



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



Dissertação de Mestrado

**Método para amostragens de mamíferos noturnos usando drones com câmeras termais:  
um estudo de caso com o uso do espaço por capivaras no sul do Brasil**

Douglas de Oliveira Berto

Porto Alegre, setembro de 2023

MÉTODO PARA AMOSTRAGENS DE MAMÍFEROS NOTURNOS USANDO DRONES  
COM CÂMERAS TERMAIS: UM ESTUDO DE CASO COM O USO DO ESPAÇO POR  
CAPIVARAS

Douglas de Oliveira Berto

Dissertação de Mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Andreas Kindel

Coorientador: Dr. Ismael Verrastro Brack

Comissão Examinadora:

Prof. Maria João Ramos Pereira

Dra. Viviane Zulian

Dr. Gastón Giné

Porto Alegre, setembro de 2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Berto, Douglas de Oliveira  
Método para amostragens de mamíferos noturnos  
usando drones com câmeras termais: um estudo de caso  
com o uso do espaço por capivaras no sul do Brasil /  
Douglas de Oliveira Berto. -- 2023.  
33 f.  
Orientador: Andreas Kindel.

Coorientador: Ismael Verrastro Brack.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Programa  
de Pós-Graduação em Ecologia, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Desenho amostral. 2. Sensor termal. 3. Voo  
híbrido. 4. Parâmetros populacionais . I. Kindel,  
Andreas, orient. II. Verrastro Brack, Ismael,  
coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## Resumo

O uso de sensores térmicos embarcados em drones tem fornecido uma nova e ampla gama de possibilidades para amostragem de animais. Apesar das vantagens de detectar animais camuflados ou parcialmente obstruídos e permitir amostragens noturnas, amostragens aéreas com sensores termais apresentam limitações, como baixa resolução das imagens e suscetibilidade a condições meteorológicas. Nosso objetivo é apresentar um método de amostragem para mamíferos noturnos com drones multirrotores equipados com câmeras termais, buscando contornar as limitações de resolução, autonomia dos drones e cobertura amostral em desenhos amostrais para a estimativa de ocorrência. O método consiste em um voo híbrido de rotas de voo pré-planejadas a uma altura suficiente para detectar as manchas de calor dos animais associada a aproximações manuais para identificação da espécie. Exemplificamos o método com um estudo que avaliou o uso do espaço por capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) numa região de áreas úmidas antropizadas no sul do Brasil. Testamos a relação entre o uso do espaço por capivaras com a distância para corpos d'água e a proporção de remanescentes de áreas úmidas. As amostragens ocorreram em agosto de 2022. Sobrevoamos em modo de varredura 112 unidades amostrais de 16 hectares (400 m X 400 m) a 40 m de altura e 40° de inclinação da câmera com uma velocidade média de 6,5m/s durante o voo automático. Os vídeos gravados durante os voos foram revisados manualmente por apenas um observador. Avaliamos a relação entre as variáveis ambientais e o uso do espaço pelas capivaras através de um GLM binomial, considerando a interação entre as variáveis preditoras. Registramos capivaras em 54 unidades amostrais e encontramos uma relação significativa da interação das variáveis preditoras com a probabilidade de uso do habitat. A influência da distância para corpos d'água na probabilidade de uso pelas capivaras se torna negativamente mais forte em lugares em que a proporção de áreas úmidas é mais alta. Próximo de corpos d'água, a influência positiva da proporção de áreas úmidas é grande, reduzindo até chegar em nenhuma influência em lugares distantes da água. O método de voo híbrido é uma alternativa eficiente para amostrar mamíferos noturnos usando drones multirrotores com câmera termal. Esperamos que a demonstração da estimativa do uso do espaço pelas capivaras neste trabalho incentive a realização de mais estudos com estimativas de distribuição espacial e abundância de mamíferos noturnos com drones.

**Palavras-Chave:** Desenho amostral, Sensor termal, Voo híbrido, Parâmetros populacionais

## **Abstract**

The use of thermal sensors integrated into drones has provided a new and extensive range of possibilities for animal sampling. Despite the advantages of detecting concealed or partially obstructed animals and enabling nocturnal sampling, aerial sampling with thermal sensors has limitations such as low image resolution and susceptibility to weather conditions. Our goal is to present a sampling method for nocturnal mammals using multirotor drones equipped with thermal cameras, aiming to overcome limitations in resolution, drone autonomy, and sample coverage in sampling designs for the estimation of occurrence. The method consists of pre-planned flight routes at a sufficient height to detect heat signatures of animals associated with manual approaches for species identification. We exemplify the method with a study that assessed the use of space by capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) in a region of anthropized wetlands in southern Brazil. We tested the relationship between capybara space use, distance to water bodies, and the proportion of wetland remnants. Sampling occurred in August 2022. We flew in a scanning mode over 112 sample units of 16 ha (400 x 400 m) at a height of 40m and a camera tilt of 40° with an average speed of 6,5m/s during automatic flight. The videos recorded during the flights were reviewed manually by just one observer. We evaluated the relationship between the environmental variables and the probability of capybara use through a binomial GLM, considering the interaction between predictor variables. We recorded capybaras in 54 sample units and found a significant relationship between the interaction of predictor variables and use probability. The influence of the distance to water bodies on capybara use probability becomes negatively stronger in places where the proportion of wetlands is higher. Near water bodies, the positive influence of wetland proportion is significant, gradually diminishing to no influence in places far from water. The hybrid flight method is an efficient alternative for sampling nocturnal mammals using multirotor drones with thermal cameras. We hope that the demonstration of the estimate probability of use by capybaras in this work encourage the conduct of more studies on nocturnal mammals distribution and abundance estimation with drones.

**Key-words:** Sample design, Thermal sensor, Hybrid flight, Population parameters

## **Sumário**

<b>Introdução Geral.....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>9</b>
Um método para amostragens de mamíferos noturnos usando drones com câmeras termais: um estudo de caso com o uso do espaço por capivaras no sul do Brasil.....	10
<b>Considerações Finais .....</b>	<b>28</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>29</b>

## **Introdução geral**

Acessar informações populacionais como a probabilidade de uso do espaço e abundância de espécies têm um papel fundamental na ecologia e para a conservação da biodiversidade (Farr et al. 2022). Essas informações oferecem contribuições importantes para o entendimento da distribuição e comportamento das espécies em seus habitats, fornecendo dados necessários para subsidiar tomadas de decisão eficientes nas ações de conservação e manejo (Johnston et al. 2015). Ao compreendermos onde e com que densidade as populações ocorrem, é possível identificar áreas críticas para a conservação e a partir de um planejamento territorial, implementar estratégias de manejo específicos para essas regiões (Tédonzong et al. 2018). Além disso, o conhecimento sobre a abundância local de uma população pode elucidar qual o grau de ameaça essa espécie se encontra através de um monitoramento ajudar a avaliar a eficácia das medidas de conservação implementadas (Merli et al. 2023). Portanto, estimativas precisas de uso do espaço e abundância constituem um subsídio crucial para a gestão de unidades de conservação, permitindo a proteção eficiente da biodiversidade e manutenção de ambientes cruciais para populações ameaçadas.

Para estimar ocorrência e abundância é necessário obter dados de presença/ausência e contagens, o que pode ser uma tarefa desafiadora, especialmente para certos grupos de animais. Essa dificuldade muitas vezes decorre das características específicas dos ambientes e comportamentos das espécies. Espécies que habitam áreas remotas, de difícil acesso, como regiões montanhosas, florestas densas, planícies alagáveis ou ambientes marinhos, frequentemente tornam a coleta de dados uma tarefa muito custosa e pouco eficiente. Além disso, animais que possuem áreas de vida extensas, como grandes mamíferos, tornam ainda mais difícil abranger toda a área de ocorrência e monitoramento dessas populações (Vermeulen et al. 2013). Para lidar com esses desafios, o uso de tecnologias como armadilhas fotográficas, biotelemetria e drones têm se mostrado importantes para coleta de dados que permitam explorar parâmetros populacionais (Lahoz-Monfort and Magrath 2021).

Os drones, emergiram como uma ferramenta inovadora e eficaz na ecologia para a coleta de dados de maneira semelhantes às amostragens aéreas tradicionais (i.e., voos tripulados em aviões ou helicópteros), porém, com algumas vantagens adicionais (Linchant et al. 2015). Essa tecnologia proporcionou que amostragens aéreas se tornassem mais acessíveis e seguras para a coleta de informações em áreas remotas e de difícil acesso. Voos tripulados são logisticamente muito mais complexos e caros, além de serem uma das principais fontes de acidentes com morte

de pesquisadores de vida silvestres, devido aos voos de baixa altitude e velocidade para a amostragem dos animais (Sasse 2003). A acessibilidade ao uso de drones trouxe vantagens para a pesquisa como a varredura de uma ampla área em um curto tempo, viabilidade de repetições amostrais e replicações espaciais e temporais, de forma a executar monitoramentos com um método não invasivo, de menor perturbação e barato em relação às amostragens tradicionais aéreas. Os drones têm sido empregados com sucesso em uma diversidade de estudos e na amostragem de diversos grupos de animais, ampliando as possibilidades de pesquisa e monitoramento (Linchant et al. 2015). Em ecologia, estudos usando drones buscam principalmente compreender o tamanho populacional, a ocorrência, o comportamento animal e riqueza da comunidade, especialmente em pesquisas de megafauna, como elefantes, cervídeos e baleias (Vermeulen et al. 2013; Chrétien et al. 2016; Torres et al. 2018) auxiliando na contagem e na avaliação do status de conservação de espécies ameaçadas. Contudo, com o avanço da tecnologia do equipamento, os clássicos drones de asa-fixa receberam a companhia de drones multirrotores no mercado, permitindo voos mais baixos e com maior controle dos comandos. Essa flexibilidade nas configurações possibilitou que estudos mais recentes explorassem essa tecnologia para animais de menor porte e de hábitos arborícolas (Beranek et al. 2021). Além disso, eles têm sido fundamentais em estudos de avifauna, possibilitando a observação de padrões de nidificação, migração e comportamento de aves em seus habitats naturais.

Outra vantagem da utilização de drones é a possibilidade de múltiplos sensores embarcados durante a amostragem (Linchant et al. 2015). Sensores multiespectrais, Light Detection and Ranging (LIDAR) e sensores térmicos são alguns desses sensores que abrem uma nova gama de estudos que podem ser realizados, tanto na área de sensoriamento remoto, ao extrair informações das variáveis ambientais em escalas mais finas e mais recentes, quanto na coleta de registros de animais de forma inovadora. A incorporação de sensores térmicos em drones representa um avanço significativo na obtenção de dados e informações adicionais às amostragens tradicionais com sensores visíveis, potencializando substancialmente a detecção de animais em diversos contextos e cenários (McKellar et al. 2021). A capacidade dos sensores térmicos de identificar diferenças sutis de temperatura entre os organismos e o ambiente possibilita a detecção de animais mesmo quando estão camuflados ou parcialmente ocultos. Isso se torna particularmente útil na pesquisa de mamíferos noturnos, que frequentemente se tornam quase invisíveis aos sensores visíveis convencionais (Bushaw et al. 2019). Esses sensores também se destacam na detecção de animais em ambientes aquáticos, uma vez que a

temperatura da superfície da água pode revelar a presença de animais aquáticos, mesmo que não estejam visíveis à superfície. Mamíferos têm se destacado como o grupo principal de interesse em estudos com drones que utilizam sensores térmicos embarcados, devido a sua característica fisiológica de endotermia (McGowan et al. 2018). Essa característica permite que voos noturnos possam ser realizados para amostragem de mamíferos, especialmente em ambientes frios onde a temperatura do ambiente e a do corpo dos animais podem variar significativamente (Zabel et al. 2023).

Embora tenha havido um notável aumento nos estudos que utilizam drones equipados com sensores térmicos para amostragem da fauna, é importante observar que poucos desses estudos se propuseram a realizar estimativas elaboradas de parâmetros populacionais (Delisle et al. 2023). A maioria desses trabalhos tem se concentrado em comparações e testes de detecção dos sensores, bem como na aplicação dessa tecnologia para diferentes espécies (Witczuk et al. 2018; McMahon et al. 2021). Embora a pesquisa sobre a detectabilidade e versatilidade do equipamento para amostragens de animais silvestres seja fundamental para o aprimoramento das técnicas e metodologias, é essencial que, no futuro, haja um direcionamento para a realização de estimativas robustas e precisas de parâmetros populacionais, como tamanho das populações e seus usos do ambiente. Isso permitirá uma compreensão mais completa dos potenciais impactos das mudanças ambientais e das estratégias de conservação necessárias para a manutenção de populações de animais ameaçados, maximizando o potencial dessa tecnologia inovadora para contribuir efetivamente para a conservação da biodiversidade.

## **Capítulo 1.**

### **Um método para amostragens de mamíferos noturnos usando drones com câmeras termais: um estudo de caso com o uso do espaço por capivaras no sul do Brasil**

Este capítulo foi formatado conforme as normas editoriais da revista *Mammal Research* e foi feito em colaboração com Ismael Verrastro Brack, Guilherme Servi, Lucas Schunck, Leticia Rolim Vianna, Cecilia Schuler Nin, André Osório Rosa e Andreas Kindel

## 1 **Resumo**

2 O uso de sensores térmicos embarcados em drones tem fornecido uma nova e ampla gama de  
3 possibilidades para amostragem de animais. Apesar das vantagens de detectar animais  
4 camuflados ou parcialmente obstruídos e permitir amostragens noturnas, amostragens aéreas  
5 com sensores termais apresentam limitações, como baixa resolução das imagens e  
6 suscetibilidade a condições meteorológicas. Nosso objetivo é apresentar um método de  
7 amostragem para mamíferos noturnos com drones multirrotores equipados com câmeras  
8 termais, buscando contornar as limitações de resolução, autonomia dos drones e cobertura  
9 amostral em desenhos amostrais para a estimativa de ocorrência. O método consiste em um voo  
10 híbrido de rotas de voo pré-planejadas a uma altura suficiente para detectar as manchas de calor  
11 dos animais associada a aproximações manuais para identificação da espécie. Exemplificamos  
12 o método com um estudo que avaliou o uso do espaço por capivaras (*Hydrochoerus*  
13 *hydrochaeris*) numa região de áreas úmidas antropizadas no sul do Brasil. Testamos a relação  
14 entre o uso do espaço por capivaras com a distância para corpos d'água e a proporção de  
15 remanescentes de áreas úmidas. As amostragens ocorreram em agosto de 2022. Sobrevoamos  
16 em modo de varredura 112 unidades amostrais de 16 hectares (400 m X 400 m) a 40 m de altura  
17 e 40° de inclinação da câmera com uma velocidade média de 6,5m/s durante o voo automático.  
18 Os vídeos gravados durante os voos foram revisados manualmente por apenas um observador.  
19 Avaliamos a relação entre as variáveis ambientais e o uso do espaço pelas capivaras através de  
20 um GLM binomial, considerando a interação entre as variáveis preditoras. Registramos  
21 capivaras em 54 unidades amostrais e encontramos uma relação significativa da interação das  
22 variáveis preditoras com a probabilidade de uso do habitat. A influência da distância para corpos  
23 d'água na probabilidade de uso pelas capivaras se torna negativamente mais forte em lugares  
24 em que a proporção de áreas úmidas é mais alta. Próximo de corpos d'água, a influência positiva  
25 da proporção de áreas úmidas é grande, reduzindo até chegar em nenhuma influência em lugares  
26 distantes da água. O método de voo híbrido é uma alternativa eficiente para amostrar mamíferos  
27 noturnos usando drones multirrotores com câmera termal. Esperamos que a demonstração da  
28 estimativa do uso do espaço pelas capivaras neste trabalho incentive a realização de mais  
29 estudos com estimativas de distribuição espacial e abundância de mamíferos noturnos com  
30 drones.

31 **Palavras-Chave:** Desenho amostral, Sensor termal, Voo híbrido, Parâmetros populacionais

## 32 INTRODUÇÃO

33 O uso do espaço e a abundância das populações de animais são variáveis ecológicas  
34 fundamentais para dar suporte à tomada de decisão em ações de manejo e conservação de  
35 unidades de conservação. O uso do espaço por animais e o tamanho de suas populações são  
36 informações importantes para o entendimento da adequabilidade do ambiente e o grau de  
37 ameaça de uma população (IUCN Standards and Petitions Committee 2022). Adicionalmente, o  
38 monitoramento dessas variáveis ao longo do tempo possibilita avaliar o impacto de uma ação  
39 de conservação ou de uma perturbação externa, acompanhar flutuações populacionais ou  
40 prever a extensão de ocorrência e dispersão de uma espécie, seja ela nativa ou invasora (Legge  
41 et al. 2022; Merli et al. 2023). Para ser útil para a conservação, a coleta e processamento dos  
42 dados de uso do espaço ou abundância precisa ser logisticamente eficiente e resultar em  
43 estimativas acuradas. Tecnologias, como armadilhas fotográficas, gravadores de som,  
44 biotransmissores e drones, vêm sendo cada vez mais utilizadas como ferramenta para  
45 otimização da obtenção desse tipo de dado (Lahoz-Monfort and Magrath 2021).

46 Os drones vêm revolucionando a maneira de registrar e amostrar a vida silvestre,  
47 facilitando a obtenção de dados populacionais (Jones et al. 2006). Animais de ambientes  
48 abertos, e que ocorrem em locais de difícil acesso, apresentam um desafio de amostragem que  
49 o uso dos drones vêm conseguindo cada vez mais superar. O uso de drones têm demonstrado  
50 grande potencial para amostragem de diversos animais como, por exemplo, cervídeos (Brack  
51 et al. 2023), elefantes (Vermeulen et al. 2013) , hipopótamos (Lhoest et al. 2015) e cetáceos  
52 (Torres et al. 2018). Além disso, os drones permitem que locais antes considerados de alto risco  
53 para sobrevoos tripulados, agora sejam mais facilmente amostrados (e.g. regiões montanhosas),  
54 assim como a possibilidade de voos mais próximos do solo que aumentam a nitidez dos  
55 registros (Anderson and Gaston 2013).

56 Devido a sua alta flexibilidade e custo relativamente baixo quando comparado com voos  
57 tripulados (Chabot 2009), os drones possibilitam sobrevoos mais frequentes (Watts et al. 2010).  
58 A replicabilidade dos voos de forma mais frequente e autônoma faz com que monitoramentos  
59 de populações sejam implementados com mais facilidade, possibilitando acompanhar  
60 flutuações populacionais e detectar possíveis mudanças demográficas. Além disso, o registro  
61 permanente em fotos ou vídeos, permite um controle mais rígido da qualidade dos dados, assim  
62 como a possibilidade de treinamento de algoritmos de revisão. A capacidade de embarcar  
63 múltiplos sensores como câmeras multiespectrais, Light Detection and Ranging (LiDAR) e  
64 câmeras térmicas, é outra vantagem (Linchant et al. 2015). Porém, assim como qualquer outro

65 método de amostragens de vida silvestre, observações de animais feitas a partir de amostragens  
66 com drone estão sujeitas à detecção imperfeita. Os erros de detecção em amostragens aéreas  
67 são geralmente classificados em quatro categorias: contagem dupla, disponibilidade, percepção  
68 e erro de identificação (Brack et al. 2018) Esses erros de detecção precisam ser contornados no  
69 momento da amostragem ou acomodados nas análises para que estimativas de ocorrência ou  
70 abundância não resultem enviesadas.

71 O uso de sensores térmicos embarcados em drones ampliou a diversidade de animais  
72 que podem ser detectados, principalmente para espécies que os sensores visíveis (RGB) têm  
73 mais dificuldade ou não conseguem detectar. Animais camuflados ou parcialmente obstruídos  
74 pela vegetação podem ser mais facilmente detectados através de sensores térmicos (Witzuk et  
75 al. 2018). A amostragem de animais com comportamento predominantemente noturno também  
76 se tornou possível com amostragens aéreas com o uso de sensores térmicos. Mamíferos  
77 noturnos são um grupo de animais de grande potencial para serem explorados com este novo  
78 sensor, devido a suas características endotérmicas.

79 Existem algumas limitações que podem dificultar a aplicação dessa ferramenta para a  
80 amostragem de mamíferos. A captação do calor de um mamífero pelo sensor térmico depende  
81 de características do indivíduo e das condições do ambiente no entorno. A emissividade do calor  
82 de cada mamífero depende de propriedades físicas da pelagem (isolamento térmico) (McGowan  
83 et al. 2018) e tamanho corpóreo (área de calor). Quanto mais longe o indivíduo estiver do sensor  
84 (i.e., quanto mais alto for o voo), maior a distorção na captação de calor. A baixa resolução dos  
85 sensores (em geral não ultrapassando 640 x 512 pixels) restringe a realização de voos muito  
86 altos, porque a baixa qualidade da imagem impossibilita a identificação das manchas de calor.  
87 Além disso, a sensibilidade do sensor térmico a condições de alta umidade comprometem a  
88 nitidez das imagens. Condições de temperatura ambiental próximas à temperatura dos  
89 indivíduos comprometem o contraste térmico que possibilita a detecção do animal (Chrétien et  
90 al. 2016). Por fim, é necessário que o animal esteja disponível para a detecção do sensor  
91 térmico, animais parcialmente obstruídos pela vegetação conseguem emitir calor o suficiente  
92 para serem detectados, contudo indivíduos que estiverem completamente obstruídos é uma  
93 limitação de ambos os sensores RGB e termal.

94 Equilibrar a eficiência de amostragem (cobertura de área por voo) e a qualidade da  
95 imagem (altura de voo) está entre os principais desafios de planejamento de uma amostragem  
96 com drones. A definição do tamanho da unidade amostral precisa ser bem planejada para

97 aproveitar ao máximo a autonomia do drone eliminando o risco de não completar a amostragem.  
98 Embora drones de asa fixa geralmente apresentem uma maior autonomia, resultante de uma  
99 maior capacidade de carga, os drones multirrotores apresentam maior flexibilidade para voos a  
100 baixa altura e ajustes da altura durante os voos, características importantes para contornar as  
101 limitações de resolução dos sensores térmicos. Por ser uma tecnologia recente, estudos que  
102 usam drones com sensores térmicos geralmente ficam limitados a testes e comparações de  
103 métodos. Diversos estudos testam a detecção de uma ou mais espécies de interesse através do  
104 sensor térmico, de modo a avaliar suas potencialidades e limitações de aplicação (Bushaw et al.  
105 2019; Ireland et al. 2019; Spaan et al. 2019). Alguns estudos testam a capacidade dos drones  
106 (como uma nova ferramenta) para estimar variáveis populacionais, comparando as observações  
107 geradas pelos drones com métodos mais bem estabelecidos como armadilhas fotográficas  
108 (Ireland et al. 2019) e procura de vestígios (McMahon et al. 2022). No entanto, apesar do  
109 aumento no número de estudos usando drones com câmeras térmicas nos últimos 10 anos  
110 (Delisle et al. 2023), poucos deles se propuseram propriamente a avaliar questões ecológicas  
111 ou de conservação (Preston et al. 2021).

112         Nosso objetivo neste estudo é apresentar um método de amostragem para mamíferos  
113 noturnos usando drones multirrotores equipados com câmeras térmicas, de modo a contornar as  
114 limitações de resolução da imagem, autonomia e cobertura da área amostrada. O método  
115 consiste em voos com rotas pré-planejadas (em transecção em faixa ou varredura em quadrados  
116 amostrais) em uma altura suficiente para detectar as manchas de calor, combinada com pausas  
117 para aproximações em controle manual para a identificação da espécie. Nós demonstramos uma  
118 aplicação desse método em um estudo de caso em que buscamos avaliar o uso do espaço por  
119 capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*) em uma região de áreas úmidas antropizadas no sul do  
120 Brasil. Especificamente, testamos a relação do uso do espaço pelas capivaras com a distância  
121 para corpos d'água e a proporção de remanescentes de áreas úmidas. Devido a sua necessidade  
122 de ambientes para forrageio, abrigo, termorregulação e reprodução, esperamos que capivaras  
123 apresentem preferências por locais próximos da água que representam ambientes com  
124 vegetação propícia para alimento e proteção (Herrera and Macdonald 1989). Portanto,  
125 esperamos encontrar uma relação negativa entre a probabilidade de uso e o aumento da distância  
126 para água e concomitantemente uma probabilidade de uso maior em locais com mais cobertura  
127 de remanescentes de áreas úmidas.

128         Outros trabalhos com drones já exploraram diversas combinações de amostragens com  
129 o intuito de aumentar o número de registros e se certificar da identificação da espécie.

130 Combinações como voo automático com revisão do banco de imagens a posteriori, voo manual  
131 de busca ativa aos indivíduos com revisão em tempo real das espécies, voo automático em  
132 missões programadas com pausas para averiguação da espécie através de voos manuais e  
133 revisão em tempo real ou a posteriori, são, por exemplo, alguns métodos de sobrevoo de drone  
134 realizados para amostragem de animais. Em nosso trabalho aplicamos um método de voo  
135 programado com pausas e aproximações de voo manual, seguido de uma revisão posterior das  
136 imagens pelos observadores para a identificação das espécies. O diferencial foi aplicarmos e  
137 descrevermos esse método de voo híbrido detalhadamente (i, e. voo automático pré-programado  
138 e voo manual de aproximação) de forma que o desenho amostral fosse aplicado para estimar  
139 variáveis populacionais em uma ampla área e relacioná-las com variáveis ambientais,  
140 compreendendo a distribuição espacial da população.

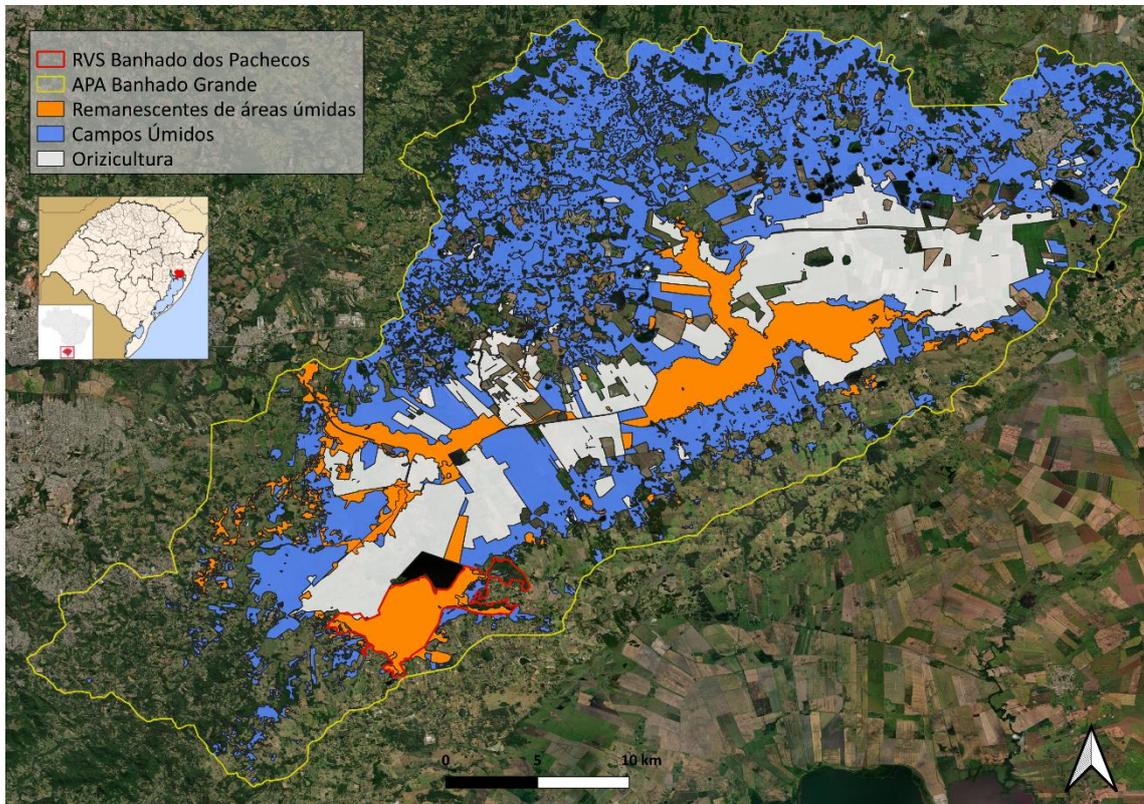
141

## 142 **MÉTODOS**

### 143 **Área de estudo**

144 O estudo foi realizado em duas unidades de conservação do sul do Brasil (estado do Rio  
145 Grande do Sul): a Área de Proteção Ambiental Banhado Grande, uma unidade de conservação  
146 de uso sustentável (137 mil ha nos municípios de Viamão, Gravataí, Glorinha e Santo Antônio  
147 da Patrulha); e o Refúgio de Vida Silvestre Banhado dos Pachecos (2,5 mil ha), uma unidade  
148 de conservação de proteção integral, no município de Viamão (Figura 1). Essas unidades de  
149 conservação se encontram em uma região de transição entre os biomas Mata Atlântica e Pampa.  
150 Nosso estudo se concentrou especificamente em uma região de menores altitudes (< 40 m),  
151 caracterizada por um mosaico de formações vegetais que inclui florestas de restinga, florestas

152 paludosas, banhados, maricazais, pastagens, campos e cultivos anuais e perenes e pequenos  
153 aglomerados suburbanos ou sedes de propriedades (SEMA, 2021).



154 **Figura 1:** Uso e cobertura do solo nas duas unidades de conservação (sul do Brasil)  
155 onde avaliamos o uso do espaço por capivaras usando drones com câmeras térmicas. RVS =  
156 Refúgio de Vida Silvestre, APA= Área de Proteção Ambiental.

### 157 **Espécie alvo**

158 A capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) é o maior roedor existente no mundo, pesando  
159 em média 50kg, mas podendo atingir até 90kg (Mones and Ojasti 1986). A espécie tem uma  
160 distribuição ampla por todo o Brasil e países da América do Sul a leste dos Andes. É uma  
161 espécie abundante em áreas úmidas, como margens de rios, banhados e lagoas que formam  
162 ambientes extremamente importantes para a reprodução e termorregulação (Corriale and  
163 Herrera 2014). Apresenta uma dieta bastante relacionada com formações vegetais herbáceas  
164 que crescem nas bordas destes corpos d'água (Herrera and Macdonald 1989). São animais  
165 sociais que vivem em grupos de até 30 indivíduos (Mones and Ojasti 1986). As capivaras  
166 apresentam uma grande variação no tamanho da sua área de vida, com estudos que apontam de  
167 10 ha até 200 ha (Lopes et al. 2021). O principal período de forrageio ocorre no crepúsculo  
168 (amanhecer e anoitecer), evitando os períodos mais quentes do dia quando usufruem dos corpos  
169 d'água para termorregular (Leuchtenberger et al. 2018). Podem apresentar um comportamento

170 majoritariamente noturno em regiões de maior intensidade de atividades antrópicas (Serra-  
171 Medeiros et al. 2021). A capivara é uma espécie com alta capacidade de adaptação a ambientes  
172 antropizados e que pode apresentar populações consideradas superabundantes em locais de  
173 grande disponibilidade de recursos e baixa predação (Ferraz et al. 2007). Tanto globalmente  
174 como nacionalmente, a capivara tem seu status de conservação classificado como pouco  
175 preocupante (Least Concern) (IUCN 2016; Brasil, 2018).

## 176 **Coleta de dados**

177 As amostragens ocorreram durante o período de inverno, entre 10 e 30 de agosto de  
178 2022. Usamos um drone multirrotor Mavic 2 Enterprise Advanced que possui uma câmera  
179 térmica com resolução de 640 x 512 px, distância focal de 9 mm e 7 mm de largura do sensor.  
180 O universo amostral foi delimitado com objetivo de contemplar os diferentes usos e coberturas  
181 do solo da região, totalizando 16.725 ha (Figura 1).

182 Definimos as unidades amostrais como quadrados de 16 hectares (400 x 400 m), de  
183 modo a otimizar o uso da autonomia do drone (~31 minutos de voo) e amostrar a maior área  
184 possível por voo. Amostramos 112 quadrados distribuídos de forma espacialmente balanceada  
185 a partir de um sorteio estratificado por cada classe de uso e cobertura do solo: 50% das unidades  
186 amostrais em remanescentes de áreas úmidas (várzeas, banhados e ambientes com  
187 predominância de maricás - *Mimosa bimucronata*); 25% em campos úmidos (ambientes  
188 predominantemente herbáceos, com arbustos de baixa altura e esparsos, decorrentes de lavouras  
189 abandonadas em processo de recuperação); e 25% em orizicultura (Figura 2).

190 Consideramos que a detecção da espécie durante os voos não foi afetada por detecção  
191 imperfeita. Assumimos que a detecção foi perfeita com base em alguns voos iniciais em que  
192 notamos que o alto contraste térmico possibilitou uma alta detecção dos mamíferos presentes.

193 Os sobrevoos foram conduzidos usando um método híbrido de voo, composto por uma  
194 trajetória pré-programada em linhas de varredura dentro das unidades amostrais, somada com  
195 aproximações em voo manual para verificação de manchas de calor para identificação da  
196 espécie em situações de dúvida de potenciais mamíferos. As aproximações manuais possuíam  
197 alturas variadas e angulações da câmera que melhorasse a identificação da espécie, após esse  
198 período de aproximação retornávamos o drone para a missão planejada de onde tinha sido  
199 interrompida. A trajetória foi programada em linhas com espaçamento de 50m, altura de voo de  
200 40 m e o ângulo de inclinação da câmera foi fixado em 40° câmera, determinamos para o voo

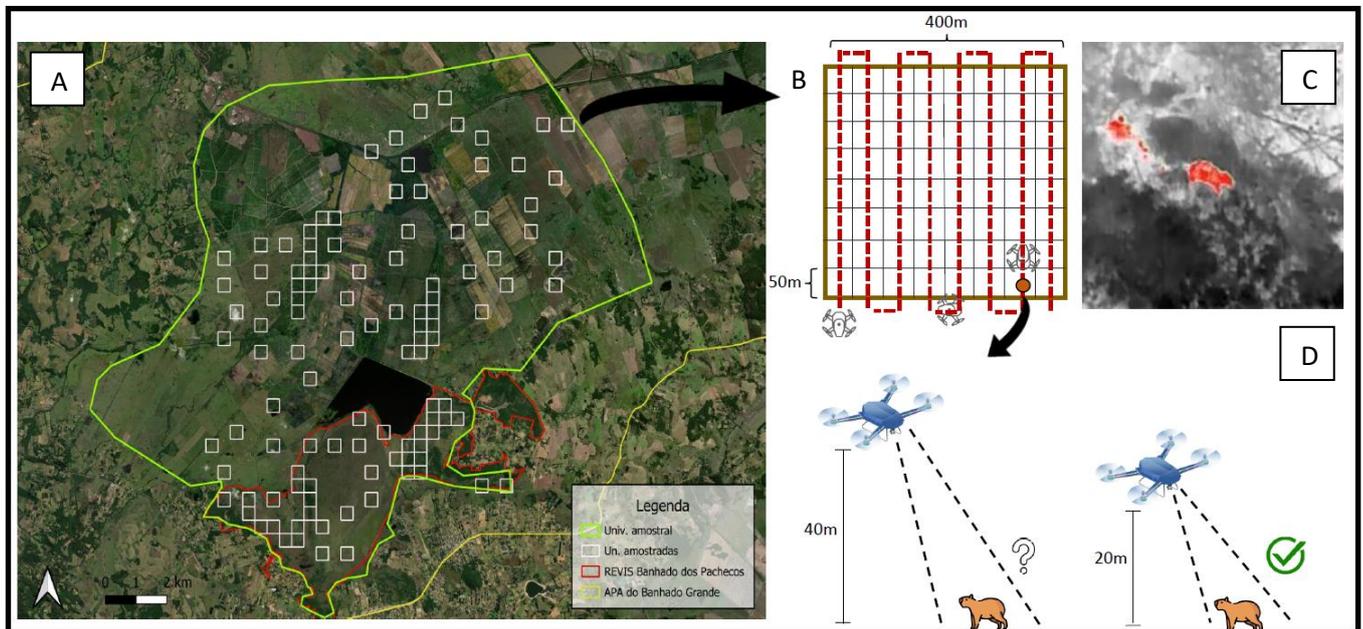
201 automático uma velocidade média de 6,5m/s. Para cada voo, foram gravados vídeos contínuos  
202 de todo o percurso dentro da unidade amostral. Utilizamos a paleta de cor “tint” para a  
203 visualização da imagem termal, começando do preto para objetos mais frios, branco para  
204 objetos quentes e vermelho para os objetos em destaque mais quentes da gravação. Os vídeos  
205 apresentaram uma pequena sobreposição lateral entre as linhas para auxiliar a localização do  
206 piloto durante o percurso de amostragem e diferenciar os registros novos de registros repetidos.  
207 Caso uma bateria não fosse o suficiente para percorrer todo o trajeto programado com as pausas  
208 para identificação da espécie, utilizamos uma bateria extra para finalizar a amostragem de toda  
209 a unidade amostral.

210 Escolhemos essas configurações de voo para viabilizar a detecção de manchas de calor  
211 em tempo hábil para pausar o voo automático e aproximar o drone de forma manual, permitir a  
212 visão lateralizada e facilitar a identificação da espécie dentro da autonomia do drone. Os voos  
213 se concentraram no período da noite, começando no entardecer (em torno das 18h) estendendo-  
214 se até o início da madrugada (1h/2h da madrugada) e no período da manhã, começando no  
215 amanhecer (por volta das 5h).

216 Os vídeos realizados para cada quadrado amostral totalizaram 38 horas e 25 minutos de  
217 varredura dentro das unidades amostrais. Realizamos uma revisão manual cuidadosa dos vídeos  
218 em telas grandes ( $\geq 21''$ ) registrando todos os animais detectados e qual o intervalo de tempo  
219 que o registro aparece. Durante a revisão a posteriori consideramos apenas registros confiáveis  
220 de capivaras, deixando potenciais dúvidas fora da estimativa. Para a revisão total dos vídeos da  
221 expedição levamos cerca de 53 horas, divididas entre três revisores.

222 Para cada unidade amostral, calculamos duas covariáveis importantes para a seleção de  
223 habitat pelas capivaras que afetam sua alimentação, termorregulação, abrigo e reprodução.  
224 Primeiro calculamos a distância para a água e segundo a proporção de remanescentes de área  
225 úmida. A distância euclidiana para o corpo d'água permanente mais próximo foi calculada a  
226 partir do centroide de cada unidade amostral, considerando arroios, canais, rios e açudes. Os  
227 corpos d'água foram digitalizados manualmente usando imagens de 2009 do satélite CBERS-  
228 2B (resolução 20 m) e atualizados com uma imagem de 2022 do satélite Landsat8 (resolução  
229 de 30 m). A partir do mapa de uso e cobertura da APA do Banhado Grande (SEMA, 2021);  
230 Satélite Word View, 1:25.000, 2020) calculamos a proporção de remanescentes de área úmida  
231 em cada unidade amostral e em *buffers* de 100, 300 e 500 metros ao redor, para compreender

232 em qual escala a proporção de área úmida é essencial para o uso das capivaras, não excedendo  
233 de 500 metros devido à proximidade das unidades amostrais.



234

235 **Figura 2:** Planejamento amostral e execução do método de voo híbrido para amostragem de  
236 capivaras em uma região de áreas antropizadas no sul do Brasil com o objetivo de estimar o  
237 uso do espaço pelas capivaras. **A**= Limites do universo amostral e 112 unidades amostrais,  
238 dentro das unidades de conservação Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) Banhado dos  
239 Pachecos e Área de proteção ambiental (APA) do Banhado Grande. **B** = Trajetória programa  
240 para o voo automático de varredura dentro da unidade amostral. **C** = Registro de capivara em  
241 vídeo termal. **D** = Procedimento de aproximação e identificação da espécie em voo manual.

## 242 **Análise de dados**

243 Utilizamos a probabilidade de uso como um índice que varia de 0 a 1 a partir de dados  
244 de presença ou ausência da capivara dentro da unidade amostral, independentemente da quantidade  
245 de capivaras registradas, somente uma ou diversas capivaras registradas durante os voos  
246 híbridos corresponde a “presença”. Portanto, não estamos avaliando uma probabilidade de  
247 ocorrência, pois é de conhecimento prévio que a espécie ocupa e ocorre nesta região de estudo.  
248 Devido a pequena escala que estamos trabalhando, nossas unidades amostrais não cumprem os  
249 requisitos de não terem mudanças na ocupação, apresentando movimentações entre unidades e  
250 tornando a interpretação das estimativas como probabilidade de uma unidade amostral estar  
251 “usada” pela espécie invés de ocupada (Mackenzie 2006).

252 Para determinarmos a escala de efeito da proporção de remanescentes de área úmida na  
253 probabilidade de uso por capivaras, competimos quatro modelos simples que avaliavam apenas  
254 a probabilidade de uso por capivaras com a proporção de área úmida em diferentes escalas. Os  
255 modelos continham o cálculo de proporção de remanescentes dentro da unidade amostral (0  
256 metros), e dentro de perímetros delimitados pela zona de amortecimento (*buffer*) no entorno da  
257 unidade amostral com uma distância de 100 metros, 300 metros e 500 metros. Ranqueamos os  
258 modelos usando o Critério de Informação de Akaike (AIC) (Burnham and David R Anderson  
259 2002) e selecionamos a escala de efeito melhor ranqueada com menor valor de AIC.

260 A partir das informações de presença e ausência de capivaras e das covariáveis  
261 preditoras, testamos a relação entre a probabilidade de uso por capivaras e a distância para  
262 corpos d'água e a proporção de remanescentes de área úmida através de Modelos Lineares  
263 Generalizados (GLM) com distribuição binomial. Consideramos a interação entre as duas  
264 variáveis preditoras para avaliar se o efeito de uma variável sobre o uso do espaço é modulado  
265 pela outra variável, permitindo verificar em qual condição (i.e. próximo da água porém pouco  
266 banhado) que as duas características do ambiente são importantes para o uso das capivaras.  
267 Testamos a significância dos termos do modelo através de um Teste de Razão de  
268 Verossimilhança (LR test) (Bolker 2007) em que começamos com o modelo completo e  
269 retiramos os termos até haver diferença estatística entre eles, não possuindo influência a ordem  
270 de retirada dos termos. Escolhemos o LR test para verificar a diferença significativa em  
271 modelos aninhados, avaliando se há melhoria dos modelos mais complexos em comparação  
272 com modelos mais simples derivados desse modelo completo. Todos os procedimentos de  
273 análise foram realizados no ambiente de programação R (R Core Team, 2023).

## 274 **RESULTADOS**

275 Cada sobrevoo híbrido durou em média 18,8 minutos (mínimo de 11 minutos e máximo  
276 de 35 minutos) e conseguíamos realizar cerca de 6 voos por turno do dia (manhã/noite)  
277 dispondo de 3 baterias e equipamentos para carregamento delas no local de voo. Em 20 dias de  
278 campo obtivemos registros de pelo menos uma capivara em 54 das 112 unidades amostrais  
279 (48%) sobrevoadas. De todas as missões de voo, somente 3 missões não foram concluídas com  
280 a utilização de apenas uma bateria, necessitando de uma bateria extra para a conclusão do voo  
281 híbrido. Para a maioria dos mamíferos silvestres de médio-porte, foi necessária a aproximação  
282 até cerca de 20 m de altura para a identificação da espécie enquanto para mamíferos domésticos  
283 grandes como vacas e cavalos não houve a necessidade de pausas e voos mais baixos. Não

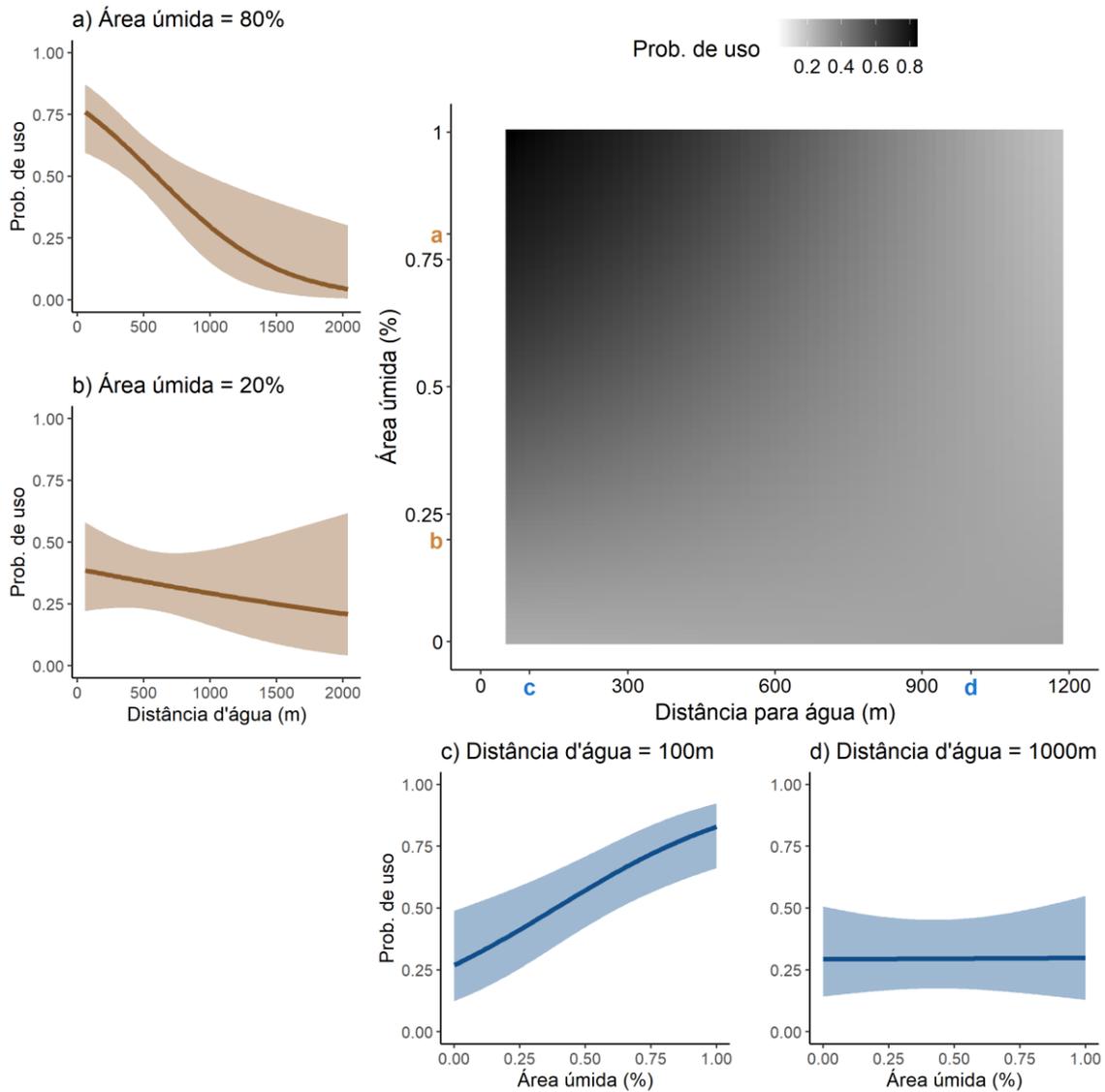
284 notamos a alteração do comportamento das espécies em praticamente nenhuma aproximação.  
 285 As poucas reações observadas foram de comportamento de vigilância como resposta ao barulho  
 286 gerado pelo drone, mas com pouca duração de tempo.

287 Os sítios apresentaram uma proporção de áreas úmidas variando de 0 a 100% e uma  
 288 distância média ao corpo d'água mais próximo de 60 a 2000 m. em relação ao centroide da  
 289 unidade amostral. Em relação a escala de efeito da proporção de remanescente de área úmida,  
 290 o modelo com o buffer de 0 m foi o melhor ranqueado, ficando muito próximo em relação ao  
 291 seu peso de evidência com o modelo de 100 m (Tabela 1).

292 **Tabela 1:** Resultado da seleção de modelos para a escala de efeito da proporção de  
 293 remanescentes de área úmida na probabilidade de uso de capivaras nos diferentes buffers  
 294 envolta das unidades amostrais. Modelos ranqueados através do Critério de informação de  
 295 Akaike (AIC). *Prob.uso* é a probabilidade de uso da capivaras e *área.úmida.bufferXm* é a  
 296 proporção de remanescentes de área úmida em um buffer de X metros.

<b>Modelo</b>	<b>K</b>	<b><math>\Delta AIC</math></b>	<b><i>wAIC</i></b>	<b>AIC</b>
<i>Prob.uso ~ área.umida.buffer0m</i>	2	0	0.59	150.02
<i>Prob.uso ~ área.umida. buffer100m</i>	2	1.32	0.31	151.34
<i>Prob.uso ~ área.umida.buffer300</i>	2	4.22	0.07	154.24
<i>Prob.uso~ área.umida.buffer500</i>	2	5.79	0.03	155.81

297  
 298 Encontramos um efeito significativo (p-valor <0.05) da interação das variáveis  
 299 preditoras na probabilidade de uso ( $\chi^2 = 5,48$  e p-valor = 0,019) (Figura 3e). A proporção de  
 300 área úmida e a distância para água também apresentaram influência significativa isoladamente  
 301 ( $\chi^2 = 8,71$ , p=0,003.;  $\chi^2 = 5,66$  p=0,017, respectivamente). A probabilidade de uso pelas capivaras  
 302 diminui à medida que aumenta a distância para corpos d'água (Figura 3a), mas essa relação  
 303 enfraquece em lugares onde a proporção de áreas úmidas é mais baixa (Figura 3b). Por outro  
 304 lado, a probabilidade de uso do espaço aumenta com a proporção de áreas úmidas, (Figura 3c),  
 305 contudo, essa relação perde força quanto mais distante da água forem esses locais (Figura 3d).



307

308 **Figura 3:** Probabilidade de uso do espaço por capivaras em uma região de áreas úmidas  
 309 antropizadas no sul do Brasil em relação a proporção de áreas úmidas e a distância para corpos  
 310 d'água. As letras nos eixos x e y indicam a: **a)** relação negativa entre a probabilidade de uso  
 311 pelas capivaras e a distância de corpos d'água para locais com 80% de área úmida; **b)** relação  
 312 entre a probabilidade de uso pelas capivaras e a distância de corpos d'água para locais com 20%  
 313 de área úmidas; **c)** relação positiva entre a probabilidade de uso pelas capivaras e a proporção  
 314 de áreas para locais a 100m de corpos d'água. **d)** Relação entre probabilidade de uso pelas  
 315 capivaras e a proporção de áreas úmidas para locais a 1 km de corpos d'água.

316

317

## 318 **DISCUSSÃO**

319 Neste estudo, apresentamos um método de voo usando um drone multirrotor equipado  
320 com sensor termal capaz de adquirir dados de presença/ausência ou abundância de forma eficaz,  
321 contornando as limitações de baixa resolução da câmera, autonomia relativamente baixa e  
322 pouca cobertura de área amostrada. Conseguir lidar com essas limitações de equipamento,  
323 possibilita elaborar desenhos amostrais capazes de gerar dados para estimativas de variáveis  
324 populacionais espacializadas como a probabilidade de ocupação ou uso do espaço e a  
325 distribuição da abundância (Barasona et al. 2014; Brack et al. 2023).

326 Os estudos usando drones com câmeras termais têm explorado principalmente a  
327 eficiência de detecção desse novo sensor e suas limitações de aplicação para novas espécies.  
328 Comumente, os estudos usando drones para amostragem de animais focam em testes que visam  
329 avaliar a viabilidade do uso do equipamento para futuros trabalhos (Jones et al. 2006; Chabot  
330 2009). Com o intuito de testar a eficiência de detecção do método, alguns estudos foram  
331 realizados em populações previamente conhecidas, o que possibilita avaliar as configurações  
332 de voo e características dos sensores necessários para identificar os animais (Martin et al. 2012;  
333 Beaver et al. 2020). Poucos estudos geraram estimativas de parâmetros populacionais  
334 (ocorrência ou abundância) para uma área determinada (Vermeulen et al. 2013; Hodgson et al.  
335 2013; Brack et al. 2023). O uso de sensores térmicos acoplados em drones possibilitou que mais  
336 estudos pudessem explorar novas espécies a serem amostradas e como esse sensor pode  
337 melhorar a precisão das contagens. Alguns estudos também exploraram comparações entre  
338 drones termais com spotlights (Preston et al. 2021), coleta de fezes (McMahon et al. 2022) e  
339 armadilhas fotográficas (Ireland et al. 2019) para verificar a acurácia das estimativas.

340 Com o avanço da tecnologia e a implantação de sensores térmicos embarcados em  
341 multirrotadores, um novo modo de amostragem aérea se tornou possível. A amostragem de  
342 animais com drones de asa-fixa com câmeras termais fica geralmente restrita a grandes animais,  
343 devido à baixa resolução do sensor e a altura de voo necessária para um voo seguro. Essas  
344 condições geram uma quantidade alta de registros incertos que comumente precisam de uma  
345 confirmação através de outro método de amostragem, como por exemplo observação direta  
346 terrestre ou indivíduos com colares de GPS. (Preston et al. 2021; Delisle et al. 2023). Os drones  
347 multirrotadores permitem a realização de voos baixos de forma segura e, portanto, permitem  
348 identificar de forma mais acurada os indivíduos. Essa característica permitiu que espécies de  
349 animais que antes não eram amostradas pelo ar, agora fossem, como canídeos (Bushaw et al.

350 2019), primatas (Melo 2021) e coalas (Witt et al. 2020) Embora os benefícios em registrar  
351 espécies de menor porte, a autonomia e área de cobertura na amostragem ainda apresentam  
352 desafios para o planejamento amostral de estudos que visam acessar variáveis populacionais.

353 Através da combinação de missões de voo planejadas a uma altura fixa e aproximações  
354 manuais para identificação da espécie nas manchas de calor, balanceamos as vantagens e  
355 desvantagens que o uso de multirrotores equipados com sensores termais possuem de modo a  
356 otimizar a amostragem de mamíferos noturnos. No estudo de caso, conseguimos avaliar o uso  
357 do espaço por capivaras com um período de 20 dias de campo sobrevoando uma área total de  
358 1.792 ha, cobrindo aproximadamente 11% do universo amostral. A altura de 40 m dos voos  
359 planejados foi adequada para cobrirmos o máximo de área e conseguirmos identificar pontos  
360 de calor que potencialmente podiam ser capivaras. Os problemas de falsos positivos e  
361 dificuldades na identificação das manchas termais foram mitigados no método híbrido de voo  
362 com a aproximação manual (Chrétien et al. 2016). O ângulo da câmera direcionado para frente  
363 (40°) e voos em velocidade constante (6,5 m/s) permitiram uma detecção a tempo das manchas  
364 de calor para a decisão de aproximação, evitando que indivíduos de capivara fossem perdidos.  
365 Os voos foram realizados em momentos do dia com maior contraste térmico entre os mamíferos  
366 e o ambiente (Zabel et al. 2023). Assim como, os horários de voo também compatibilizaram os  
367 momentos de maior atividade das capivaras e aumento de disponibilidade para o sensor, pois  
368 estavam forrageando, se deslocando ou descansando em áreas abertas ao invés de  
369 termorregulando dentro da água.

370 O tamanho da unidade amostral foi principalmente restringido pela autonomia, o que  
371 nos permitiu aplicar o método de voo híbrido em um procedimento de varredura com o Mavic  
372 2 Enterprise Advanced em uma área de no máximo 16 ha. Outros estudos como Beranek (2020)  
373 e Bushaw (2019) também definiram unidades amostrais retangulares para drones multirrotores,  
374 com voos de rotação 360° em pontos fixos ou voos de varredura em padrão “cortador de  
375 grama”. Esses dois estudos possuíam unidades amostrais e alturas de voo maiores, contudo, o  
376 foco deles era demonstrar a capacidade de registrar coalas e mesocarnívoros pelos sensores  
377 termais embarcados em drones (Bushaw et al. 2019; Beranek et al. 2021). Para o método de  
378 amostragem com voo híbrido apresentado, priorizamos por voos mais baixos para potencializar  
379 detecções confiáveis a fim de obter observações menos sujeitas aos erros de detecção.

380 Mesmo com todas as configurações de voo definidas para diminuir os erros de detecção  
381 potenciais em amostragens aéreas (Brack et al. 2023), os erros de disponibilidade e percepção

382 não foram considerados na modelagem de uso do espaço. Assumimos que a nossa amostragem  
383 foi pouco afetada pela detecção imperfeita, graças ao alto contraste térmico e pouca obstrução  
384 que obtivemos pelo desenho amostral adotado. O alto contraste obtido é resultado da grande  
385 diferença de temperatura entre os indivíduos e o entorno, uma vez que as amostragens foram  
386 conduzidas no inverno e a noite. Além disso, nessa época do ano, algumas espécies de árvores  
387 comuns na região (principalmente o maricá, *Mimosa bimucronata*) está sem as folhas na copa,  
388 o que reduz a obstrução. Apesar do benefício de o sensor termal fornecer uma alta probabilidade  
389 de detecção dos indivíduos, em muitos contextos, a paisagem pode causar obstrução dos  
390 indivíduos e redução dessa detecção. Nessas situações, o erro de disponibilidade deve ser  
391 acomodado através de sobrevoos repetidos (Brack et al. 2018) ou usando dados auxiliares  
392 (Hodgson et al. 2017). Para a revisão das imagens, o uso de um protocolo com mais de um  
393 observador pode ser usado para acomodar o erro de percepção em vídeos termais (Delisle et al.  
394 2023). Uma vez que a decisão para aproximação na mancha de calor para identificação da  
395 espécie é feita pelo piloto durante o voo, uma fonte de erro de percepção no método que  
396 apresentamos pode estar relacionada a falha de detecção pelo próprio piloto e não na revisão  
397 dos vídeos. Futuros trabalhos que aplicarem este método podem levar em conta essa fonte de  
398 erro de detecção nas observações. Manter uma mesma pessoa como piloto poderia padronizar  
399 esse erro para viabilizar a avaliação de padrões espaciais. Devido ao procedimento de voos  
400 manuais em conjunto com a procura de manchas de calor no visor do controle somar muitas  
401 horas de amostragem, se faz necessário revezar o piloto. Aconselhamos que trabalhos futuros a  
402 acomodam esse erro de percepção e estimar se há diferença entre os critérios de aproximação  
403 dos pilotos.

404 Em nosso estudo de caso, encontramos uma influência da distância para água e a  
405 proporção de remanescentes de áreas úmidas (banhados e maricazais) na seleção do uso do  
406 espaço por capivaras. Esse resultado é semelhante a outros estudos que através de armadilhas  
407 fotográficas ou colares GPS também avaliaram quais variáveis ambientais são importantes e  
408 influenciam a distribuição das capivaras no espaço (Dias et al. 2020; Di Bitetti et al. 2020).  
409 Além da influência dessas variáveis sobre o uso, também destacamos a dependência que essas  
410 duas variáveis preditoras possuem. Essa dependência enfatiza a necessidade da manutenção dos  
411 ambientes de banhados e maricazais próximos de corpos d'água para fornecer ambientes  
412 adequados de forrageio, proteção e abrigo para as capivaras (Herrera and Macdonald 1989). A  
413 geração desse conhecimento de forma que possibilite a espacialização das relações encontradas,  
414 pode fornecer informações importantes para a definição de ações de manejo e conservação,

415 assim como um planejamento territorial das unidades de conservação priorizando áreas  
416 importantes para suas espécies alvo.

417 Esperamos que este método de voo híbrido e a exemplificação das etapas ilustradas em  
418 nosso estudo de caso, possam incentivar e fornecer subsídio para novos estudos com drones  
419 multirrotores com câmeras termais que busquem acessar o uso do espaço, a ocupação ou a  
420 abundância de mamíferos noturnos. O método é altamente flexível e adaptável à espécie-alvo e  
421 ao equipamento disponível, assim como à adição de diversas variáveis preditoras para entender  
422 a relação dos animais com o ambiente, imaginamos que estamos auxiliando no  
423 desenvolvimento de planejamento amostral com drones. Nosso estudo ilustra uma abordagem  
424 que pode ser uma opção eficiente para o desenvolvimento de programas de monitoramento para  
425 uma ampla variedade de mamíferos noturnos.

426

## 427 **REFERÊNCIAS**

- 428 Anderson K, Gaston KJ (2013) Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology.  
429 *Front Ecol Environ* 11:138–146
- 430 Barasona JA, Margarita Mulero-Pazmany, Pelayo Acevedo, et al (2014) Unmanned Aircraft Systems for  
431 Studying Spatial Abundance of Ungulates: Relevance to Spatial Epidemiology. *PLoS One* 11:.  
432 <https://doi.org/10.1371/journal.pone>
- 433 Beaver JT, Baldwin RW, Messinger M, et al (2020) Evaluating the Use of Drones Equipped with  
434 Thermal Sensors as an Effective Method for Estimating Wildlife. *Wildl Soc Bull* 44:434–443.  
435 <https://doi.org/10.1002/wsb.1090>
- 436 Beranek CT, Roff A, Denholm B, et al (2021) Trialling a real-time drone detection and validation  
437 protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Aust Mammal* 43:260–264.  
438 <https://doi.org/10.1071/AM20043>
- 439 Bolker B (2007) *Ecological Models and Data in R*
- 440 Brack I V., Kindel A, Berto DO, et al (2023) Spatial variation on the abundance of a threatened South  
441 American large herbivore using spatiotemporally replicated drone surveys. *Biodivers Conserv*  
442 32:1291–1308. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02553-7>
- 443 Brack I V., Kindel A, Oliveira LFB (2018) Detection errors in wildlife abundance estimates from  
444 Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods Ecol*  
445 *Evol* 9:1864–1873
- 446 Burnham KP, David R Anderson (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical*  
447 *Information-Theoretic Approach, Second Edition*
- 448 Bushaw JD, Ringelman KM, Rohwer FC (2019) Applications of unmanned aerial vehicles to survey  
449 mesocarnivores. *Drones* 3:1–9. <https://doi.org/10.3390/drones3010028>

- 450 Chabot D (2009) Systematic Evaluation of a Stock Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System for Small-  
451 Scale Wildlife Survey Applications
- 452 Chrétien LP, Théau J, Ménard P (2016) Visible and thermal infrared remote sensing for the detection  
453 of white-tailed deer using an unmanned aerial system. *Wildl Soc Bull* 40:181–191.  
454 <https://doi.org/10.1002/wsb.629>
- 455 Corriale MJ, Herrera EA (2014) Patterns of habitat use and selection by the capybara (*Hydrochoerus*  
456 *hydrochaeris*): A landscape-scale analysis. *Ecol Res* 29:191–201.  
457 <https://doi.org/10.1007/s11284-013-1113-2>
- 458 Delisle ZJ, McGovern PG, Dillman BG, Swihart RK (2023) Imperfect detection and wildlife density  
459 estimation using aerial surveys with infrared and visible sensors. *Remote Sens Ecol Conserv*  
460 9:222–234. <https://doi.org/10.1002/rse2.305>
- 461 Di Bitetti MS, Iezzi ME, Cruz P, et al (2020) Effects of cattle on habitat use and diel activity of large  
462 native herbivores in a South American rangeland. *J Nat Conserv* 58:.  
463 <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125900>
- 464 Dias TC, Stabach JA, Huang Q, et al (2020) Habitat selection in natural and human-modified  
465 landscapes by capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), an important host for *Amblyomma*  
466 *sculptum* ticks. *PLoS One* 15:.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229277>
- 467 Farr MT, O'Brien T, Yackulic CB, Zipkin EF (2022) Quantifying the conservation status and abundance  
468 trends of wildlife communities with detection–nondetection data. *Conservation Biology* 36:.  
469 <https://doi.org/10.1111/cobi.13934>
- 470 Ferraz KMPM de B, Ferraz SF de B, Moreira JR, et al (2007) Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*)  
471 distribution in agroecosystems: A cross-scale habitat analysis. *J Biogeogr* 34:223–230.  
472 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01568.x>
- 473 Herrera EA, Macdonald DW (1989) RESOURCE UTILIZATION AND TERRITORIALITY IN GROUP-LIVING  
474 CAPYBARAS (*HYDROCHOERUS HYDROCHAERIS*). *Journal of Animal Ecology* 58:667–679
- 475 Hodgson A, Kelly N, Peel D (2013) Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying Marine Fauna: A  
476 dugong case study. *PLoS One* 8:.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079556>
- 477 Hodgson A, Peel D, Kelly N (2017) Unmanned aerial vehicles for surveying marine fauna: Assessing  
478 detection probability. *Ecological Applications* 27:1253–1267. <https://doi.org/10.1002/eap.1519>
- 479 Ireland AW, Palandro DA, Garas VY, et al (2019) Testing unmanned aerial systems for monitoring  
480 wildlife at night. *Wildl Soc Bull* 43:182–190. <https://doi.org/10.1002/wsb.952>
- 481 IUCN Standards and Petitions Committee (2022) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and  
482 Criteria
- 483 Johnston A, Fink D, Reynolds MD, et al (2015) Abundance models improve spatial and temporal  
484 prioritization of conservation resources. *Ecological Applications* 25:1749–1756.  
485 <https://doi.org/10.1890/14-1826.1>
- 486 Jones GP, Pearlstine LG, Percival HF (2006) An Assessment of Small Unmanned Aerial Vehicles for  
487 Wildlife Research. *Wildl Soc Bull* 34:750–758

- 488 Lahoz-Monfort JJ, Magrath MJL (2021) A Comprehensive Overview of Technologies for Species and  
489 Habitat Monitoring and Conservation. *Bioscience* 71:1038–1062.  
490 <https://doi.org/10.1093/biosci/biab073>
- 491 Legge S, Rumpff L, Woinarski JCZ, et al (2022) The conservation impacts of ecological disturbance:  
492 Time-bound estimates of population loss and recovery for fauna affected by the 2019–2020  
493 Australian megafires. *Global Ecology and Biogeography* 31:2085–2104.  
494 <https://doi.org/10.1111/geb.13473>
- 495 Leuchtenberger C, de Oliveira S, Cariolatto LP, Kasper CB (2018) Activity pattern of medium and large  
496 sized mammals and density estimates of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in the Brazilian  
497 pampa. *Brazilian Journal of Biology* 78:697–705. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.174403>
- 498 Lhoest S, Linchant J, Quevauvillers S, et al (2015) How many hippos (Homhip): Algorithm for  
499 automatic counts of animals with infra-red thermal imagery from UAV. In: *International Archives*  
500 *of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives.*  
501 *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, pp 355–362
- 502 Linchant J, Lisein J, Semeki J, et al (2015) Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife  
503 monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mamm Rev* 45:239–252.  
504 <https://doi.org/10.1111/mam.12046>
- 505 Lopes B, McEvoy JF, Morato RG, et al (2021) Human-modified landscapes alter home range and  
506 movement patterns of capybaras. *J Mammal* 102:319–332.  
507 <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa144>
- 508 Mackenzie DI (2006) Modeling the Probability of Resource Use: The Effect of, and Dealing with,  
509 Detecting a Species Imperfectly. *Journal of Wildlife Management* 70:367–374.  
510 [https://doi.org/10.2193/0022-541x\(2006\)70\[367:mtporu\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2193/0022-541x(2006)70[367:mtporu]2.0.co;2)
- 511 Martin J, Edwards HH, Burgess MA, et al (2012) Estimating distribution of hidden objects with drones:  
512 From tennis balls to manatees. *PLoS One* 7:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038882>
- 513 McGowan NE, Scantlebury DM, Maule AG, Marks NJ (2018) Measuring the emissivity of mammal  
514 pelage. *Quant Infrared Thermogr J* 15:214–222.  
515 <https://doi.org/10.1080/17686733.2018.1437239>
- 516 McKellar AE, Shephard NG, Chabot D (2021) Dual visible-thermal camera approach facilitates drone  
517 surveys of colonial marshbirds. *Remote Sens Ecol Conserv* 7:214–226.  
518 <https://doi.org/10.1002/rse2.183>
- 519 McMahon MC, Ditmer MA, Forester JD (2022) Comparing unmanned aerial systems with  
520 conventional methodology for surveying a wild white-tailed deer population. *Wildlife Research*  
521 49:54–65. <https://doi.org/10.1071/WR20204>
- 522 McMahon MC, Ditmer MA, Isaac EJ, et al (2021) Evaluating Unmanned Aerial Systems for the  
523 Detection and Monitoring of Moose in Northeastern Minnesota. *Wildl Soc Bull* 45:312–324.  
524 <https://doi.org/10.1002/wsb.1167>
- 525 Melo FR (2021) Drones for conservation: new techniques to monitor muriquis. *Orix* 55:169–172.  
526 <https://doi.org/10.1017/S0030605321000028>

527 Merli E, Mattioli L, Bassi E, et al (2023) Estimating Wolf Population Size and Dynamics by Field  
528 Monitoring and Demographic Models: Implications for Management and Conservation. *Animals*  
529 13:. <https://doi.org/10.3390/ani13111735>

530 Mones A, Ojasti J (1986) *Hydrochoerus hydrochaeris*. *Mammalian Species* 1–7.  
531 <https://doi.org/10.2307/3503784/2600593>

532 Preston TM, Wildhaber ML, Green NS, et al (2021) Enumerating White-Tailed Deer Using Unmanned  
533 Aerial Vehicles. *Wildl Soc Bull* 45:97–108. <https://doi.org/10.1002/wsb.1149>

534 Sasse DB (2003) WILDLIFE BIOLOGIST MORTALITY Job-related mortality of wildlife workers in the  
535 United States. *Wildl Soc Bull* 31:1015–0120. <https://doi.org/10.2307/3784446>

536 SEMA, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (2021) Plano de Manejo da Área de  
537 Proteção Ambiental do Banhado Grande

538 Serra-Medeiros S, Ortega Z, Antunes PC, et al (2021) Space use and activity of capybaras in an urban  
539 area. *J Mammal* 102:814–825. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyab005>

540 Spaan D, Burke C, McAree O, et al (2019) Thermal infrared imaging from drones offers a major  
541 advance for spider monkey surveys. *Drones* 3:1–19. <https://doi.org/10.3390/drones3020034>

542 Tédonzong LRD, Willie J, Myriane A, et al (2018) Using abundance and habitat variables to identify  
543 high conservation value areas for threatened mammals. *Biodivers Conserv* 27:1115–1137.  
544 <https://doi.org/10.1007/s10531-017>

545 Torres LG, Nieukirk SL, Lemos L, Chandler TE (2018) Drone up! Quantifying whale behavior from a  
546 new perspective improves observational capacity. *Front Mar Sci* 5:.  
547 <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00319>

548 Vermeulen C, Lejeune P, Lisein J, Bouché P (2013) Unmanned Aerial Survey of Elephants. *PLoS One* 8:.  
549 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054700>

550 Watts AC, Perry JH, Smith SE, et al (2010) Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial  
551 Surveys. *Journal of Wildlife Management* 74:1614–1619. <https://doi.org/10.2193/2009-425>

552 Witczuk J, Pagacz S, Zmarz A, Cypel M (2018) Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and  
553 thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results. *Int J Remote Sens*  
554 39:5504–5521. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1390621>

555 Witt RR, Beranek CT, Howell LG, et al (2020) Real-time drone derived thermal imagery outperforms  
556 traditional survey methods for an arboreal forest mammal. *PLoS One* 15:.  
557 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242204>

558 Zabel F, Findlay MA, White PJC (2023) Assessment of the accuracy of counting large ungulate species  
559 (red deer *Cervus elaphus*) with UAV-mounted thermal infrared cameras during night flights.  
560 *Wildlife Biol* 2023:.  
561 <https://doi.org/10.1002/wlb3.01071>

## **Considerações finais**

O objetivo dessa dissertação foi explorar um método de amostragem para mamíferos noturnos utilizando drones com sensores termais de forma a contribuir para o planejamento amostral e contornar as limitações de resolução do sensor, autonomia do drone e cobertura amostral. Através da utilização do método de voo híbrido conseguimos amostrar de forma eficiente uma população de capivaras em um ambiente de áreas úmidas altamente antropizado. Avaliamos como que o uso do espaço pelas capivaras é afetado pela distância para corpos d'água e proporção de remanescentes de áreas úmidas. Assim como outros estudos com métodos tradicionalmente bem estabelecidos na ecologia, encontramos que essas variáveis ambientais são importantes para a manutenção das capivaras no ambiente, fornecendo locais de forrageio, abrigo, reprodução e termorregulação. Este método traz formas de minimizar alguns erros de detecção, principalmente o erro de identificação de espécie devido a baixa resolução do sensor, superado pelo procedimento de aproximação em voo manual. Contudo, como perspectivas futuras, trabalhos que aplicarem este método em áreas de estudo e espécies alvo diferentes devem cuidar para de alguma forma acomodar em suas estimativas possíveis erros de percepção pelo piloto e verificar a alta disponibilidade de indivíduos. Caso essas condições não sejam realidade devido ao baixo contraste térmico ou alta obstrução dos indivíduos pela vegetação, recomendamos que replicações temporais sejam realizadas nos sítios para considerar a detecção imperfeita na amostragem. Espero que a minha dissertação contribua para o aumento de estudos usando drones com sensores termais que exploram estimar parâmetros populacionais de mamíferos, estabelecendo mais programas de monitoramento de populações ameaçadas e subsidiando ações de conservação e manejo através de informações espacializadas e acuradas.

## Referências Bibliográficas

- Anderson K, Gaston KJ (2013) Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Front Ecol Environ* 11:138–146
- Barasona JA, Margarita Mulero-Pazmany, Pelayo Acevedo, et al (2014) Unmanned Aircraft Systems for Studying Spatial Abundance of Ungulates: Relevance to Spatial Epidemiology. *PLoS One* 11:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone>
- Beaver JT, Baldwin RW, Messinger M, et al (2020) Evaluating the Use of Drones Equipped with Thermal Sensors as an Effective Method for Estimating Wildlife. *Wildl Soc Bull* 44:434–443. <https://doi.org/10.1002/wsb.1090>
- Beranek CT, Roff A, Denholm B, et al (2021) Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Aust Mammal* 43:260–264. <https://doi.org/10.1071/AM20043>
- Bolker B (2007) *Ecological Models and Data in R*
- Brack I V., Kindel A, Berto DO, et al (2023) Spatial variation on the abundance of a threatened South American large herbivore using spatiotemporally replicated drone surveys. *Biodivers Conserv* 32:1291–1308. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02553-7>
- Brack I V., Kindel A, Oliveira LFB (2018) Detection errors in wildlife abundance estimates from Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods Ecol Evol* 9:1864–1873
- Burnham KP, David R Anderson (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*, Second Edition
- Bushaw JD, Ringelman KM, Rohwer FC (2019) Applications of unmanned aerial vehicles to survey mesocarnivores. *Drones* 3:1–9. <https://doi.org/10.3390/drones3010028>
- Chabot D (2009) *Systematic Evaluation of a Stock Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System for Small-Scale Wildlife Survey Applications*
- Chrétien LP, Théau J, Ménard P (2016) Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system. *Wildl Soc Bull* 40:181–191. <https://doi.org/10.1002/wsb.629>
- Corriale MJ, Herrera EA (2014) Patterns of habitat use and selection by the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*): A landscape-scale analysis. *Ecol Res* 29:191–201. <https://doi.org/10.1007/s11284-013-1113-2>
- Delisle ZJ, McGovern PG, Dillman BG, Swihart RK (2023) Imperfect detection and wildlife density estimation using aerial surveys with infrared and visible sensors. *Remote Sens Ecol Conserv* 9:222–234. <https://doi.org/10.1002/rse2.305>
- Di Bitetti MS, Iezzi ME, Cruz P, et al (2020) Effects of cattle on habitat use and diel activity of large native herbivores in a South American rangeland. *J Nat Conserv* 58:. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125900>

- Dias TC, Stabach JA, Huang Q, et al (2020) Habitat selection in natural and human-modified landscapes by capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), an important host for *Amblyomma sculptum* ticks. *PLoS One* 15:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229277>
- Farr MT, O'Brien T, Yackulic CB, Zipkin EF (2022) Quantifying the conservation status and abundance trends of wildlife communities with detection–nondetection data. *Conservation Biology* 36:. <https://doi.org/10.1111/cobi.13934>
- Ferraz KMPM de B, Ferraz SF de B, Moreira JR, et al (2007) Capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) distribution in agroecosystems: A cross-scale habitat analysis. *J Biogeogr* 34:223–230. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01568.x>
- Herrera EA, Macdonald DW (1989) RESOURCE UTILIZATION AND TERRITORIALITY IN GROUP-LIVING CAPYBARAS (*HYDROCHOERUS HYDROCHAERIS*). *Journal of Animal Ecology* 58:667–679
- Hodgson A, Kelly N, Peel D (2013) Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying Marine Fauna: A dugong case study. *PLoS One* 8:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079556>
- Hodgson A, Peel D, Kelly N (2017) Unmanned aerial vehicles for surveying marine fauna: Assessing detection probability. *Ecological Applications* 27:1253–1267. <https://doi.org/10.1002/eap.1519>
- Ireland AW, Palandro DA, Garas VY, et al (2019) Testing unmanned aerial systems for monitoring wildlife at night. *Wildl Soc Bull* 43:182–190. <https://doi.org/10.1002/wsb.952>
- IUCN Standards and Petitions Committee (2022) Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria
- Johnston A, Fink D, Reynolds MD, et al (2015) Abundance models improve spatial and temporal prioritization of conservation resources. *Ecological Applications* 25:1749–1756. <https://doi.org/10.1890/14-1826.1>
- Jones GP, Pearlstine LG, Percival HF (2006) An Assessment of Small Unmanned Aerial Vehicles for Wildlife Research. *Wildl Soc Bull* 34:750–758
- Lahoz-Monfort JJ, Magrath MJL (2021) A Comprehensive Overview of Technologies for Species and Habitat Monitoring and Conservation. *Bioscience* 71:1038–1062. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab073>
- Legge S, Rumpff L, Woinarski JCZ, et al (2022) The conservation impacts of ecological disturbance: Time-bound estimates of population loss and recovery for fauna affected by the 2019–2020 Australian megafires. *Global Ecology and Biogeography* 31:2085–2104. <https://doi.org/10.1111/geb.13473>
- Leuchtenberger C, de Oliveira S, Cariolatto LP, Kasper CB (2018) Activity pattern of medium and large sized mammals and density estimates of *Cuniculus paca* (Rodentia: Cuniculidae) in the Brazilian pampa. *Brazilian Journal of Biology* 78:697–705. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.174403>
- Lhoest S, Linchant J, Quevauvillers S, et al (2015) How many hippos (Homhip): Algorithm for automatic counts of animals with infra-red thermal imagery from UAV. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp 355–362

- Linchant J, Lisein J, Semeki J, et al (2015) Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mamm Rev* 45:239–252. <https://doi.org/10.1111/mam.12046>
- Lopes B, McEvoy JF, Morato RG, et al (2021) Human-modified landscapes alter home range and movement patterns of capybaras. *J Mammal* 102:319–332. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaa144>
- Mackenzie DI (2006) Modeling the Probability of Resource Use: The Effect of, and Dealing with, Detecting a Species Imperfectly. *Journal of Wildlife Management* 70:367–374. [https://doi.org/10.2193/0022-541x\(2006\)70\[367:mtporu\]2.0.co;2](https://doi.org/10.2193/0022-541x(2006)70[367:mtporu]2.0.co;2)
- Martin J, Edwards HH, Burgess MA, et al (2012) Estimating distribution of hidden objects with drones: From tennis balls to manatees. *PLoS One* 7:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038882>
- McGowan NE, Scantlebury DM, Maule AG, Marks NJ (2018) Measuring the emissivity of mammal pelage. *Quant Infrared Thermogr J* 15:214–222. <https://doi.org/10.1080/17686733.2018.1437239>
- McKellar AE, Shephard NG, Chabot D (2021) Dual visible-thermal camera approach facilitates drone surveys of colonial marshbirds. *Remote Sens Ecol Conserv* 7:214–226. <https://doi.org/10.1002/rse2.183>
- McMahon MC, Ditmer MA, Forester JD (2022) Comparing unmanned aerial systems with conventional methodology for surveying a wild white-tailed deer population. *Wildlife Research* 49:54–65. <https://doi.org/10.1071/WR20204>
- McMahon MC, Ditmer MA, Isaac EJ, et al (2021) Evaluating Unmanned Aerial Systems for the Detection and Monitoring of Moose in Northeastern Minnesota. *Wildl Soc Bull* 45:312–324. <https://doi.org/10.1002/wsb.1167>
- Melo FR (2021) Drones for conservation: new techniques to monitor muriquis. *Orix* 55:169–172. <https://doi.org/10.1017/S0030605321000028>
- Merli E, Mattioli L, Bassi E, et al (2023) Estimating Wolf Population Size and Dynamics by Field Monitoring and Demographic Models: Implications for Management and Conservation. *Animals* 13:. <https://doi.org/10.3390/ani13111735>
- Mones A, Ojasti J (1986) *Hydrochoerus hydrochaeris*. *Mammalian Species* 1–7. <https://doi.org/10.2307/3503784/2600593>
- Preston TM, Wildhaber ML, Green NS, et al (2021) Enumerating White-Tailed Deer Using Unmanned Aerial Vehicles. *Wildl Soc Bull* 45:97–108. <https://doi.org/10.1002/wsb.1149>
- Sasse DB (2003) WILDLIFE BIOLOGIST MORTALITY Job-related mortality of wildlife workers in the United States. *Wildl Soc Bull* 31:1015–1020. <https://doi.org/10.2307/3784446>
- SEMA, SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (2021) Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande
- Serra-Medeiros S, Ortega Z, Antunes PC, et al (2021) Space use and activity of capybaras in an urban area. *J Mammal* 102:814–825. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyab005>

- Spaan D, Burke C, McAree O, et al (2019) Thermal infrared imaging from drones offers a major advance for spider monkey surveys. *Drones* 3:1–19. <https://doi.org/10.3390/drones3020034>
- Tédonzong LRD, Willie J, Myriane A, et al (2018) Using abundance and habitat variables to identify high conservation value areas for threatened mammals. *Biodivers Conserv* 27:1115–1137. <https://doi.org/10.1007/s10531-017>
- Torres LG, Nieukirk SL, Lemos L, Chandler TE (2018) Drone up! Quantifying whale behavior from a new perspective improves observational capacity. *Front Mar Sci* 5:. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00319>
- Vermeulen C, Lejeune P, Lisein J, Bouché P (2013) Unmanned Aerial Survey of Elephants. *PLoS One* 8:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054700>
- Watts AC, Perry JH, Smith SE, et al (2010) Small Unmanned Aircraft Systems for Low-Altitude Aerial Surveys. *Journal of Wildlife Management* 74:1614–1619. <https://doi.org/10.2193/2009-425>
- Witczuk J, Pagacz S, Zmarz A, Cypel M (2018) Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results. *Int J Remote Sens* 39:5504–5521. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1390621>
- Witt RR, Beranek CT, Howell LG, et al (2020) Real-time drone derived thermal imagery outperforms traditional survey methods for an arboreal forest mammal. *PLoS One* 15:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242204>
- Zabel F, Findlay MA, White PJC (2023) Assessment of the accuracy of counting large ungulate species (red deer *Cervus elaphus*) with UAV-mounted thermal infrared cameras during night flights. *Wildlife Biol* 2023:. <https://doi.org/10.1002/wlb3.01071>