o indivíduo amostrado se distanciava dos pontos de observação, seu
2471 aparelho genital foi observado com o auxílio de um binóculo. Quando a identificação não
2472 foi possível ou duvidosa, o animal foi registrado na categoria de sexo não identificado e
2473 o registro foi descartado. Para este estudo, foram consideradas apenas as respostas
2474 comportamentais de mocós adultos à emissão dos playbacks testados.

2.4 Análise acústica

A inspeção aural e visual dos registros acústicos foram realizadas em computador portátil Vostro 5320 (Dell Technologies, Texas, EUA) acoplada à Interface de áudio Tascam Lineup US-16x08 (Tóquio, Japan) e par de monitores de referência de áudio (Yamaha Hs8, Japan) com frequência de resposta 38Hz ~ 30KHz (-10dB) / 47Hz ~ 24KHz (-3dB), a partir do *Software* Raven Pro versão 1.6 (Cornell Lab of Ornithology, Ithaca NY) usando as configurações: janela tipo Hann, tamanho da janela 1351 amostras, 90% de sobreposição no domínio do tempo, e tamanho de DFT 4096. Com base nessa inspeção selecionamos as emissões com menor interferência de ruído ambiente e melhor qualidade de imagem gráfica. Para discriminarmos (análise de função discriminante - DFA) as vocalizações, investigamos cada pulso (elemento, nota, sílaba) medindo os parâmetros acústicos de frequência mínima (Hz), frequência máxima (Hz), frequência dominante (Hz), duração (s), 1ª e 3ª faixas de frequência (Hz), frequência delta (Hz), amplitude mínima, média e máxima (dB), entropia agregada, média e máxima (bits), energia (dB), densidade de potência (dB) e intervalo entre notas (s) (Tabela 1).

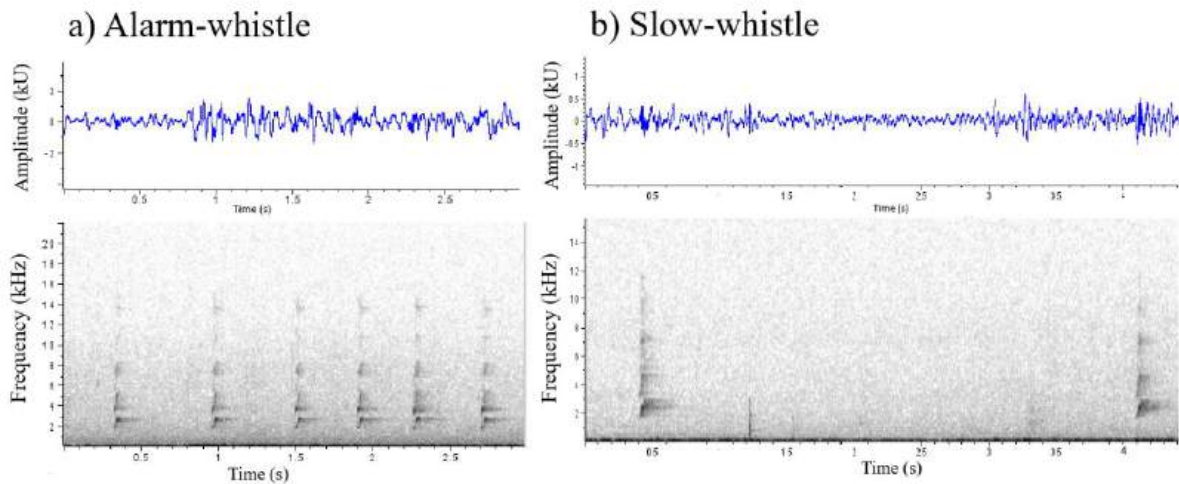
2490 Tabela 1: Classificação dos chamados *alarm whistle* e *slow whistle*

Acoustic parameters							Average (*SE)										
Call	Low Freq (Hz)	Max Freq (Hz)	Peak Freq (Hz)	Delta time (s)	Delta Power (dB/Hz)	Avg Amp (U)	Max Amp (U)	Min Amp (U)	Freq 25% (Hz)	Freq 75% (Hz)	Energy (dB)	Delta Freq (Hz)	Agg Entropy (bits)	Avg Entropy (bits)	Max Entropy (bits)	pulse interval	DFA
Alarm whistle	9109,54 (355,47)	1517,72 (286,46)	2686,34 (301,80)	0,25 (0,02)	-22,78 (3,56)	3073,9 (687,18)	24341,19 (1979,37)	-2460,70 (2025,25)	2415,13 (1868,88)	3319,13 (343,65)	-1277,4 (144,87)	1388,68 (291,98)	4273,52 (28,89)	4452,86 (22,17)	5534,11 (24,08)	1,44 (0,32)	0,97
Slow-whistle	8880,32 (625,53)	1063,10 (104,96)	2693,49 (104,35)	0,26 (0,02)	-11,19 (0,58)	1793,10 (149,18)	7281,54 (485,65)	-7681,19 (5128,05)	2809,57 (1240,08)	4128,22 (141,68)	-1490,4 (605,98)	9737,75 (103,46)	4235,77 (79,80)	3853,33 (82,42)	5120,96 (70,01)	4,02 (0,46)	0,96

2491 *SE: Standard error.

Foi registrado um total de 86 chamados de *slow whistle* (DFA = 0.96) e 643 (DFA = 0.97) chamados de *alarm whistle* (Figura 2). Durante a inspeção foi observado que essas vocalizações não são emitidas em estrutura de frases, definido na literatura como um agrupamento de pulsos separados de outros grupos semelhantes por um intervalo de tempo maior do que qualquer intervalo que separa os pulsos dentro de uma frase (Barros et al., 2012). Em nossos registros esses chamados ocorreram em pulsos não organizados e em quantidades variáveis. As quantidades mínimas e máximas de pulsos por registro acústico foram 3 e 10, respectivamente para *slow whistle* e 13 e 123, respectivamente para *alarm whistle*. Para determinar a quantidade de pulsos a serem utilizados na produção dos playbacks, estimamos o valor médio da quantidade de pulsos registrados em cada gravação, sendo encontrados os valores de 6.0 (SE = 0.5) e 60.0 (SE = 11.8) pulsos médios por registro para *slow whistle* e *alarm whistle*, respectivamente. Assim, para a criação dos playbacks selecionamos os registros acústicos que possuíam aproximadamente os valores médios de pulsos estimados e boa qualidade sonora, o que resultou em estímulos de reprodução compostos por 8 pulsos de *slow whistle* e 57 pulsos de *alarm whistle*. Os testes foram realizados em grupos que não foram doadores de emissão de chamados. Isso foi feito para evitar que os emissores das vocalizações utilizadas na confecção dos playbacks não fossem testados com seus próprios chamados, visto que muitos animais possuem a capacidade de reconhecer características individuais nos chamados (Janik & Slater, 2000). Esse reconhecimento poderia levar a respostas atípicas, moduladas por familiaridade ou experiências prévias. Além disso, utilizar vocalizações de outro grupo assegura que as respostas sejam gerais ao tipo do chamado testado e não a fatores como reconhecimento social ou territorial (McGregor, 2000). Esse procedimento foi adotado para evitar que o comportamento observado seja influenciado por aprendizado ou habituação, mantendo a neutralidade experimental (Bradbury &

2517 Vehrencamp, 2011).



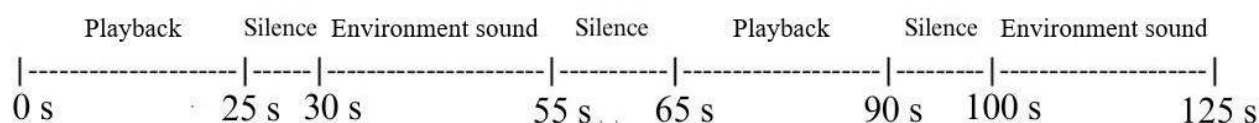
2518

2519 Figura 2: Representações dos chamados testados. Oscilograma e espectrograma com seis
2520 pulsos do chamado *alarm whistle* (a), oscilograma e espectrograma com dois pulsos do
2521 chamado *slow whistle* (b).

2522 2.5 Montagem dos estímulos em playback

2523 Os arquivos de reprodução foram editados a partir do *software* Cubase Pro 10.5
2524 (Steinberg Media Technologies, Germany). Para a criação dos playbacks de reprodução
2525 acústica dos estímulos utilizamos uma sequência de reproduções de 125s, composta por
2526 registros acústicos dos chamados *alarm whistle* ou *slow whistle*, seguidos por um
2527 intervalo de silêncio (sem emissão de qualquer som) e, em seguida, pelo registro acústico
2528 do ruído mecânico emitido por *Quesada gigas* (Figura 3). Essa sequência de reprodução
2529 foi determinada com base no tempo máximo de ~180s de permanência do mocó durante
2530 cada registro, que foi obtido na fase inicial de coleta acústica. Dessa forma, os 55s (tempo
2531 estimado em período piloto) iniciais foram designados para a identificação do sexo do
2532 animal a ser testado e os 125s restantes foram utilizados para a reprodução dos estímulos
2533 acústicos. O sistema utilizado para reprodução dos arquivos de áudio em campo foram
2534 um smartphone S21 (Samsung Electronics Co., South Korea; Frequência de resposta 20–
2535 20.000 Hz) e um amplificador de áudio portátil (JBL Charge 5, JBL Consumer, EUA;

2536 Frequência de resposta 60-20.000 Hz), em ambos aparatos com repostas de frequência
 2537 adequadas para a reprodução dos sons aqui testados



2538

2539 Figura 3: Diagrama esquemático da composição dos playbacks usados nos testes
 2540 experimentais para ambas vocalizações (*alarm whistle* ou *slow whistle*).

2541 2.6 Aplicação dos testes experimentais

2542 As sessões de testes ocorreram entre as 06h00 e 17h00, seguindo a atividade
 2543 diurna do mocó registrado na área do estudo. Os testes foram realizados entre novembro
 2544 de 2022 e dezembro de 2023. Para evitar que o teste fosse aplicado mais de uma vez no
 2545 mesmo animal, aplicamos o teste no máximo duas vezes por afloramento rochoso.
 2546 Tomamos este cuidado porque somente era possível identificar com segurança o sexo dos
 2547 mocós, pela visualização (ou não) do escroto. Não foi possível identificar os animais por
 2548 diferenças na pelagem ou cicatrizes. Desta forma, a resposta comportamental à emissão
 2549 do playback, somente era considerado válido quando o outro indivíduo do grupo que
 2550 apresentasse respostas comportamentais à emissão do playback fosse do sexo oposto do
 2551 que registrado anteriormente. Por exemplo, em uma expedição que foi amostrada uma
 2552 fêmea em determinado grupo de mocó, o teste só poderia ser realizado novamente neste
 2553 grupo na condição de um macho ser experimentado. No intuito de evitar a habituação dos
 2554 animais aos estímulos de reprodução, quando ocorreram falhas nas tentativas de teste em
 2555 determinado grupo, este foi eliminado da amostragem e os pesquisadores deslocavam-se
 2556 para outro grupo de mocós para novas tentativas.

2557 Para a realização do experimento, o amplificador de áudio portátil (conectado via
 2558 bluetooth com o smartphone) e o gravador de áudio (ver configurações na sessão 2.5),

foram ligados e posicionados previamente a realização dos testes. Este equipamento ficou a uma distância aproximada de 10 m em relação aos animais experimentados. Para diminuir a influência da presença dos pesquisadores durante os testes, o observador (WNA) e seu auxiliar de coletas, ficaram a uma distância aproximada de 20 a 30 metros em relação aos animais. Os comportamentos manifestados durante os testes foram registrados em vídeo (Sony Cyber-Shot DSC-W800, Tóquio, Japan; programada em zoom 10x). A identificação do sexo do animal foi realizada pelo observador com o auxílio de um binóculo, momentos antes da reprodução dos estímulos acústicos. Por ser um trabalho realizado com animais em vida livre os testes aconteceram em momentos favoráveis em campo, quando havia mocós visíveis nos afloramentos rochosos. Neste estudo não utilizamos iscas para atrair os animais.

2.7 Análise de dados e estatística

Os vídeos registrados foram analisados utilizando o *software* CowLog 3.0.2 (University of Helsinki), com o objetivo de determinar a duração dos estados comportamentais exibidos pelos mocós durante os testes. As categorias comportamentais analisadas incluíram alerta, fuga, deslocamento, repouso e direcionamento da cabeça em relação à fonte sonora e vocalização (Tabela 2).

Utilizamos modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) para comparar o tempo em que os mocós permaneceram em estado de alerta e exibiram comportamento de fuga em resposta aos estímulos acústicos reproduzidos para testar o chamado *alarm whistle*. Quando apropriado, aplicamos testes *post hoc* de Tukey para comparações adicionais. Nos modelos, incluímos como fatores fixos o sexo dos mocós, os sinais acústicos (*playback* dos chamados *alarm whistle*, controle: ruído mecânico de *Quesada gigas* e silêncio nos intervalos) e a interação entre esses fatores. A identidade dos indivíduos foi considerada como fator aleatório para controlar as observações repetidas

2584 de cada mocó. Os resíduos dos modelos foram checados visualmente para verificação da
2585 distribuição normal e homoscedasticidade.

2586 Para comparar a duração dos comportamentos de vocalização, direcionamento da
2587 cabeça para a fonte sonora, deslocamento e repouso registrados durante os testes de
2588 função do chamado *slow whistle*, empregamos modelos lineares generalizados mistos
2589 (GLMMs). Quando apropriado, realizamos testes *post hoc* de Tukey para comparações
2590 adicionais. Nos modelos, consideramos como fatores fixos o sexo dos mocós, os sinais
2591 acústicos (playback dos chamados *slow whistle*, controle: ruído mecânico de *Quesada*
2592 *gigas* e silêncio entre os intervalos), bem como a interação entre esses fatores. A
2593 identidade dos indivíduos foi incluída como fator aleatório para controlar observações
2594 repetidas dos mocós. Os resíduos dos modelos foram checados visualmente para
2595 verificação da distribuição normal e homoscedasticidade.

2596 Tabela 2. Descrição das categorias comportamentais avaliadas durante os testes.

Categoria comportamental	Descrição
Alerta	O mocó interrompe suas atividades e adota postura de alerta, com o corpo inclinado a 90° graus, cabeça levemente direcionada para cima e olhos abertos.
Fuga	O animal se desloca rapidamente (correr) em direção a refúgios naturais, como fendas de rocha ou vegetação mais densa. A fuga ocorre geralmente após a postura de alerta e na direção oposta à fonte sonora.
Deslocamento	O animal desloca-se sobre o substrato, com movimentos alternados dos membros (andar ou correr) sem relação com busca por refúgio.
Repouso	O animal permanece sentado (porção anterior do corpo sustentada pelas patas dianteiras) ou deitado (deita-se sobre os membros dobrados sob o corpo) e com os olhos abertos. O repouso pode ocorrer individualmente ou próximo a outros indivíduos e geralmente está associado a comportamentos de autocuidado (lamber-se, coçar-se, esfregar patas no fucinho).
Direcionamento da cabeça em relação à fonte sonora	O animal orienta a cabeça em direção à fonte sonora ao ser emitido os estímulos acústicos.

2597

Vocalização

O animal emite som utilizando seu aparelho vocal.

3. Resultados

3.1 Teste de função do chamado *alarme whistle*

Houve efeito do tipo de sinal acústico no tempo em que os mocós permaneceram em estado de alerta ($F_{2, 24} = 35,42$, $P < 0,001$). Os testes *post hoc* mostraram que os mocós permaneceram mais tempo em alerta durante a emissão do playback do chamado de *alarme whistle* do que durante a emissão do ruído mecânico de *Quesada gigas* e durante o período de silêncio entre as emissões destes sinais acústicos (Figura 4). Machos e fêmeas não diferiram no tempo em que permaneceram em alerta ($F_{1, 12} = 0,20$, $P = 0,667$) e tampouco houve efeito da interação entre o sexo com o tipo de sinal acústico ($F_{2, 24} = 2,09$, $P = 0,146$).

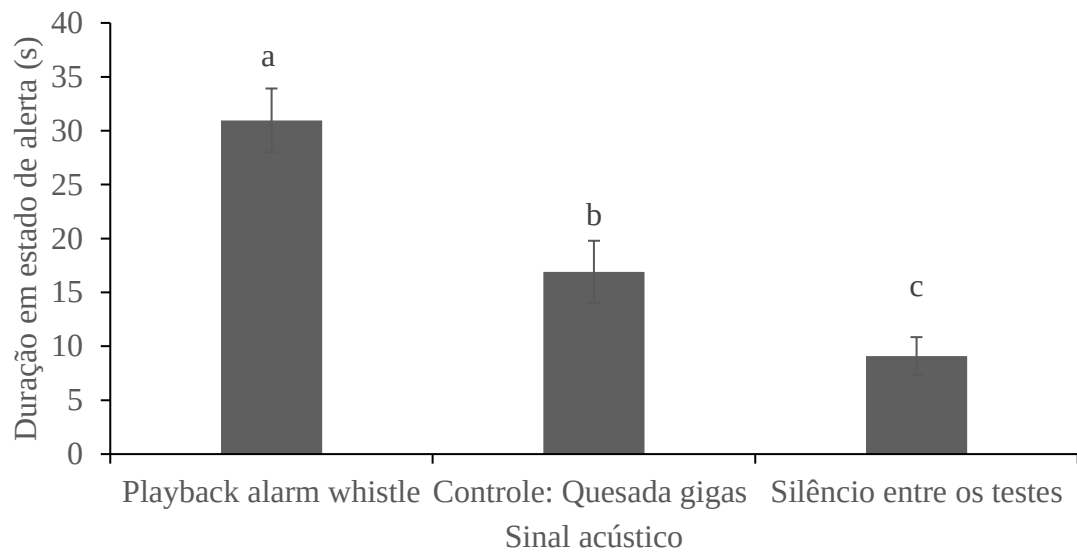
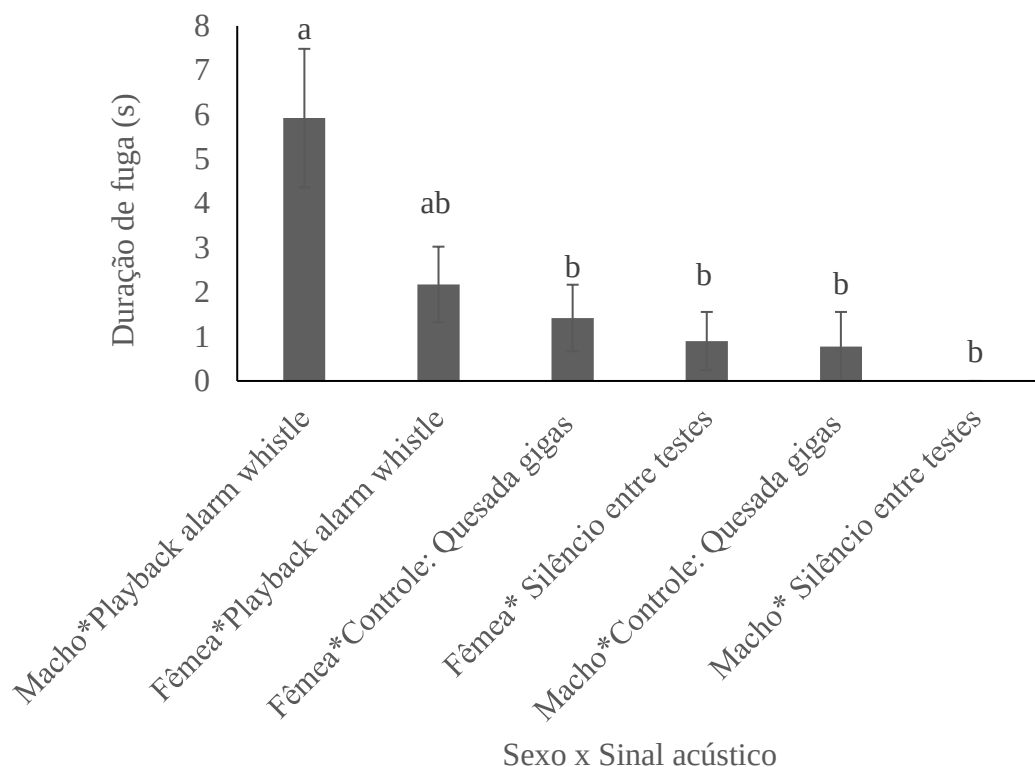


Figura 4: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram em estado de alerta durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os mocós manifestaram o comportamento de fuga por mais tempo durante a emissão do playback do chamado *alarm whistle* do que durante a emissão do ruído mecânico de *Quesada gigas* e durante o silêncio entre as emissões destes sinais acústicos

2616 ($F_{2, 26} = 8,86$, $P < 0,001$). Os testes *post hoc* mostraram que os machos manifestaram o
 2617 comportamento de fuga por mais tempo durante os testes com o playback do chamado
 2618 *alarm whistle* (Figura 5).

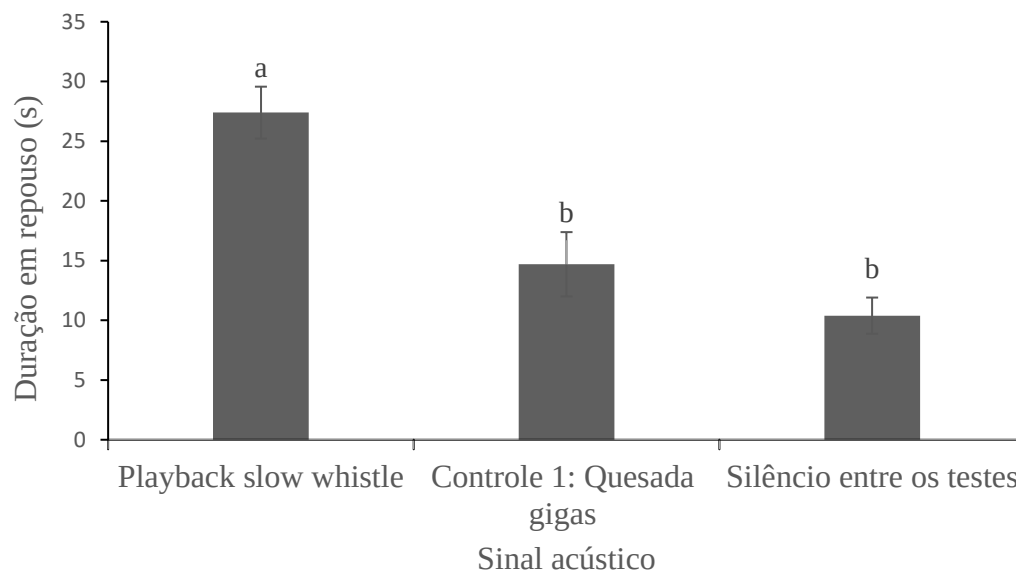


2619
 2620 Figura 5: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que machos e fêmeas de mocós
 2621 manifestaram comportamento de fuga durante os testes de reprodução. Letras diferentes
 2622 acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

2623 3.2 Teste de função do chamado *slow whistle*

2624 Houve efeito do tipo de sinal acústico no tempo em que os mocós permaneceram
 2625 em repouso durante os testes com o chamado *slow whistle* ($F_{2, 28} = 19,78$, $P < 0,001$). Os
 2626 testes *post hoc* mostraram que os mocós permaneceram mais tempo em repouso durante
 2627 a emissão do playback do chamado *slow whistle* do que durante a emissão do ruído
 2628 mecânico de *Quesada gigas* e durante o silêncio entre as emissões destes sinais acústicos
 2629 (Figura 6). Machos e fêmeas não diferiram no tempo em que permaneceram em repouso
 2630 ($F_{1, 12} = 1,66$, $P = 0,235$) e não houve efeito da interação entre o sexo com o tipo de sinal

2631 acústico ($F_{2, 24} = 2,07$, $P = 0,107$).



2632

2633 Figura 6: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram em
2634 repouso durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas
2635 indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

2636 Houve efeito dos sinais acústicos no tempo em que os mocós permaneceram com
2637 a cabeça direcionada para a fonte sonora durante o experimento com o chamado *slow*
2638 *whistle* ($F_{2, 18} = 8,61$, $P < 0,001$). Os testes *post hoc* mostraram que os mocós
2639 permaneceram mais tempo com a cabeça direcionada para a fonte sonora durante a
2640 emissão do playback do chamado *slow whistle* do que durante a emissão do ruído
2641 mecânico de *Quesada gigas* e durante o silêncio entre as emissões destes sinais acústicos
2642 (Figura 7).

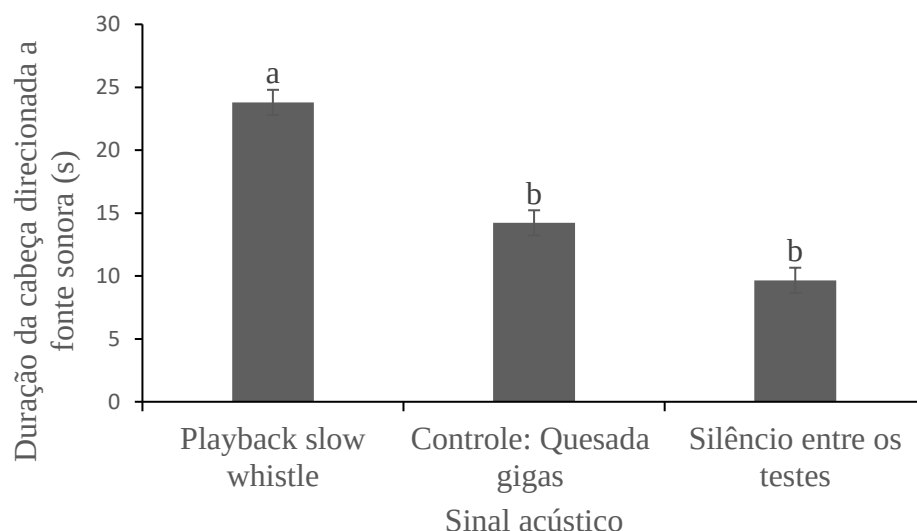


Figura 7: Média ($\pm$ erro padrão) da duração (s) em que os mocós permaneceram com a cabeça direcionada para a fonte sonora durante a emissão dos sinais acústicos. Letras diferentes acima das colunas indicam que as médias diferiram pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

Não houve efeito dos sinais acústicos ($F_{3, 14} = 0.37$, $P = 0.693$) e sexo ($F_{3, 12} = 1.76$, $P = 0.250$) no deslocamento dos mocós durante os testes de função do chamado *slow whistle*. Somente três mocós vocalizaram durante os testes do chamado *slow whistle*. Uma fêmea vocalizou com *alarm whistle* em resposta ao playback de *slow whistle*, um macho vocalizou com *alarm whistle* em resposta ao som do ambiente com ruído mecânico da cigarra e outro macho vocalizou com *slow whistle* durante o intervalo de silêncio entre os sinais acústicos. Dessa forma, não foi possível aplicar GLMs.

4. Discussão

Os resultados confirmaram nossa hipótese sobre como os mocós responderiam ao playback do chamado *alarm whistle*. Observamos que os mocós exibiram mais comportamentos de alerta e fuga ao ouvir esse chamado em comparação a emissão do teste controle. Esse dado é consistente ao descrito em estudos anteriores que sugerem a função de comunicação de perigo a partir da emissão de *alarm whistle* em mocós (Lacher,

1981; Monticceli & Alencar-Júnior, 2021; Almeida, 2021). Nossos dados também confirmaram que a reprodução do chamado *slow whistle* influencia na maior duração de comportamentos de repouso e direcionamento da cabeça à fonte sonora. Esse resultado está de acordo com estudos anteriores (Lacher, 1981; Monticceli & Alencar-Júnior, 2021) que classificam *slow whistle* como um chamado de contato para *K. rupestris*.

A maior permanência em estado de alerta durante a reprodução do playback do chamado *alarm whistle* sugere que este sinal acústico é uma ferramenta de alerta para ameaças potenciais para o mocó. Esse comportamento é compatível com a comunicação acústica antipredatória já descrita para a espécie (Lacher, 1981; Almeida, 2021), e constitui uma característica adaptativa amplamente observada em mamíferos sociais (Zuberbühler, 2000; Manser, 2001; Blumstein, 2007; Fichtel, 2007). O estado de alerta induzido por *alarm whistle* mostra uma resposta comportamental que maximiza a prontidão diante de potenciais perigos aos mocós. A manutenção do estado de vigilância em resposta a sinais de alarme pode ser essencial para possibilitar reações coordenadas entre os membros do grupo e favorecer a sobrevivência coletiva (Owings & Hennessy, 1984). Permanecer em alerta após ouvir o *alarm whistle* ressalta a influência desse chamado na modulação de comportamentos defensivos da espécie, assegurando que os indivíduos estejam preparados para fugir de forma eficaz em contextos de ameaça.

O comportamento de fuga nos mocós foi mais frequente durante a emissão do playback de *alarm whistle* em comparação com o teste controle, reforçando a classificação funcional desse chamado como um sinal de alerta. Adicionalmente, a resposta de fuga foi mais pronunciada nos machos (Figura 4). Essa diferença sexual pode estar associada a estratégias comportamentais diferenciadas, nas quais os machos assumem um papel mais ativo em comportamentos de vigilância e evasão frente a ameaças (Shine, 1989; Lima & Dill, 1990). Esse padrão comportamental já foi descrito

para espécies como, *Peromyscus maniculatus* e *Rattus norvegicus*, com a descrição de maior reatividade dos machos a sinais de perigo (Glaudas et al., 2012). A literatura sugere que variações entre os sexos na resposta a ameaças podem ser moldadas por pressões evolutivas relacionadas à sobrevivência e reprodução, uma vez que machos frequentemente desempenham um papel central na detecção precoce de predadores (Lima, 1998; Zuk & Kolluru, 1998). Nesse contexto, para melhor esclarecer sobre diferenças comportamentais relacionadas ao sexo, sugerimos a realização de estudos em ambientes controlados que investiguem as respostas comportamentais de machos e fêmeas a diferentes tipos de ameaças, como predadores simulados e sinais acústicos de risco. Abordagens semelhantes já foram aplicadas a espécies como *Peromyscus californicus*, *Mus musculus* e *Microtus pennsylvanicus*, sendo registrado maior propensão à evasão dos machos (Greene et al., 2009; Smith et al., 2016).

O maior tempo de repouso observado nos mocós durante a emissão do playback do chamado *slow whistle* sugere que esse sinal acústico está associado à um estado de homeostase. Chamados de contato podem desempenhar um papel fundamental na manutenção do comportamento social pacífico dos animais e estar relacionado a um estado de baixo estresse nos indivíduos (Kondo & Watanabe, 2009; Briefer, 2012; Rault, 2016). Esse padrão está alinhado com a função dos chamados de contato em espécies sociais, que frequentemente sinalizam estabilidade ambiental e coesão do grupo social, e promovem a conservação de energia e interações sociais harmoniosas (Kondo & Watanabe, 2009; Bradbury & Vehrencamp, 2011). Além disso, a ausência de diferenças entre machos e fêmeas no tempo de repouso indica uma resposta uniforme ao *slow whistle*. Esse resultado reforça a classificação desse chamado como um regulador de comportamento entre os membros do grupo (Lacher, 1981), e possivelmente é utilizado independente do papel social ou reprodutivo dos indivíduos.

A emissão do chamado *slow whistle* promoveu nos mocós a orientação da cabeça em direção à fonte sonora. Esse dado corrobora com a função de contato atribuída a esse chamado descrito como essencial para a manutenção da coesão social nos grupos de mocó (Lacher, 1981). Esse resultado é consistente com o observado em capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), que, ao serem expostas ao playback do chamado de contato *click*, responderam com direcionamento da cabeça para a fonte sonora (Nogueira et al., 2012). Em saguis (*Callithrix jacchus*), chamados de contato foram associados ao direcionamento da cabeça em direção à fonte sonora, facilitando o alinhamento espacial entre os membros do grupo (Koda et al., 2013). Em aves sociais, como os papagaios-cinzentos (*Psittacus erithacus*), respostas de orientação à fonte sonora também foram descritas como parte do comportamento relacionado a chamados de contato, destacando sua importância na manutenção da coesão do grupo (Elie & Theunissen, 2018). Nesse contexto, a atenção direcionada dos mocós ao *slow whistle* pode ser interpretada como um mecanismo que promove a coesão do grupo, particularmente útil em habitats desafiadores, como os afloramentos rochosos, onde barreiras visuais ou espaciais frequentemente limitam a comunicação por canais de comunicação distintos ao acústico (Kondo & Watanabe, 2009; Bradbury & Vehrencamp, 1998).

A ausência de efeito dos sinais acústicos sobre o deslocamento dos mocós durante os testes de função do chamado *slow whistle* pode refletir características intrínsecas do comportamento locomotor da espécie. O mocó é um roedor de alta atividade locomotora, necessária para explorar habitats rochosos complexos e encontrar recursos essenciais, como abrigo e alimento (Lacher, 1981; Alves et al., 2009). Esse padrão de deslocamento pode ocultar possíveis influências de estímulos acústicos sobre a mobilidade, uma vez que o movimento constante pode estar mais relacionado a necessidades ecológicas do que a respostas comportamentais específicas. Estudos em outros roedores sociais, como

marmotas (*Marmota marmota*) e esquilos terrestres (*Spermophilus* spp.), indicam que fatores como disponibilidade de recursos e complexidade ambiental frequentemente exercem maior influência sobre o deslocamento do que sinais sociais ou acústicos isolados (Blumstein, 2007; Armitage, 2014). Além disso, o deslocamento frequente pode ser uma estratégia comportamental para reduzir a previsibilidade de localização por predadores, um comportamento amplamente descrito em presas que habitam ambientes abertos ou expostos (Brown et al., 1999). Essa plasticidade locomotora pode dificultar a detecção de padrões claros de resposta aos sinais acústicos, sugerindo que futuras investigações avaliem o deslocamento sob condições experimentais controladas, onde variáveis ambientais e sociais possam ser manipuladas de forma a isolar possíveis efeitos dos chamados sobre a mobilidade da espécie.

A baixa frequência de vocalizações observada nos mocós em resposta ao playback do *slow whistle* pode representar uma modulação comportamental natural da espécie ou pode estar associado a contextos sociais e ecológicos que não foram observados durante este experimento com mocós em vida livre. Por exemplo, os saguis (*C. jacchus*) modulam suas respostas a chamados de contato em função da proximidade e visibilidade dos parceiros sociais (Koda et al., 2013). Capivaras (*H. hydrochaeris*) ajustam suas respostas acústicas a chamados de contato em função de contextos específicos como separação ou dispersão do grupo (Nogueira et al., 2012). Dessa forma, vocalizar em resposta ao *slow whistle* em mocós, pode ser utilizado apenas em situações em que a coesão do grupo está desafiada ou há uma necessidade imediata de comunicação social. Em ambientes controlados, essas hipóteses poderiam ser exploradas, permitindo testar variáveis como a proximidade entre indivíduos, a introdução de barreiras visuais, o isolamento acústico, ou a manipulação de densidade populacional e como tais variáveis afetam as respostas ao *slow whistle*. Pesquisas destacam a relevância de ambientes controlados para investigar

os mecanismos subjacentes à comunicação vocal, como demonstrado em estudos sobre vocalizações em marmotas em diferentes contextos (Blumstein, 2013) e sobre a relação entre características acústicas e estados emocionais em mamíferos (Briefer, 2012). Essa abordagem aplicada a mocós poderia ampliar nossa compreensão sobre as respostas acústicas do mocó ao chamado *slow whistle*.

5. Conclusão

Este estudo confirma por meio de testes experimentais com mocós em vida livre, as funções previamente sugeridas na literatura para os chamados *alarm whistle* e *slow whistle*. O *alarm whistle* demonstrou ser um sinal eficaz de alerta, desencadeando comportamentos de vigilância e fuga, enquanto o *slow whistle* foi reafirmado como um chamado de contato, relacionado à manutenção da coesão do grupo e ao estado de repouso. Esses resultados ampliam o conhecimento sobre a comunicação vocal do mocó e reforçam sua relevância para a compreensão de seu comportamento social.

6. Referências

- Alencar-Junior, R. N. (2011). O repertório acústico de um especialista de rochedos da caatinga, o Mocó. Dissertation (Master's in Psychology), São Paulo University, São Paulo. Dept. Psicol. Exp., 102 pp.
- Almeida, W. N. (2021). Indicadores acústicos para a conservação do mocó (*Kerodon rupestris*) em áreas perturbadas de caatinga. Dissertation (Master's in Zoology), Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, Brazil. Dept. Ciências Biológicas, 74 pp.
- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour*, 49, 227–267. <https://doi.org/10.1080/14794802.2011.585831>
- Armitage, K. B. (2014). *Marmot biology: Sociality, individual fitness, and population dynamics*. Cambridge University Press.
- Barros, K. S., & Almeida, W. N. (2018). Mamíferos terrestres do Parque Estadual da Serra dos Montes Altos, Bahia: Primeiros foto-registros. *Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia*, 83, 162–167.
- Barros, K. S., Tokumaru, R. S., Pedroza, J. P., & Nogueira, S. S. C. (2010). Vocal repertoire of captive capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*): Structure, context, and function. *Ethology*, 117, 83–94. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01853.x>
- Blumstein, D. T. (1999). Alarm calling in three species of marmots. *Behaviour*, 136, 731–757.
- Blumstein, D. T., & Armitage, K. B. (1997). Does sociality drive the evolution of communicative complexity? A comparative test with ground-dwelling sciurid alarm calls. *American Naturalist*, 150, 179–200. <https://doi.org/10.1086/286062>
- Blumstein, D. T. (2007). The evolution, function, and meaning of marmot alarm communication. *Advances in the Study of Behavior*, 37, 371–401.

2799 Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2009). *Principles of animal*
2800 *communication* (2nd ed.). Oxford University Press. 697 pp.

2801 Brown, J. S., Laundré, J. W., & Gurung, M. (1999). The ecology of fear:
2802 Optimal foraging, game theory, and trophic interactions. *Journal of Mammalogy*, 80(2),
2803 385–399.

2804 Briefer, E. F. (2012). Vocal expression of emotions in mammals: Mechanisms of
2805 production and evidence. *Journal of Zoology*, 288(1), 1–20.

2806 Borker, A. L., McKown, M. W., Ackerman, J. T., Eagles-Smith, C. A., Tershy,
2807 B. R., & Croll, D. A. (2014). Vocal activity as a low-cost and scalable index of seabird
2808 colony size. *Conservation Biology*, 28, 1100–1108. <https://doi.org/10.1111/cobi.12264>

2809 Browning, H., & Veit, W. (2021). Freedom and animal welfare. *Animals*, 11(4),
2810 1148. <https://doi.org/10.3390/ani11041148>

2811 Bonvicino, C., Oliveira, J., & D’Andrea, O. (2008). *Guia dos roedores do Brasil*
2812 *com chaves para gêneros baseadas em caracteres externos*. Organização Pan-
2813 Americana da Saúde, Rio de Janeiro. 120 pp.

2814 Caro, T. (2005). *Antipredator defenses in birds and mammals*. University of
2815 Chicago Press.

2816 Conceição, A. M., & Bocchiglieri, A. (2021). Population density and use of
2817 space by *Kerodon rupestris*: An endemic and threatened rodent in the semiarid areas of
2818 Brazil. *Journal of Arid Environments*, 186(1), 1–7.
2819 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104425>

2820 Cortopassi, K., & Bradbury, J. (2006). Contact call diversity in wild orange-
2821 fronted parakeet pairs, *Aratinga canicularis*. *Animal Behaviour*, 71, 1141–1154.
2822 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.09.011>

2823 Dos Santos, E., Tokumaru, R., Nogueira Filho, S., & Nogueira, S. (2014). The

2824 effects of unrelated offspring whistle call on capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*).
 2825 *Brazilian Journal of Biology*, 74(Suppl.), S171–S176. [https://doi.org/10.1590/1519-](https://doi.org/10.1590/1519-6984.25212)
 2826 [6984.25212](https://doi.org/10.1590/1519-6984.25212)
 2827 Eisenberg, J. F. (1974). The function and motivational basis of hystricomorph
 2828 vocalizations. *Symposia of the Zoological Society of London*, 34, 211–247.
 2829 Elie, J. E., & Theunissen, F. E. (2018). Zebra finches identify individuals using
 2830 vocal signatures unique to each call type. *Nature Communications*, 9, 4026. DOI:
 2831 <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06394-9>
 2832 Elie, J. E., & Theunissen, F. E. (2018). Vocal communication in social groups of
 2833 African gray parrots (*Psittacus erithacus*): Evidence for acoustic convergence.
 2834 *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 72(6), 91. DOI: [https://doi.org/10.1007/s00265-](https://doi.org/10.1007/s00265-018-2504-2)
 2835 [018-2504-2](https://doi.org/10.1007/s00265-018-2504-2)
 2836 Fichtel, C. (2007). Ontogeny of conspecific and heterospecific alarm call
 2837 recognition in wild Verreaux's sifakas (*Propithecus verreauxi verreauxi*). *Behavioral*
 2838 *Ecology and Sociobiology*, 61(5), 657–667. DOI: [https://doi.org/10.1007/s00265-006-](https://doi.org/10.1007/s00265-006-0295-6)
 2839 [0295-6](https://doi.org/10.1007/s00265-006-0295-6)
 2840 Fichtel, C., & Manser, M. (2010). Vocal communication in social groups. In
 2841 Kappeler, P. (Ed.), *Animal Behaviour: Evolution and Mechanisms* (pp. 29–54).
 2842 Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-02624-9_2
 2843 Fischer, J., Hammerschmidt, K., & Todt, D. (1995). Factors affecting acoustic
 2844 variation in Barbary-macaque (*Macaca sylvanus*) disturbance calls. *Ethology*, 101, 51–
 2845 66. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1995.tb00345.x>
 2846 Glaudas, X., Winne, C. T., & Fedewa, L. A. (2012). Ontogeny of antipredator
 2847 behavioral patterns in pitvipers: A comparative perspective. *Herpetologica*, 68(2), 123–
 2848 132.

2849 Greene, E., Gill, S. A., & Gahr, M. L. (2009). Sex differences in alarm calling in
2850 birds. *Journal of Avian Biology*, 40(1), 1–9.

2851 Hamilton, W. D. (1964). The genetical evolution of social behavior. I. *Journal of*
2852 *Theoretical Biology*, 7, 1–16. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780203790427-4>

2853 Herzog, M., & Hopf, S. (1984). Behavioral responses to species-specific
2854 warning calls in infant squirrel monkeys reared in social isolation. *American Journal of*
2855 *Primatology*, 7(2), 99–106. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajp.1350070204>

2856 Hollén, L. I., & Radford, A. N. (2009). The development of alarm call behaviour
2857 in mammals and birds. *Animal Behaviour*, 78(4), 791–800. DOI:
2858 <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.07.021>

2859 ICMBio. (2018a). Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção.
2860 Volume 1, 66–70. Available at:
2861 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf)
2862 [diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf). Accessed: 10 April 2021.

2863 ICMBio. (2018b). Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção.
2864 Volume 2, 401–403. Available at:
2865 [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf)
2866 [diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol2.pdf). Accessed: 10 April 2021.

2867 INMET. (2023). Instituto Nacional de Meteorologia. Available at:
2868 <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A426>. Accessed: 15 March 2023.

2869 Janik, V. M., & Slater, P. J. B. (2000). Vocal learning in mammals. *Advances in*
2870 *the Study of Behavior*, 29, 59–99. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(08\)60106-0](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60106-0)

2871 Koda, H., Oyakawa, C., & Sugiura, H. (2013). The function of contact calls in
2872 maintaining group cohesion among wild Japanese macaques (*Macaca fuscata*).
2873 *Primates*, 54(1), 23–32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10329-012-0323-5>

2874 Kondo, N., & Watanabe, S. (2009). Contact calls: Information and social
 2875 function. *Japanese Psychological Research*, 51, 197–208. DOI:
 2876 <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2009.00399.x>

2877 Lacher, T. E. (1981). The comparative social behavior of *Kerodon rupestris* and
 2878 *Galea spixii* and the evolution of behavior in the Caviidae. *Bulletin of Carnegie*
 2879 *Museum of Natural History*, 17, 1–71.

2880 Lewis, R. N., Williams, L. J., & Gilman, R. T. (2020). The uses and implications
 2881 of avian vocalizations for conservation planning. *Conservation Biology*, 00, 1–14. DOI:
 2882 <https://doi.org/10.1111/cobi.13465>

2883 Lima, S. L., & Dill, L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of
 2884 predation: A review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, 68(4), 619–640.
 2885 DOI: <https://doi.org/10.1139/z90-092>

2886 Lima, S. G. C., Sousa-Lima, R. S., Tokumaru, R. S., Nogueira-Filho, S. L. G., &
 2887 Nogueira, S. S. C. (2018). Vocal complexity and sociality in spotted paca (*Cuniculus*
 2888 *paca*). *PLoS One*, 13, e0190961. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190961>

2889 Manser, M. B. (2001). The acoustic structure of suricates' alarm calls varies
 2890 with predator type and the level of response urgency. *Proceedings of the Royal Society*
 2891 *B: Biological Sciences*, 268(1483), 2315–2324. DOI:
 2892 <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.177>

2893 Marler, P. (1955). Characteristics of some animal calls. *Nature*, 176, 6–8. DOI:
 2894 <https://doi.org/10.1038/176006a0>

2895 McGregor, P. K. (2000). Playback experiments: Design and analysis. In
 2896 McGregor, P. K. (Ed.), *Playback and Studies of Animal Communication* (pp. 1–9).
 2897 Boston: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3844-7_1

2898 Meaux, E. H. C., Zeng, X. H. R., Jiang, A., & Goodale, E. (2023). Audience

2899 effects in a group-living bird: How contact call rate is affected by vegetation and group
 2900 size and composition. *Ecology and Evolution*, 13, e9909. DOI:
 2901 <https://doi.org/10.1002/ece3.9909>
 2902 MMA, Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria N° 148, de 7 de junho de
 2903 2022. Available at: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html)
 2904 [atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html). Accessed: 10
 2905 April 2022.
 2906 Monticelli, P. F., & Ades, C. (2011). Bioacoustics of domestication: Alarm and
 2907 courtship calls of wild and domestic caviés. *Bioacoustics*, 20, 169–191. DOI:
 2908 <https://doi.org/10.1080/09524622.2011.9753642>
 2909 Monticelli, P. F., & Ades, C. (2013). The rich acoustic repertoire of a precocious
 2910 rodent, the wild cavy *Cavia aperea*. *Bioacoustics*, 22, 37–41. DOI:
 2911 <https://doi.org/10.1080/09524622.2012.711516>
 2912 Monticelli, P. F., & Alencar-Junior, R. N. (2021). The acoustic behavior of the
 2913 Brazilian caatinga big rodent is incongruent to its actual position in Hydrochoerinae.
 2914 *Behavioural Processes*, 193, 104523. DOI:
 2915 <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104523>
 2916 Naguib, M., & Wiley, H. (2001). Estimating the distance to a source of sound:
 2917 Mechanisms and adaptations for long-range communication. *Animal Behaviour*, 62(5),
 2918 825–837. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1860>
 2919 Nogueira, S. S. C., Pedroza, J. P., Nogueira-Filho, S. L. G., & Tokumaru, R. S.
 2920 (2012). The function of click call emission in capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*).
 2921 *Ethology*, 118, 1001–1009. DOI: <https://doi.org/10.1111/eth.12001>
 2922 Owings, D. H., & Hennessy, D. F. (1984). The importance of variation in alarm
 2923 calls of California ground squirrels. *Journal of Mammalogy*, 65(4), 627–634.

2924 Radford, A. N., & Ridley, A. R. (2008). Close calling regulates spacing between
 2925 foraging competitors in the group-living pied babbler. *Animal Behaviour*, 75(2), 519–
 2926 527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.05.016>
 2927 Rault, J. L. (2016). Friends with benefits: Social support and its relevance for
 2928 farm animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 178, 22–30.
 2929 Rendall, D., Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (2000). Proximate factors
 2930 mediating "contact" calls in adult female baboons (*Papio cynocephalus ursinus*) and
 2931 their infants. *Journal of Comparative Psychology*, 114(1), 36–46. DOI:
 2932 <https://doi.org/10.1037/0735-7036.114.1.36>
 2933 Sekhardash, N., & Bhattacharyya, A. (2017). The Animal Communication
 2934 System (ANICOMs): Some interesting observations. *International Journal of*
 2935 *Communication*, 27, 7–47.
 2936 Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., & Marler, P. (1980). Monkey responses to three
 2937 different alarm calls: Evidence of predator classification and semantic communication.
 2938 *Science*, 210, 801–803.
 2939 Sherman, P. W. (1977). Nepotism and the evolution of alarm calls. *Science*, 197,
 2940 1246–1253.
 2941 Shine, R. (1989). Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: A
 2942 review of the evidence. *The Quarterly Review of Biology*, 64(4), 419–461.
 2943 Sperber, A. L., Werner, L. M., Kappeler, P. M., & Fichtel, C. (2017). Grunt to
 2944 go—Vocal coordination of group movements in redfronted lemurs. *Ethology*, 123(12),
 2945 894–905. DOI: <https://doi.org/10.1111/eth.12663>
 2946 Stephan, C., & Zuberbühler, K. (2021). Alarm calling and kinship. In:
 2947 Shackelford, T. K., & Weekes-Shackelford, V. A. (Eds.), *Encyclopedia of Evolutionary*
 2948 *Psychological Science* (pp. 1–12). Cham: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3->

[319-19650-3_1512](#)

Smith, C. L., Toth, A. L., & Suarez, A. V. (2016). Behavioral ecology of colony defense in ants. *Behavioral Ecology*, 27(4), 989–996.

Suzuki, T. N. (2011). Parental alarm calls warn nestlings about different predatory threats. *Current Biology*, 21, R15–R16. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.11.027>

Tamachi, N. (1987). The evolution of alarm calls: An altruism with nonlinear effect. *Journal of Theoretical Biology*, 127, 141–153. DOI:

[https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80125-X)

Tasso, M. A. L., & Chang, M. R. C. (2013). Análise erosional da Serra de Monte Alto entre Palmas de Monte Alto e Sebastião Laranjeiras, BA. *Revista ACTA*

Geográfica, 7, 107–121. DOI: <https://doi.org/10.5654/actageo2013.0714.0007>

Vehrencamp, S., Ritter, A. F., Keever, M., & Bradbury, J. (2003). Responses to playback of local vs. distant contact calls in the orange-fronted conure, *Aratinga*

canicularis. *Ethology*, 109, 37–54. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439->

[0310.2003.00850.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2003.00850.x)

Wilson, D. R. (2015). Animal communication theory: Information and influence. *Current History*, 114, 80. DOI: <https://doi.org/10.1525/curh.2015.114.769.80>

Zuberbühler, K. (2000). Interspecies semantic communication in two forest

primates. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 267(1444), 713–718.