

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Modelagens ecológicas para o sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implicações para a conservação deste primata ameaçado e endêmico da Mata Atlântica

Felipe Santos Pacheco
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

FELIPE SANTOS PACHECO

Modelagens ecológicas para o sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implicações para a conservação deste primata ameaçado e endêmico da Mata Atlântica

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fabiano Rodrigues de Melo

Coorientador: Leandro Jerusalinsky

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P116m
2024 Pacheco, Felipe Santos, 1989-
Modelagens ecológicas para o sagui-da-serra-escuro,
Callithrix aurita (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implicações
para a conservação deste primata ameaçado e endêmico da Mata
Atlântica / Felipe Santos Pacheco. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (121 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fabiano Rodrigues de Melo.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Animal, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.062>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ecologia de população. 2. Animais em extinção. 3.
Callitrix aurita - Reprodução - Fatores climáticos. 4. Mudanças
climáticas. 5. Invasões biológicas. I. Melo, Fabiano Rodrigues
de, 1973-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Biologia Animal. Programa de Pós-Graduação em Biologia
Animal. III. Título.

CDD 22. ed. 591.788

FELIPE SANTOS PACHECO

Modelagens ecológicas para o sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implicações para a conservação deste primata ameaçado e endêmico da Mata Atlântica

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de novembro de 2024.

Assentimento:

Felipe Santos Pacheco
Autor

Fabiano Rodrigues de Melo
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pelo autor em 11/02/2025 às 15:00:38 e pelo orientador em 11/02/2025 às 15:07:23. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **DDEJ.992X.BDCF** e clique no botão 'Validar documento'.

Para Elis, minha filha

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, e principalmente aos meus pais. O investimento e o apoio em minha formação pessoal, intelectual e profissional não foi em vão. Pretendo sempre ser o reflexo deles. Também à Elis, por compreender as ausências causadas por estes anos de muito trabalho e estudo. E à Ellen, que acompanhou de perto todo o meu percurso acadêmico, apoiando incondicionalmente e dividindo as alegrias e as tristezas durante o processo.

Sou imensamente grato aos amigos da vida, que às vezes mesmo fisicamente distantes, sempre torceram por mim. E também aos amigos que contribuíram de forma direta ou indireta para a concretização da minha tese: Yuri Anselmo Vieira, Larissa Vaccarini Ávila, Samuel Lucas Brasileiro Silvério, Vítor Henrique Peluso, Ricardo Baptista Oliveira, Lara Modesto Mendes, Gabriel Buffe Gomes, Júlia Diniz Silva, Bárbara Antonucci de Almeida, Luiz Gustavo Souza e Eduardo Rodrigues, sem os quais a coleta de dados em campo não teria sido possível e nem seria tão divertida; Natan Tomaz Massardi e Júlia Diniz Silva, pelas versões anteriores que deram origem ao aparelho de *playback* que utilizei; Júlia Diniz Silva pela gravação do *long call* do Arthur tocado durante as execuções de *playback*; Orlando Vitor Vital, pelos dados fornecidos e trocas científicas; Yuri Geraldo Gomes Ribeiro, pelas dicas e ajudas com modelagem de nicho; e toda a equipe do Centro de Conservação dos Saguis-da-Serra, pelos aprendizados e pelo ímpeto de conservar a vida em nosso planeta. Agradeço também ao Álvaro Fulgêncio, à Paula Cabral, ao Paulo Rodrigo Dias e ao Wagner Lacerda, pelo compartilhamento de dados importantes.

Muito obrigado a todos os atores locais, como ativistas e organizações, e funcionários e proprietários rurais, pelo apoio logístico e pela permissão para a pesquisa nas áreas sob seus cuidados, especialmente: Eduardo Dreyer, Arielle Canedo e Centro de Pesquisas Iracambi; Abílio Vilela, Alex e Centro Alternativo de Formação Popular Rosa Fortini; Sr. Eduardo Amil; Sr. Aderli; Sra. Sandra; Sra. Andréa Lisboa; Sr. Agremildo; e Sr. Eustáquio.

Sou eternamente grato ao professor Dr. Fabiano Rodrigues de Melo, pela orientação, pela confiança em meu trabalho e pelos inúmeros ensinamentos em conservação, e ao Dr. Leandro Jerusalinsky, que topou entrar neste barco me coorientando, com os quais é uma honra trabalhar junto. Também à Dra. Adriana Pereira Milagres, pelo suporte com os modelos de nicho e pelas sugestões em meu exame de qualificação. À Dra. Gabriela Cabral Rezende, ao Dr. Guilherme Siniciato Terra Garbino e ao Dr. Leandro Jerusalinsky, também por recomendações sobre a

qualificação. Ao Dr. Eric Bastos Gorgens por esclarecimentos sobre análises estatísticas. E a todos os componentes da banca de defesa de doutorado por suas valiosas contribuições.

E, finalmente, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de cursar o doutorado em uma instituição de excelência. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e à Fundação Renova, pelas bolsas concedidas. À Re:wild, pelo financiamento do trabalho em campo, e ao Muriqui Instituto de Biodiversidade, na pessoa da Fernanda Tabacow, pelo gerenciamento deste recurso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Assim como numa arca, estamos todos amontoados e estressados, esperando o dilúvio acabar. O problema é que o planeta não tem onde ancorar...” (Galetti, M. Um naturalista no Antropoceno: um biólogo em busca do selvagem. São Paulo: Editora Unesp, 2023)

RESUMO

PACHECO, Felipe Santos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2024. **Modelagens ecológicas para o sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implicações para a conservação deste primata ameaçado e endêmico da Mata Atlântica.** Orientador: Fabiano Rodrigues de Melo. Coorientador: Leandro Jerusalinsky.

O sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*), endêmico da Mata Atlântica do sudeste do Brasil, é ameaçado de extinção principalmente pela perda e pela fragmentação de habitats, pela competição e pela hibridação com saguis congêneres alóctones, e, possivelmente, pelas mudanças climáticas. A espécie carece da proteção dos ambientes que propiciem sua presença e de ações que mitiguem os impactos das ameaças que enfrenta. Para compreender os fatores responsáveis por sua ocorrência e persistência nos ambientes, foi testada a influência da ocorrência de *Callithrix* spp. alóctones, do tamanho dos habitats, da altitude, de condições climáticas e dos tipos vegetacionais sobre a presença de *C. aurita* em uma região antropizada. Como preditores mais importantes, a sazonalidade da precipitação, a isothermalidade, a amplitude térmica diurna média e a porcentagem de vegetação arbórea perene podem influir sobre a disponibilidade de recursos alimentares para a espécie nativa, que parece ser capaz de ocupar fragmentos pequenos e perturbados, mas é vulnerável às alterações ambientais previstas para o futuro. A substituição por formas invasoras ainda está em curso em muitas localidades, havendo oportunidade para intervir e evitar sua suplantação. Com o uso de modelagens ecológicas, os achados foram considerados de forma ponderada em um planejamento sistemático de conservação do sagui-da-serra-escuro para ser executado ao longo dos próximos 50 anos. Foram mapeadas áreas prioritárias para a conservação, para o controle de saguis invasores e para o manejo conservacionista das populações autóctones, e para a pesquisa, possibilitando, de forma flexível, tomadas de decisão baseadas em conhecimento ecológico.

Palavras-chave: predição de ocorrência; modelagem de nicho ecológico; ecologia da paisagem; mudanças climáticas; planejamento sistemático

ABSTRACT

PACHECO, Felipe Santos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2024. Ecological modeling for the buffy-tufted-ear marmoset, *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812): implications for the conservation of this threatened and endemic primate of the Atlantic Forest
. Adviser: Fabiano Rodrigues de Melo. Co-adviser: Leandro Jerusalinsky.

The buffy-tufted-ear marmoset (*Callithrix aurita*), endemic to the Atlantic Forest of southeastern Brazil, is threatened mainly by habitat loss and fragmentation, by competition and hybridization with allochthonous marmosets, and possibly by climate change. The species lacks the protection of environments that are propitious to its presence and actions to mitigate the impacts of the threats it is facing. In order to understand the drivers for its occurrence and persistence in environments, the influence of the occurrence of allochthonous *Callithrix* spp., habitat size, altitude climatic conditions and vegetation types on the presence of *C. aurita* in an anthropized region was tested. As the most important predictors, the seasonality of rainfall, the isothermality, the average diurnal temperature range and the percentage of evergreen tree vegetation may influence the availability of food resources for the native species, which seems to be able to occupy small, disturbed habitats, but is vulnerable to the environmental changes predicted for the future. Replacement by invasive forms is still underway in many sites, and there is an opportunity to intervene and prevent their supplantation. Using ecological modeling, the findings were thoughtfully considered in a systematic conservation plan for the buffy-tufted-ear marmoset to be carried out over the next 50 years. Priority areas were mapped for conservation, for the control of invasive marmosets and for the conservation management of native populations, as well as for research, enabling flexible decision-making based on ecological knowledge.

Keywords: occurrence prediction; ecological niche modeling; landscape ecology; climate change; systematic planning

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1 Sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*).....17

Capítulo 1 PREDITORES DE OCORRÊNCIA DO AMEAÇADO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, *Callithrix aurita* (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812), NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS, UMA REGIÃO ANTROPIZADA

Figura 1 Paisagem da Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Leopoldina, evidenciando o isolamento dos remanescentes florestais..30

Figura 2 Equipamento sonoro utilizado para a execução de *playback*, confeccionado com megafone e *tweeter* em um recipiente plástico.....32

Figura 3 Distribuição geográfica da amostragem e das detecções de saguis na área de estudo; Pontos preto e brancos indicam habitats ocupados exclusivamente pelo sagui-da-serra-escuro; Pontos preto e vermelhos indicam habitats ocupados simultaneamente pelo sagui-da-serra-escuro e saguis alóctones e/ou híbridos antropogênicos; Pontos vermelhos indicam habitats ocupados exclusivamente por saguis alóctones e/ou híbridos antropogênicos; Pontos preto e amarelos indicam habitats ocupados simultaneamente pelo sagui-da-serra-escuro e outros saguis autóctones e/ou híbridos naturais; Pontos amarelos indicam habitats ocupados exclusivamente por saguis híbridos naturais; Pontos cinza indicam habitats onde não foi possível a identificação dos saguis presentes; Losangos azuis indicam habitats sem registro de saguis; Em verde-claro os habitats amostrados; Em verde-escuro os habitats não amostrados; Limites municipais demarcados com linhas pontilhadas; Municípios amostrados suavemente preenchidos em verde-claro, numerados e apresentados em ordem alfabética.....37

- Figura 4 Alguns fenótipos de saguis detectados: a e b – *Callithrix aurita*; c – *Callithrix penicillata*; d e e – Híbridos antropogênicos entre *C. aurita* e *C. penicillata*; f – Híbrido natural entre *C. aurita* e *Callithrix flaviceps*...38
- Figura 5 a – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a sazonalidade da precipitação; b – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a isothermalidade; c – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a amplitude térmica diurna média; d – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a porcentagem de vegetação arbórea perene; Pontos representam as amostras, valores médios de probabilidade de ocorrência em marrom escuro e desvios padrão em marrom claro; 0: ausência; 1: presença.....46
- Figura 6 a – Distribuição espacial da sazonalidade da precipitação na área de estudo em relação à amostra; b – Distribuição espacial da isothermalidade na área de estudo em relação à amostra; c – Distribuição espacial da amplitude térmica diurna média na área de estudo em relação à amostra; d – Distribuição espacial da vegetação arbórea perene na área de estudo em relação à amostra; Pontos representam as unidades amostrais (i.e. fragmentos de habitat).....47
- Capítulo 2 PRIORIZAÇÃO ESPACIAL PARA A CONSERVAÇÃO DO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, *Callithrix aurita* (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812)**
- Figura 1 Alguns exemplos de fenótipos puros e híbridos do gênero *Callithrix* presentes na extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Sagui-da-serra-escuro (*C. aurita*); b – Sagui-de-tufos-pretos (*Callithrix penicillata*); c – Híbrido entre *C. aurita* e *C. penicillata* (*Callithrix* sp.); d – Provável híbrido triplo entre o sagui-de-cara-branca (*Callithrix geoffroyi*), o sagui-de-tufos-brancos (*Callithrix jacchus*) e o sagui-de-tufos-pretos (*C. penicillata*).....72

- Figura 2 Preenchida em rosa: extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) atualizada (Vital et al., no prelo); Demarcada em vinho: delimitação da área de estudo para as modelagens ecológicas (i.e. *background*); Demarcada em laranja: delimitação da área geográfica alvo das prioridades conservacionistas; Pontos preto e brancos: ocorrências do sagui-da-serra-escuro; Pontos vermelhos: ocorrências de saguis alóctones e híbridos antropogênicos.....84
- Figura 3 Distribuição da adequabilidade de nicho climático presente (i.e. baseado em dados de 1970 a 2000) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Modelo construído com o uso do BIOCLIM; b – Modelo construído com o uso do Maxent; c – Modelo construído com o uso de SVM; d – Modelo construído através do consenso ponderado entre a, b e c.....87
- Figura 4 Distribuição da adequabilidade de nicho climático futuro (2061 a 2080) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global ACCESS-CM2; b – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global HadGEM3-GC31-LL; c – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global MIROC6; d – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global MRI-ESM2-0; e – Modelo construído através do consenso entre a, b, c e d.....88
- Figura 5 Distribuição da adequabilidade da paisagem para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Modelo construído com o uso do Maxent; b – Modelo construído com o uso de SVM; c – Modelo construído através do consenso ponderado entre a e b.....89
- Figura 6 Distribuição da adequabilidade ambiental (i.e. consenso entre a adequabilidade de nicho climático e da paisagem) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) em sua extensão de ocorrência. a – Distribuição da adequabilidade ambiental para *C. aurita* obtida para o presente;

	b – Projeção da distribuição da adequabilidade ambiental para <i>C. aurita</i> obtida para o futuro (2061 a 2080).....	90
Figura 7	Concentração de ocorrências de <i>Callithrix</i> spp. na área de estudo. a – Densidade de registros do sagui-da-serra-escuro (<i>Callithrix aurita</i>); b – Densidade de registros de <i>Callithrix</i> spp. alóctones e seus híbridos antropogênicos; c – Consenso entre as densidades de registros de <i>C. aurita</i> e <i>Callithrix</i> spp. alóctones e seus híbridos antropogênicos.....	91
Figura 8	Áreas prioritárias para a conservação do sagui-da-serra-escuro (<i>Callithrix aurita</i>) sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de <i>C. aurita</i> delimitada em marrom.....	93
Figura 9	Áreas prioritárias para o manejo populacional de <i>Callithrix</i> spp. nativos e invasores sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de <i>Callithrix aurita</i> delimitada em marrom.....	94
Figura 10	Áreas prioritárias para a amostragem <i>in situ</i> sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de <i>Callithrix aurita</i> delimitada em marrom.....	95

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

CAPÍTULO 1

PREDITORES DE OCORRÊNCIA DO AMEAÇADO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, <i>Callithrix aurita</i> (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812), NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS, UMA REGIÃO ANTROPIZADA	24
1.1 INTRODUÇÃO	26
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
1.2.1 Área de estudo	30
1.2.2 Obtenção e tratamento dos dados	31
1.2.2.1 Levantamento de <i>Callithrix</i> spp.	31
1.2.2.2 Variáveis ambientais.....	33
1.2.3 Análises	35
1.3 RESULTADOS.....	36
1.3.1 Levantamento de <i>Callithrix</i> spp.....	36
1.3.2 Variáveis ambientais	39
1.3.4 Análises	40
1.4 DISCUSSÃO	48
1.5 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPÍTULO 2

PRIORIZAÇÃO ESPACIAL PARA A CONSERVAÇÃO DO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, <i>Callithrix aurita</i> (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812)	68
2.1 INTRODUÇÃO	70
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	77
2.2.1 Área de estudo	78
2.2.2 Curadoria de dados	78
2.2.3 Adequabilidade ambiental atual e futura	80
2.2.4 Priorizações espaciais	83
2.3 RESULTADOS.....	85

2.4 DISCUSSÃO	96
2.5 CONCLUSÃO	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
CONSIDERAÇÕES FINAIS	121

INTRODUÇÃO GERAL

O período contemporâneo é chamado por alguns de Antropoceno, pois carregará profundas marcas da humanidade, que, de forma predatória, tem convertido as paisagens naturais, consumido recursos e depositado seus rejeitos para a manutenção de estilos de vida insustentáveis (Freitas; Nunes; Nélsis, 2012; Keys et al., 2019). Além da exploração direta, como para a alimentação e a produção de bens, ecossistemas e seus organismos têm sido afetados principalmente pela perda e pela fragmentação de habitats e pelas invasões biológicas ocasionadas pelo homem (Freitas; Nunes; Nélsis, 2012; Ceballos et al., 2015; Keys et al., 2019). A redução, a desconexão e o esgotamento das populações naturais resultantes conduzem a Terra ao sexto evento de extinção em massa em seus 4,5 bilhões de anos (Ceballos et al., 2015). Com taxas de extinção de vertebrados entre oito e 100 vezes maiores que antes do início do século XX, espécies possivelmente estão desaparecendo antes mesmo de serem conhecidas (Ceballos et al., 2015; Keys et al., 2019).

Em sinergia com estas ameaças, as mudanças climáticas, de origem antrópica, têm impactado cada vez mais intensamente a biodiversidade, por meio de ondas de calor, do aumento de condições xéricas e propícias a incêndios, e da potencialização de tempestades e ciclones (IPCC, 2023; Ripple et al., 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023). As emissões de gases de efeito estufa, que estão entre as suas principais causas, seguem aumentando, acompanhadas de contínuas modificações nas paisagens, trazendo imprevisibilidade ao sistema (IPCC, 2023; Ripple et al., 2023). Mas é seguro esperar futuros impactos drásticos na disponibilidade de nicho ecológico adequado para as espécies, afetando direta e indiretamente sua reprodução e sua sobrevivência (Carvalho et al., 2019a; Coelho et al., 2023; Pinto et al., 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023; Pozo-Montuy et al., 2024).

A sensibilidade às perturbações antropogênicas depende de características intrínsecas à história natural dos organismos, como modo de vida, capacidade de locomoção, dieta, fecundidade, requerimentos e tolerâncias ambientais, e relações interespecíficas (Simberloff, 1994; Benchimol; Peres, 2013; Graipel et al., 2017). Em função das supressões florestais, os primatas estão entre os grupos mais ameaçados, sobretudo aqueles de hábitos arborícolas, como os neotropicais (Estrada et al., 2017; Graipel et al., 2017; Jerusalinsky; Melo, 2018; Chapman et al., 2020). Mais de 60%

das espécies da ordem Primates do mundo encontram-se classificadas em alguma categoria de risco de extinção, e 36% delas distribuem-se na região Neotropical (Estrada et al., 2017; Rylands; Mittermeier; Williamson, 2020).

Na Mata Atlântica, bioma localizado majoritariamente nas áreas de colonização europeia mais antigas do Brasil, e que abriga 72% da população humana do país, mais de 70% das espécies de primatas estão ameaçadas (Galindo-Leal; Câmara, 2005; Ribeiro et al., 2009; Graipel et al., 2017; Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2023; Matte et al., 2024). Atualmente restam 22,86% de cobertura florestal nativa (Vancine et al., 2024), distribuída em pequenos fragmentos isolados, restringindo o espaço e os recursos, e afetando migrações importantes para a manutenção de dinâmicas metapopulacionais (Pinto et al., 2009; Ribeiro et al., 2009; Graipel et al., 2017; Pinto et al., 2023; Matte et al., 2024; Vancine et al., 2024). É previsto que, com as mudanças climáticas, as fitofisionomias do bioma sofram alterações e contrações adicionais, reduzindo mais o habitat disponível (Colombo; Joly, 2010; Vale et al., 2021; Pinto et al., 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023).

O sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (Saint-Hilaire, 1812) (Figura 1), é um pequeno primata endêmico da Mata Atlântica do sudeste do Brasil (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021). Habita florestas no sul e no sudeste do estado de Minas Gerais, e em áreas montanhosas do Rio de Janeiro e de São Paulo, encontrado ao longo de uma ampla variação altitudinal (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Rylands et al., 1996; Norris et al., 2011; Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009). Sua extensão de ocorrência abrange algumas das regiões mais urbanizadas e populosas do bioma, o que conseqüentemente o coloca sob fortes ameaças, mencionadas adiante (Ribeiro et al., 2009; Melo et al., 2018; 2021; Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2023; Vancine et al., 2024). A espécie já foi listada entre os 25 primatas mais ameaçados do mundo (Carvalho et al., 2019b), está categorizada como “Em Perigo” (EN) de extinção pelas avaliações nacional (Melo et al., 2018) e global (Melo et al., 2021), também está listada como EN nos estados de Minas Gerais (COPAM, 2010) e São Paulo, e como “Vulnerável” (VU) no Rio de Janeiro (Melo et al., 2018).

Figura 1 – Sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*)



Juntamente com a perda e a fragmentação de habitats, comuns na Mata Atlântica, outra ameaça notória ao sagui-da-serra-escuro é a introdução antrópica de saguis congêneres em sua distribuição geográfica, principalmente o sagui-de-tufos-pretos, *Callithrix penicillata* (Saint-Hilaire, 1812), e o sagui-de-tufos-brancos, *Callithrix jacchus* (Linnaeus, 1758), que integram o mercado *pet* e são alvo de solturas irregulares (Malukiewicz, 2018; Melo et al., 2018; Silva et al., 2018; Malukiewicz et al.,

2021). Além de competirem por recursos e espaço com o sagui-da-serra-escuro, os saguis alóctones cruzam com a espécie nativa, gerando descendentes híbridos férteis em função do isolamento reprodutivo incompleto (Malukiewicz, 2018; Silva et al., 2018; Malukiewicz et al., 2021). Capazes de perpetuar nas populações os impactos da introgressão gênica, onde uma espécie assimila a outra geneticamente, podem levar à extinção da espécie mais vulnerável, *C. aurita* (Hedrick; Miller, 1992; Malukiewicz, 2018; Silva et al., 2018; Malukiewicz et al., 2021). Estima-se que apenas entre os anos de 1990 e 2008 houve a perda de 43% da área de ocupação da espécie, o que, em conjunto com os crescentes registros de saguis invasores e híbridos em sua distribuição, leva à suspeita da redução de mais de 50% em suas populações nas últimas gerações (Bechara, 2012; Malukiewicz, 2018; Silva et al., 2018; Malukiewicz et al., 2021; Melo et al., 2021).

Em razão do avanço de políticas econômicas nocivas ao meio ambiente e do conseqüente incremento previsto na intensidade das ameaças antropogênicas, a janela de oportunidade para conservar espécies como *C. aurita* pode estar se fechando rapidamente (Freitas; Nunes; Nélsis, 2012; Ceballos et al., 2015; Estrada et al., 2017; Keys et al., 2019; Chapman et al., 2020; Canale et al., 2024). É necessário compreender os fatores ecológicos que possibilitem sua persistência no ambiente, para que sejam salvaguardados e recuperados habitats adequados para a sua proteção (Margules; Pressey, 2000; Soberón, 2007; IUCN SSC, 2017; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020). O planejamento sistemático de áreas e ações prioritárias para a conservação, para o manejo populacional, e para sanar lacunas de pesquisa é fundamental para direcionar os esforços e os recursos financeiros normalmente escassos, possibilitando atingir, de forma efetiva, as metas traçadas (IUCN SSC, 2017; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020; Byers et al., 2022).

Portanto, o presente estudo teve os objetivos de: verificar a influência da presença de saguis alóctones, do tamanho dos habitats, da altitude, das condições climáticas e dos tipos vegetacionais sobre a presença de *C. aurita* em uma região antropizada (Capítulo 1); e, mapear áreas prioritárias para a conservação, para o manejo populacional e para novos levantamentos, visando a persistência da espécie em face às mudanças climáticas previstas para as próximas cinco décadas (2030 a 2080), e considerando a disponibilidade de habitat e a presença de *Callithrix* spp. invasores (Capítulo 2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bechara, I. M. **Abordagens metodológicas em Biogeografia da Conservação para avaliar risco de extinção de espécies: um estudo de caso com *Callithrix aurita* (Primates: Callitrichidae)**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- Benchimol, M.; Peres, C. A. Anthropogenic modulators of species–area relationships in Neotropical primates: a continental-scale analysis of fragmented forest landscapes. **Diversity and Distributions**, v. 19, n. 11, p. 1339-1352, 2013. <https://doi.org/10.1111/ddi.12111>
- Byers, O. et al. Reversing the decline in threatened species through effective conservation planning. **Diversity**, v. 14, n. 9, p. 754, 2022. <https://doi.org/10.3390/d14090754>
- Canale, G. R. et al. Far-right political forces in Brazil may push the Amazon to a tipping point. **Campo-Território: revista de Geografia Agrária**, v. 19, n. 56, p. 1-15, 2024. <https://doi.org/10.14393/RCT195675378>
- Carvalho, J. S. et al. A global risk assessment of primates under climate and land use/cover scenarios. **Global Change Biology**, v. 25, n. 9, p. 3163-3178, 2019a. <https://doi.org/10.1111/gcb.14671>
- Carvalho, R. S. et al. Buffy-tufted-ear-marmoset. In: Schwitzer, C. et al. (eds.). **Primates in peril: The world's 25 most endangered Primates - 2018-2020**. [S.l.]: IUCN SSC Primate Specialist Group (PSG); International Primatological Society (IPS); Global Wildlife Conservation (GWC); Bristol Zoological Society (BZS), 2019b. p. 78-81.
- Ceballos, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>
- Chapman, C. A. et al. Primates can be a rallying symbol to promote tropical forest restoration. **Folia Primatologica**, v. 91, n. 6, p. 669-687, 2020. <https://doi.org/10.1159/000505951>
- Coelho, M. T. P. et al. The geography of climate and the global patterns of species diversity. **Nature**, v. 622, n. 7983, p. 537-544, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06577-5>
- Colombo, A. F.; Joly, C. A. Brazilian Atlantic Forest *lato sensu*: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 697-708, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400002>

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010: Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais**. Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, 2010.

Estrada, A. et al. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. **Science Advances**, v. 3, n. 1, p. e1600946, 2017.

Ferrari, S. F.; Corrêa, H. K. M.; Coutinho, P. E. G. Ecology of the "southern" marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*): how different, how similar? In: Norconk, M. A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. (eds.). **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA: Plenum Press, 1996. p. 157-171.

Freitas, R. C. M.; Nunes, L. S.; Nélsis, C. M. A crítica marxista ao desenvolvimento (in)sustentável. **Revista Katálysis**, v. 15, n. 1, p. 41-51, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1414-49802012000100004>

Fundação SOS Mata Atlântica; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas **Espaciais**. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2021/2022, relatório técnico**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2023. 60p.

Galindo-Leal, C.; Câmara, I. G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I. G. (eds.). **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica; Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005. p. 3-11.

Graipel, M. E. et al. Mamíferos da Mata Atlântica. In: Monteiro-Filho, E. L. A.; Conte, C. E. (orgs.). **Revisões em Zoologia: Mata Atlântica**. Curitiba, PR: Editora UFPR, 2017. p. 391-482.

Hedrick, P. W.; Miller, P. S. Conservation Genetics: techniques and fundamentals. **Ecological Applications**, v. 2, n. 1, p. 30-46, 1992. <https://doi.org/10.2307/1941887>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Core Writing Team; Lee, H.; Romero, J. (eds.). **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 1-34, 2023. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

IUCN SSC – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Species Survival Commission, Species Conservation Planning Sub-Committee. **Guidelines for Species Conservation Planning**. Version 1.0. Cambridge, UK; Gland, Switzerland: IUCN, 2017. 144 p. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.18.en>

Jerusalinsky, L.; Melo, F. R. Conservação de primatas no Brasil: perspectivas e desafios. In: Urbani, B. et al. (eds.). **La primatología en Latinoamérica 2 – A primatologia na América Latina 2. Tomo I Argentina-Colômbia**. Caracas: Ediciones Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), 2018. p. 161-186.

Linnaeus, C. **Systema Naturae. Regnum Animale**. 1758.

Keys, P. W. et al. Anthropocene risk. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 8, p. 667-673, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0327-x>

Malukiewicz, J. A review of experimental, natural, and anthropogenic hybridization in *Callithrix* marmosets. **International Journal of Primatology**, v. 40, n. 1, p. 72-98, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10764-018-0068-0>

Malukiewicz, J. et al. An introduction to the *Callithrix* genus and overview of recent advances in marmoset research. **ILAR Journal**, v. 0, n. 0, p. 1-29, 2021. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilab027>

Margules, C. R.; Pressey, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 243-253, 2000. <https://doi.org/10.1038/35012251>

Matte, A. L. L. et al. How do landscape and life history traits contribute to the threat context of Brazilian primates?. **Animal Conservation**, v. 27, n. 2, p. 267-280, 2024. <https://doi.org/doi:10.1111/acv.12904>

Melo, F. R. et al. 2021. *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). **The IUCN Red List of Threatened Species**, e.T3570A191700629, 2021. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3570A191700629.en>

Melo, F. R. et al. *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812). In: ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos**. 1. ed. Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018. p. 206-213.

Norris, D. et al. Density and spatial distribution of buffy-tufted-ear marmosets (*Callithrix aurita*) in a continuous Atlantic Forest. **International Journal of Primatology**, v. 32, n. 4, p. 811-829, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10764-011-9503-1>

Pinto, M. P. et al. Primates facing climate crisis in a tropical forest hotspot will lose climatic suitable geographical range. **Scientific Reports**, v. 13, n. 641, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26756-0>

Pinto, N. et al. Primate Densities in the Atlantic Forest of Southeast Brazil: The Role of Habitat Quality and Anthropogenic Disturbance. In: Garber, P. A. et al. (eds.). **South American Primates, Developments in Primatology: Progress and Prospects**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 413-431. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3_16

Pozo-Montuy, G. et al. Howler Monkey Die-Off in Southern Mexico. **American Journal of Primatology**, p. e23684, 2024. <https://doi.org/10.1002/ajp.23684>

Rezende, G. C.; Sobral-Souza, T.; Culot, L. Integrating climate and landscape models to prioritize areas and conservation strategies for an endangered arboreal primate.

American Journal of Primatology, v. 82, n. 12, p. e23202, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajp.23202>

Ribeiro, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

Ripple, W. J. et al. The 2023 state of the climate report: Entering uncharted territory. **BioScience**, v. 73, n. 12, p. 841-850, 2023. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad080>

Rylands, A. B.; Coimbra-Filho, A. F.; Mittermeier R. A. The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and Callimico (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford, S. M.; Porter, L. M.; Davis, L. C. (eds.). **The smallest anthropoids**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 25-61. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0293-1_2

Rylands, A. B.; Mittermeier, R. A.; Williamson, E. A. Primate conservation – new reports from the field. **Oryx**, v. 54, n. 6, p. 751-752, 2020. <https://doi.org/10.1017/S0030605320000939>

Rylands, A. B. et al. Primates of the Atlantic Forest: origin, distributions, endemism, and communities. In: Norconk, M. A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA; London, UK: Plenum Press, 1996. p. 21-51. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9_2

Saint-Hilaire, É. G. Tableau des quadrumanes ou des animaux composant le premier ordre de la classe des mammifères. **Annales du Muséum d'histoire naturelle**, v. 19, p. 85-122, 1812.

Silva, F. F. R. et al. A survey of wild and introduced marmosets (*Callithrix*: Callitrichidae) in the southern and eastern portions of the state of Minas Gerais, Brazil. **Primate Conservation**, v. 32, p. 1-18, 2018.

Simberloff, D. The ecology of extinction. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 38, n. 3-4, p. 159-174, 1994.

Soberón, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p. 1115-1123, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>

Vale, M. M. et al. Climate change and biodiversity in the Atlantic Forest: best climatic models, predicted changes and impacts, and adaptation options. In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p 253-267. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_12

Vancine, M. H. et al. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>

Winder, I. C.; Mace, B.; Korstjens, A. H. Climate change impacts on non-human primates: what have we modelled and what do we do now?. In: McKinney, T.; Waters, S.; Rodrigues, M. A. **Primates in Anthropogenic Landscapes: exploring primate behavioural flexibility across human contexts**. Cham, Switzerland: Springer, 2023. p. 83-102. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11736-7_2

CAPÍTULO 1

PREDITORES DE OCORRÊNCIA DO AMEAÇADO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, *Callithrix aurita* (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812), NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS, UMA REGIÃO ANTROPIZADA

RESUMO

O conhecimento dos preditores de ocorrência dos organismos pode embasar ações efetivas de conservação espécie-específicas. Para o sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita*, primata florestal ameaçado pela perda e fragmentação de habitats e pela competição e hibridação com congêneres invasores, estas informações são incipientes. Assim, com o uso de modelos lineares generalizados, objetivou-se verificar se a presença de saguis alóctones, o tamanho dos habitats, a altitude, as condições climáticas e os tipos vegetacionais influenciam sua presença em uma região antropizada. Foram detectados saguis-da-serra-escuros e outros *Callithrix* spp. em fragmentos florestais com características diversas. A sazonalidade da precipitação, a isotermalidade, a amplitude térmica diurna média e a porcentagem de árvores perenes foram os preditores de ocorrência mais importantes para *C. aurita*. A presença do sagui-da-serra-escuro foi associada a ambientes com grande variação pluviométrica ao longo do ano, oscilações térmicas diárias constantes, mas com variações sazonais, e com maior manutenção das folhas das árvores durante o período seco. Isso provavelmente está relacionado à disponibilidade de recursos alimentares, como frutos e outras partes vegetais, fungos e artrópodes, modulada espacial e temporalmente pelo clima e pela deciduidade. Logo, embora possa ocorrer em florestas fragmentadas e ainda não tenha se extinguido regionalmente pela substituição por saguis invasores, *C. aurita* é vulnerável a alterações climáticas, sendo necessário congrega a proteção de habitats adequados, o manejo populacional e predições climáticas futuras para possibilitar sua conservação.

Palavras-chave: nicho ecológico; paisagem; clima; floresta; ecologia espacial.

ABSTRACT

Knowing the occurrence predictors of organisms can support effective species-specific conservation actions. For the buffy-tufted-ear marmoset, *Callithrix aurita*, a forest-dweller primate threatened by habitat loss and fragmentation and by competition and hybridization with invasive congeners, this information is incipient. So, using generalized linear models, the objective was to verify whether the presence of allochthonous marmosets, habitat size, altitude, climatic conditions and vegetation types influence its presence in an anthropized region. Buffy-tufted-ear marmosets and other *Callithrix* spp. were detected in forest fragments with different characteristics. Rainfall seasonality, isothermality, average diurnal temperature range and the percentage of evergreen trees were the most important predictors of occurrence for *C. aurita*. The presence of the buffy-tufted-ear marmoset was associated with environments with great rainfall variation throughout the year, constant daily temperature fluctuations, but with seasonal variations, and greater maintenance of tree leaves during the dry season. This is probably related to the availability of food resources, such as fruit and other plant parts, fungi and arthropods, modulated spatially and temporally by climate and deciduousness. Thus, although it can occur in fragmented forests and has not yet become regionally extinct due to replacement by invasive marmosets, *C. aurita* is vulnerable to climate change, and it is necessary to combine the protection of suitable habitats, population management and future climate predictions to enable its conservation.

Keywords: ecological niche; landscape; climate; forest; spatial ecology.

1.1 INTRODUÇÃO

A vida é distribuída no planeta Terra obedecendo a fatores que, em síntese, determinam se em um dado espaço e tempo, o crescimento populacional de uma espécie será positivo ou negativo (Simberloff, 1994; Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Soberón, 2007). Em escala global, podem ser fatores climáticos, moldando ecorregiões, agindo sobre limitações fisiológicas dos organismos e, conseqüentemente, sobre sua reprodução e sobrevivência (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Soberón, 2007; Baselga et al., 2012; Merow et al., 2014). Junto com barreiras geográficas, esses fatores delimitam extensões de ocorrência (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Soberón, 2007).

Em conjunto com o clima, regional ou localmente, topografia e litologia agem sobre a estrutura do habitat, refletidos em fitofisionomias e disponibilidade de recursos (Soberón, 2007; Merow et al., 2014). Somados a características intrínsecas dos seres vivos, como limitações de dispersão e interações bióticas, criam variações em escala fina, resultando nos padrões de ocupação de habitat observados (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Soberón, 2007; Baselga et al., 2012; Merow et al., 2014). Dinâmicas de colonizações e extinções e questões históricas também não podem ser ignoradas, especialmente em paisagens antropizadas (Brown; Stevens; Kaufman, 1996).

Cada espécie tem um nicho ecológico único, composto pela confluência de isolinhas e aspectos desses diversos preditores (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Grelle; Cerqueira, 2006; Soberón, 2007; Coelho et al., 2023). A compreensão de onde e como esses fatores convergem auxilia na identificação de habitats adequados à sua presença e viabilidade populacional (Grelle; Cerqueira, 2006; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020). Este entendimento também permite a distinção de limites de extensão de ocorrência e nuances da estrutura interna das distribuições geográficas, que sobrepostos com a localização das ameaças específicas, fomentam o planejamento de ações conservacionistas direcionadas para táxons em risco de extinção (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Grelle; Cerqueira, 2006; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020).

O sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (Saint-Hilaire, 1812), é um pequeno primata endêmico da Mata Atlântica do Sudeste do Brasil, cuja distribuição abrange o sudeste e o sul de Minas Gerais, as serras e o litoral sul do Rio de Janeiro, e as serras

do leste e o litoral norte de São Paulo, adentrando o interior até áreas de transição com o Cerrado (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021a). Assim como todos os integrantes de seu gênero, alimenta-se principalmente de frutos, artrópodes e goma de árvores, também podendo incluir pequenos vertebrados e fungos na dieta (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000; Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021a). Por seu pequeno porte e capacidade de manipular bem os alimentos, nem sempre ingerem as sementes e as dispensam intactas, e com intenso comportamento de forrageio e capacidade de percorrer longas distâncias diariamente, *Callithrix* spp. podem ser importantes dispersores para espécies de plantas (Corrêa; Coutinho, 2008; Bufalo; Galetti; Culot, 2016; Vale; Prezoto, 2016; Grande et al., 2020). Estes saguis também podem ter papel no controle de populações animais, sobretudo de artrópodes, essenciais em suas dietas (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000; Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021a). Contudo, nas listas de espécies ameaçadas de extinção global e brasileira, *C. aurita* é classificado como “Em Perigo” (EN) de extinção, assim como nos estados de Minas Gerais e São Paulo, e considerado “Vulnerável” (VU) no Rio de Janeiro (COPAM, 2010; Melo et al., 2018; 2021).

Nos últimos 500 anos, a Mata Atlântica foi reduzida a 22,86% de sua cobertura nativa (Vancine et al., 2024), e *C. aurita* é encontrado em florestas ombrófilas e florestas estacionais da região com o mais intenso e antigo histórico de ocupação humana do bioma (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Vancine et al., 2024). Embora suporte certo nível de perturbação, a conversão da paisagem, principalmente para a produção agropecuária e a urbanização, fragmentou os habitats em pequenas manchas dispersas em matrizes muitas vezes hostis à espécie (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Chiarello, 2003; Norris et al., 2011; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). A redução e o isolamento das populações as coloca sob os riscos da endogamia e de eventos extremos, pois pode não haver recrutamento suficiente de indivíduos (Hedrick; Miller, 1992; Simberloff, 1994; Chiarello, 2003; Benchimol; Peres, 2013). Estas ameaças atuam em sinergia com a presença de outros *Callithrix* spp., alóctones introduzidos por ação humana em sua extensão de ocorrência (Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021a).

Em função da irradiação filogenética recente (\approx 5 milhões de anos) e do consequente isolamento reprodutivo incompleto, as espécies de *Callithrix* têm a capacidade de inter cruzar e gerar descendentes férteis, com casos de hibridação natural nos limites de suas distribuições parapátricas (Buckner et al., 2015; Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021b,c). É o que ocorre entre o sagui-da-serra-escuro e o sagui-da-serra-claro, *Callithrix flaviceps* (Thomas, 1903), no leste de Minas Gerais, onde há uma zona de intergradação entre suas extensões de ocorrência (Buckner et al., 2015; Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021b,c; Pacheco et al., 2024b). Porém, os membros do gênero *Callithrix* são frequentemente vítimas do tráfico de animais silvestres em todo o Brasil (Jerusalinsky; Melo, 2018; Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021a). Isso resulta em invasões de espécies nas áreas de distribuição natural de suas congêneres, onde competem por recursos e inter cruzam, gerando indivíduos híbridos e causando introgressão gênica nas populações nativas (Jerusalinsky; Melo, 2018; Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021a,b,c).

Oriundos de ambientes mais xéricos e abertos, como a Caatinga e o Cerrado, o sagui-de-tufos-brancos, *Callithrix jacchus* (Linnaeus, 1758), e o sagui-de-tufos-pretos, *Callithrix penicillata* (Saint-Hilaire, 1812), suportam condições extremas de pluviosidade e temperatura (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 1993; 2009; Braz; Lorini; Vale, 2019). Possuem adaptações comportamentais, fisiológicas e morfológicas para lidar com o calor e consumir goma de forma mais eficiente que *C. aurita* (Coimbra-Filho; Pissinatti; Rylands, 1993; Hilário et al., 2021; Malukiewicz et al., 2021a). Quando liberados em áreas de ocorrência natural desta espécie, se beneficiam da degradação da Mata Atlântica, prosperando e suplantando as populações autóctones por meio da competição e da hibridação, que ocasiona sua erosão genética (Malukiewicz, 2018; Gestich et al., 2023; Ambielle et al., 2024). E a mesma conectividade na paisagem que satisfaria as necessidades demográficas do sagui nativo, pode favorecer o potencial invasivo dos saguis alóctones, conduzindo-os a novos habitats (Loureiro et al., 2023; Ambielle et al., 2024).

Apesar da evidente necessidade de priorizar áreas para proteger populações em habitats adequados e livres de invasores, o conhecimento sobre os preditores de ocorrência do sagui-da-serra-escuro pode ainda ser incompleto. Cerqueira, Marroig e Pinder (1998) apontam o clima como provável modulador da presença da espécie, embora para outros pesquisadores a altitude ou a topografia possam ter maior

importância, considerando o clima apenas um conjunto de condições concomitantes à elevação, quando levado em conta (e.g. Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Norris et al., 2011; Detogne et al., 2017; Gestich et al., 2023). Já Grelle (2000) aponta a vegetação como fator limitante para *C. aurita*, excluindo fatores climáticos, enquanto Norris et al. (2011) e Detogne et al. (2017) indicam alguma combinação entre altitude e tipos vegetacionais. Em sua maioria, autores que analisaram a influência do tamanho ou da disponibilidade de habitats e da conectividade da paisagem sobre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro não encontraram relações significativas (e.g. Silva et al., 2015; Vital, 2020; Gestich et al., 2022b; Silvério, 2022; Loureiro et al., 2023). Silva et al. (2015) sugerem como importantes as variáveis relacionadas à disponibilidade de recursos ou ao grau de degradação florestal.

A identificação de áreas importantes e a ampliação do conhecimento sobre a ocorrência e ocupação de habitats de espécies-alvo são objetivos específicos do Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira, política pública na qual *C. aurita* está incluído (Brasil, 2018). Contudo, não foi possível encontrar, na literatura consultada, nenhum trabalho que testou, em conjunto, a influência da presença de saguis alóctones, do tamanho dos habitats, da elevação, de condições climáticas e dos tipos vegetacionais sobre a ocorrência de *C. aurita* em escalas amplas.

Assim, o presente estudo, conduzido na mesorregião da Zona da Mata, em Minas Gerais, intensamente desmatada e com um grande deficit de conhecimento sobre a presença de *Callithrix* spp. (Valverde, 1958; Netto; Diniz, 2006; Silva et al., 2018; Pacheco et al., 2021), teve como objetivos: amostrar populações de *C. aurita* e de saguis alóctones em remanescentes florestais; testar a importância da presença de outros saguis, das áreas das manchas de habitat, da altitude, de variáveis climáticas e de classes de cobertura vegetal sobre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro; e descrever o espaço ecológico ocupado pela espécie.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Área de estudo

Situada na porção sudeste de Minas Gerais, a Zona da Mata ocupa uma área de 35.748,7 km² e é a terceira mesorregião em população humana do Estado, com 56,81 habitantes/km² (Netto; Diniz, 2006). O relevo é ondulado a fortemente ondulado, com altitudes de menos de 200 m a aproximadamente 2.890 m (Valverde, 1958; Fick; Hijmans, 2017; este estudo). Os climas observados são tropical com inverno seco (Aw), subtropical com inverno seco e verão quente (Cwa), e subtropical com inverno seco e verão temperado (Cwb) (Alvares et al., 2013). Os maiores volumes de chuva se concentram nas áreas mais elevadas, abastecendo as bacias hidrográficas do rio Doce e do rio Paraíba do Sul, pelas quais a Zona da Mata é banhada (Valverde, 1958; Netto; Diniz, 2006; Cupolillo; Abreu; Vianello, 2008). A floresta estacional semidecidual que cobria a paisagem foi substituída por lavouras e pastagens, isolando fragmentos, majoritariamente secundários, principalmente nos cumes das elevações (Figura 1) (Valverde, 1958; Netto; Diniz, 2006; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021).

Figura 1 – Paisagem da Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Leopoldina, evidenciando o isolamento dos remanescentes florestais



1.2.2 Obtenção e tratamento dos dados

Todo o trabalho de geoprocessamento envolvendo a seleção das áreas amostradas, a preparação das variáveis e a elaboração de mapas foi desenvolvido com o *software* QGIS 3.22 (QGIS Development Team, 2022).

1.2.2.1 Levantamento de *Callithrix* spp.

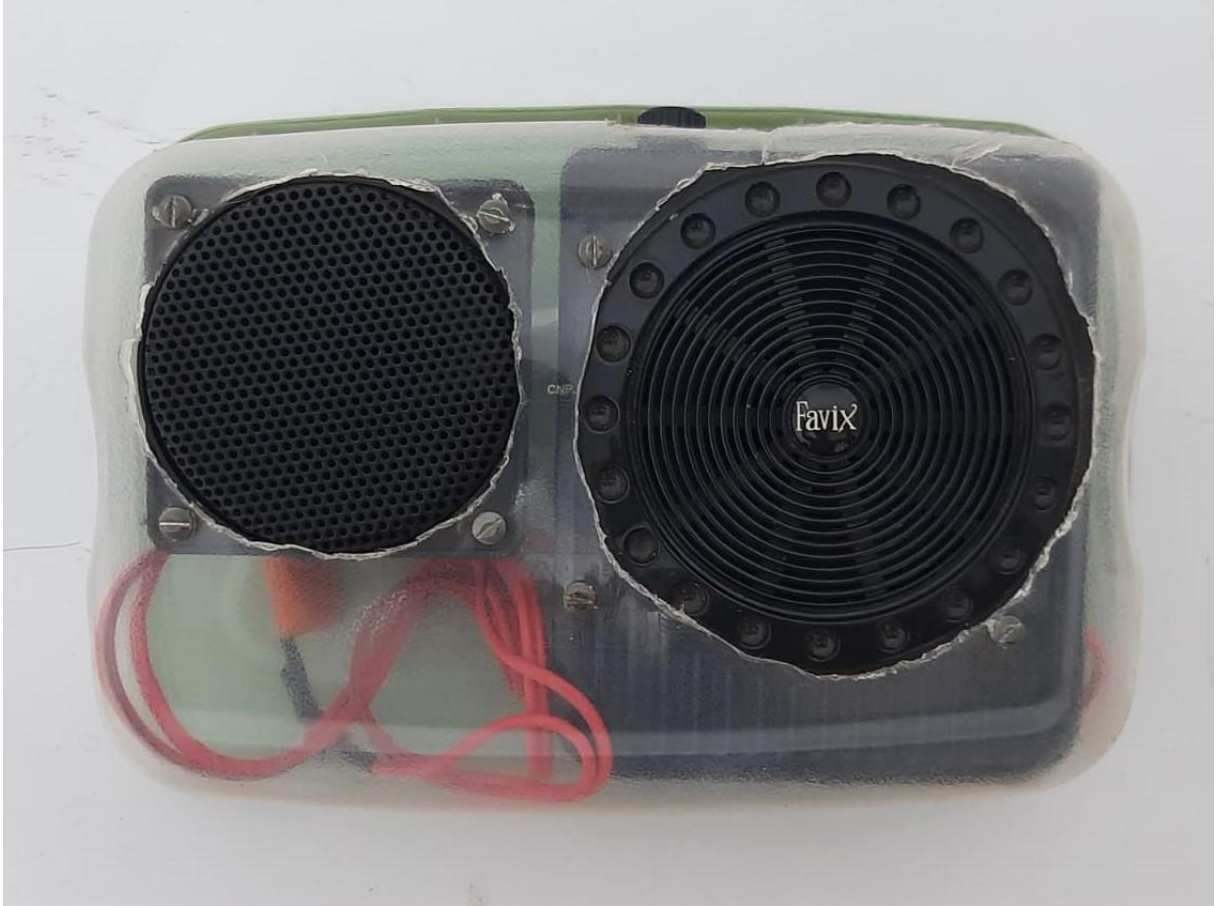
Foram sorteados para a amostragem nove municípios da Zona da Mata incluídos na extensão de ocorrência mais atualizada do sagui-da-serra-escuro (Vital et al. no prelo¹). Os esforços se estenderam a áreas próximas em municípios vizinhos quando conveniente. Foram priorizados os maiores remanescentes florestais, com maiores chances de suportar populações viáveis da espécie, e incluídas na amostragem outras manchas de habitat, por facilidades logísticas ou por encontros ocasionais de saguis. Não foram amostradas unidades de conservação (UCs) de proteção integral do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2011). As áreas foram vistoriadas entre maio de 2021 e março de 2023, nos períodos da manhã e da tarde, enquanto a luminosidade e as condições climáticas permitiram, em campanhas mensais de três a quatro dias consecutivos.

Foi empregado o método de transecção de pontos com *playback*, onde vocalizações da espécie-alvo são emitidas por equipamento sonoro em pontos pré-definidos, almejando sua detecção visual ou auditiva (Moraes; Melo, 2011; Peck et al., 2011; Garcia; Fialho; Jerusalinsky, 2014; Massardi et al., 2022). Foi utilizada a vocalização de caráter territorialista *long call* (Mendes; Vielliard; De Marco Jr., 2009), obtida de um macho adulto de *C. aurita* no Centro de Conservação dos Saguis-da-Serra, na Universidade Federal de Viçosa, com um gravador digital Zoom H4n Pro e um microfone direcional Sennheiser. A execução se deu com um aparelho Favix FFJ2 com 5 W de potência de saída e resposta de frequência de 150 a 16.000 Hz, acoplado a um *tweeter* Tozz com potência RMS/máxima de 75/150 W, resposta de frequência

¹ Vital, O. V. et al. Atualização das extensões de ocorrência e áreas de distribuição dos saguis-da-serra: *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps*. In: Carvalho et al. (orgs.). Programa de Conservação dos Saguis-da-serra (*Callithrix aurita* e *C. flaviceps*): prioridades e protocolos de pesquisa e manejo. No prelo.

de 5 a 20 kHz e sensibilidade de 100 dB, com um capacitor de 250 V em linha e instalados em um recipiente plástico (Figura 2).

Figura 2 – Equipamento sonoro utilizado para a execução de *playback*, confeccionado com megafone e *tweeter* em um recipiente plástico



Dado o alcance de aproximadamente 200 m do equipamento sonoro (i.e. média da distância máxima, em linha reta, em que o som pôde ser ouvido pelo pesquisador se afastando da fonte sonora em uma área florestal após dez sessões (≈ 190 m)), cada ponto distou, pelo menos, 400 m de pontos adjacentes, garantindo independência amostral (Moraes; Melo, 2011; Gestich et al., 2017; Gestich et al., 2022b). Em cada ponto foram tocadas quatro sessões de 2,5 minutos de áudio emitido em direções perpendiculares diferentes a cada 37 segundos, intercaladas por 2,5 minutos de silêncio, totalizando 20 minutos por amostra. Foram utilizadas estradas e trilhas preexistentes, e quando ausentes, os remanescentes florestais foram circundados (Hilário et al., 2012; Gestich et al., 2022b; Silvério, 2022).

A identificação morfológica e/ou vocal de *C. aurita*, seus congêneres e híbridos, seguiu os trabalhos de Vivo (1991), Coimbra-Filho, Pissinatti e Rylands (1993), Melo (1999), e Mendes, Vielliard e de Marco Jr. (2009). Animais híbridos resultantes da introdução de *Callithrix* spp. alóctones foram denominados “híbridos antropogênicos”, enquanto os nascidos de cruzamentos de formas autóctones em zonas de hibridação naturais foram chamados de “híbridos naturais”. Sempre que possível foram feitos registros fotográficos dos saguis detectados.

Em função da natureza não invasiva da amostragem com *playback* e da não inclusão de UCs de proteção integral, foi dispensada a obtenção de licenças de pesquisa.

1.2.2.2 Variáveis ambientais

Para acessar sua área em hectares (Ha), os habitats amostrados em campo foram delimitados manualmente a partir de imagens de satélite obtidas do Google Earth Pro (Google, 2022). Manchas de habitat foram consideradas distintas quando entendido que saguis necessitariam descer ao chão para alcançá-las. A altitude em relação ao nível do mar foi medida em campo com o uso do aplicativo para *smartphone* Wikiloc (Wikiloc Outdoor, 2016).

Como variáveis climáticas, foram obtidas do *site* WorldClim 19 camadas bioclimáticas, em formato *raster* e com resolução de aproximadamente 1 km² (Fick; Hijmans, 2017) (Tabela 1). São derivadas de médias históricas de medidas de pluviosidade e temperatura entre os anos de 1970 e 2000, e representam tendências anuais, sazonalidade e fatores ambientais extremos ou limitantes (Fick; Hijmans, 2017).

Do repositório *online* EarthEnv, foram obtidas, em células com resolução de aproximadamente 1 km², seis camadas matriciais georreferenciadas (*raster*) relativas à porcentagem de diferentes classes de cobertura vegetal presentes nos locais amostrados: a vegetação cultivada e manejada; a vegetação herbácea; a vegetação arbustiva; a vegetação mista, que inclui savanas e savanas arbóreas e mosaicos de fisionomias abertas e fechadas; a vegetação arbórea caducifólia, que sazonalmente perde suas folhas ou parte delas; e a vegetação arbórea perenifólia, que

sazonalmente mantém suas folhas ou a maior parte delas (Tuanmu; Jetz, 2014) (Tabela 1).

Para cada uma das variáveis ambientais foi atribuído um código de identificação abreviado para facilitar a operacionalização de análises e a apresentação em tabelas (Tabela 1). Para o melhor entendimento da distribuição dos dados em toda a amostra, foram listadas estatísticas descritivas relativas a cada variável ambiental, fornecendo valores mínimos e máximos, médias, medianas e desvios padrão.

Tabela 1 – Variáveis ambientais, seus códigos de identificação, unidades de medida e origem

Variável	Código	Unidade	Fonte
Tamanho do habitat	THab	Hectares (Ha)	Este estudo
Altitude	Alt	Metros (m)	Este estudo
Temperatura média anual	BIO1	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Amplitude térmica diurna média	BIO2	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Isotermalidade	BIO3	Razão	Fick; Hijmans, 2017
Sazonalidade da temperatura	BIO4	Coeficiente de variação	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura máxima do mês mais quente	BIO5	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura mínima de mês mais frio	BIO6	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Amplitude térmica anual média	BIO7	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura média do trimestre mais úmido	BIO8	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura média do trimestre mais seco	BIO9	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura média do trimestre mais quente	BIO10	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Temperatura média do trimestre mais frio	BIO11	Graus Celsius (°C)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação anual	BIO12	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do mês mais úmido	BIO13	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do mês mais seco	BIO14	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Sazonalidade da precipitação	BIO15	Coeficiente de variação	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do trimestre mais úmido	BIO16	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do trimestre mais seco	BIO17	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do trimestre mais quente	BIO18	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Precipitação do trimestre mais frio	BIO19	Milímetros (mm)	Fick; Hijmans, 2017
Vegetação cultivada e manejada	VCult	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014
Vegetação herbácea	VHerb	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014
Vegetação arbustiva	VArb	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014
Vegetação mista	VMis	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014
Vegetação arbórea caducifolia	VCad	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014
Vegetação arbórea perenifolia	VPer	Porcentagem (%)	Tuanmu; Jetz, 2014

1.2.3 Análises

A presença de *C. aurita* por fragmento de habitat foi definida como variável dependente. Para cada fragmento, como variáveis independentes, foram relacionados os valores médios entre as amostras (i.e. pontos de *playback*) dos preditores ambientais listados na Tabela 1 e a ocorrência de outros *Callithrix* spp. Foram excluídos das análises os habitats onde a identificação fenotípica ou vocal dos saguis não foi possível.

Foi realizado teste de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais para evitar efeitos da multicolinearidade, destituindo pares com relações fortes ($|r| > 0,7$) através da exclusão de alguma das envolvidas (McDonald, 2014; Loureiro et al., 2023). Foram gerados modelos lineares generalizados (GLMs) binomiais considerando todas as combinações e exclusões possíveis de todas as variáveis independentes restantes (McDonald, 2014; Loureiro et al., 2023; Teixeira et al., 2023). A seleção do modelo que melhor explicou a relação entre os preditores e a ocorrência do sagui-da-serra-escuro foi feita através do critério de seleção de Akaike (AIC), que considera a qualidade do ajuste e a complexidade dos modelos, penalizando aqueles mais complexos para evitar sobreajustes. O método define como mais plausíveis os modelos com menores valores de AIC (Akaike, 1974). As análises foram executadas com o *software* RStudio 4.3.0 (R Core Team, 2023).

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Levantamento de *Callithrix* spp.

Foram sorteados para a amostragem os municípios de Chiador, Fervedouro, Guidoal, Leopoldina, Muriaé, Palma, Rio Casca, Rio Doce e Visconde do Rio Branco. Adicionalmente, foram incluídos Abre Campo, Além Paraíba, Araponga, Argirita, Barão de Monte Alto, Barra Longa, Dona Eusébia, Ervália, Estrela Dalva, Guiricema, Pirapetinga, Ponte Nova, Recreio, Rosário da Limeira, São Francisco do Glória, São Pedro dos Ferros, Santa Cruz do Escalvado, Santo Antônio do Grama e Volta Grande, totalizando 28 municípios (Figura 3).

Com 425 execuções (141 horas e 40 minutos) de *playback* e 14 encontros ocasionais, foram amostrados 104 fragmentos de habitat (Figura 3). Em 41 não foram detectados saguis, 28 estavam ocupados exclusivamente por *C. aurita*, 9 foram compartilhados por *C. aurita* e outras formas, autóctones, alóctones ou híbridas, e em 41 foram detectados apenas outros *Callithrix* spp., sem a presença do sagui-da-serra-escuro (Figura 3; Figura 4). Em três áreas não foi possível a identificação fenotípica dos espécimes, fazendo com que fossem excluídas das análises.

Todos os registros de saguis obtidos são inéditos para as áreas visitadas. Embora a ocorrência de *C. aurita* seja conhecida no interior do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (e.g. Cosenza; Melo, 1998), a espécie não foi detectada em porções contíguas ao parque amostradas, sendo considerada, nas análises, sua ausência para o maciço florestal da Serra do Brigadeiro.

Figura 3 – Distribuição geográfica da amostragem e das detecções de saguis na área de estudo; Pontos preto e brancos indicam habitats ocupados exclusivamente pelo sagui-da-serra-escuro; Pontos preto e vermelhos indicam habitats ocupados simultaneamente pelo sagui-da-serra-escuro e saguis alóctones e/ou híbridos antropogênicos; Pontos vermelhos indicam habitats ocupados exclusivamente por saguis alóctones e/ou híbridos antropogênicos; Pontos preto e amarelos indicam habitats ocupados simultaneamente pelo sagui-da-serra-escuro e outros saguis autóctones e/ou híbridos naturais; Pontos amarelos indicam habitats ocupados exclusivamente por saguis híbridos naturais; Pontos cinza indicam habitats onde não foi possível a identificação dos saguis presentes; Losangos azuis indicam habitats sem registro de saguis; Em verde-claro os habitats amostrados; Em verde-escuro os habitats não amostrados; Limites municipais demarcados com linhas pontilhadas; Municípios amostrados suavemente preenchidos em verde-claro, numerados e apresentados em ordem alfabética

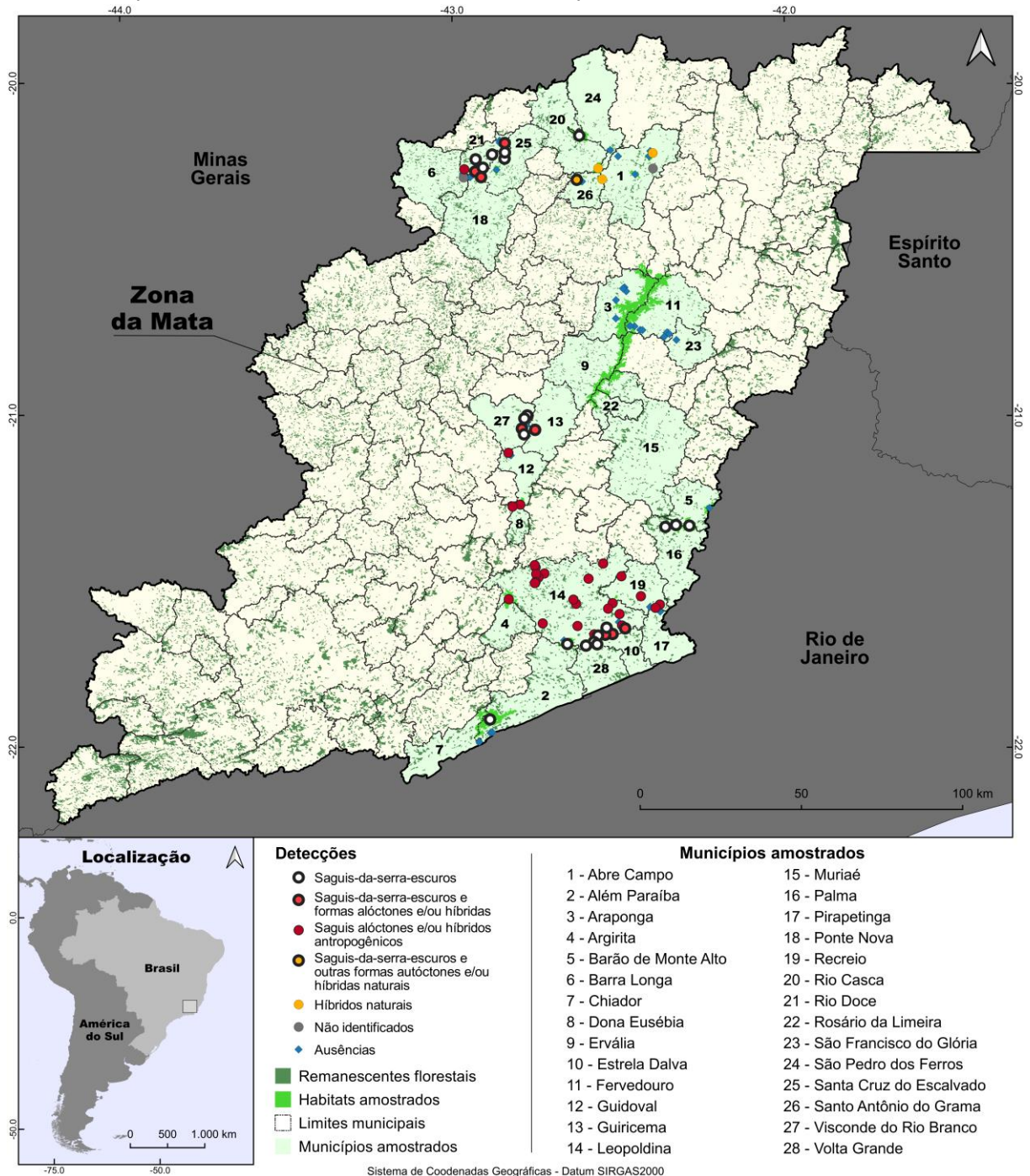


Figura 4 – Alguns fenótipos de saguis detectados: a e b – *Callithrix aurita*; c – *Callithrix penicillata*; d e – Híbridos antropogênicos entre *C. aurita* e *C. penicillata*; f – Híbrido natural entre *C. aurita* e *Callithrix flaviceps*



1.3.2 Variáveis ambientais

A amostra conteve manchas de habitat naturais e antropizadas, com tipos vegetacionais em diferentes estágios sucessionais e vetores de perturbação, incluindo pequenos adensamentos arbóreos e pomares. De acordo com a Tabela 2, houve grande amplitude de valores para a maior parte das variáveis ambientais, conferindo heterogeneidade à amostra.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas para cada variável ambiental componente do estudo: valores mínimos e máximos, médias, medianas e desvios padrão

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão
THab (Ha)	0,003	16037,07	310	32,9	1630
Alt (m)	160	1240,5	436	373	221
BIO1 (°C)	16,78	22,51	21,1	21,52	1,22
BIO2 (°C)	11,12	13,32	12,2	12,2	0,389
BIO3	60,78	64,03	62,7	62,8	0,604
BIO4	222,71	244,47	233	232,4	5,33
BIO5 (°C)	25,45	31,6	30	30,45	1,2
BIO6 (°C)	6,05	12,4	10,6	11	1,45
BIO7 (°C)	18,26	21	19,5	19,5	0,519
BIO8 (°C)	18,68	24,48	22,9	23,25	1,18
BIO9 (°C)	13,7	19,43	18	18,47	1,25
BIO10 (°C)	19,36	25,38	23,8	24,28	1,27
BIO11 (°C)	13,7	19,43	18	18,47	1,25
BIO12 (mm)	1238	1441	1290	1290	41,7
BIO13 (mm)	135	270,35	248	250	14,2
BIO14 (mm)	12	23	16,7	16	3,41
BIO15	71,76	82,82	78,26	77,85	2,99
BIO16 (mm)	648	723	668	665,33	14,6
BIO17 (mm)	39	83,33	56,5	59	10,6
BIO18 (mm)	488,1	609,12	529	528,5	26,7
BIO19 (mm)	39	83,33	56,5	59	10,6
VCult (%)	13	68	49	51	10,9
VHerb (%)	0	15	0,6	0	2,3
VArb (%)	0	92	6	0	15,3
VMis (%)	16	47	33	32	7,6
VCad (%)	0	99	13	7	20,7
VPer (%)	0	48	7	3	10,5

1.3.4 Análises

Na Tabela 3, são informados a composição da comunidade de saguis e os valores médios de cada variável ambiental por unidade amostral (i.e. fragmento de habitat). O resultado do teste de correlação de Pearson entre as variáveis ambientais a serem combinadas em GLMs pode ser observado na Tabela 4. Por apresentarem colinearidade elevada ($|r| > 0,7$) com as demais, foram desconsideradas as variáveis altitude (Alt), temperatura máxima do mês mais quente (BIO5), temperatura mínima do mês mais frio (BIO6), amplitude térmica anual média (BIO7), temperatura média do trimestre mais úmido (BIO8), temperatura média do trimestre mais seco (BIO9), temperatura média do trimestre mais quente (BIO10), temperatura média do trimestre mais frio (BIO11), precipitação do mês mais seco (BIO14), precipitação do trimestre mais úmido (BIO16), precipitação do trimestre mais seco (BIO17) e precipitação do trimestre mais frio (BIO19).

Tabela 3 – Amostra utilizada nas análises; Fid = Unidade amostral (i.e. fragmento de habitat); A = *Callithrix aurita*; O = Outros saguis do gênero *Callithrix*; THab = Tamanho do habitat (Ha); Alt = Altitude (m); BIO1 = Temperatura média anual (°C); BIO2 = Amplitude térmica diurna média (°C); BIO3 = Isotermalidade; BIO4 = Sazonalidade da temperatura; BIO5 = Temperatura máxima do mês mais quente (°C); BIO6 = Temperatura mínima do mês mais frio (°C); BIO7 = Amplitude térmica anual média (°C); BIO8 = Temperatura média do trimestre mais úmido (°C); BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco (°C); BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente (°C); BIO11 = Temperatura média do trimestre mais frio (°C); BIO12 = Precipitação anual (mm); BIO13 = Precipitação do mês mais úmido (mm); BIO14 = Precipitação do mês mais seco (mm); BIO15 = Sazonalidade da precipitação; BIO16 = Precipitação do trimestre mais úmido (mm); BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco (mm); BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente (mm); BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio (mm); VCult = Vegetação cultivada e manejada (%/100); VHerb = Vegetação herbácea (%/100); VArb = Vegetação arbustiva (%/100); VMis = Vegetação mista (%/100); VCad = Vegetação arbórea caducifólia (%/100); VPer = Vegetação arbórea perenifólia (%/100); X = Presença; Ø = Ausência

Fid	A	O	THab	Alt	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19	VCult	VHerb	VArb	VMis	VCad	VPer
1	Ø	Ø	16037	1052,6	17,45	12,25	62,96	231,02	26,242	6,7825	19,46	19,327	14,349	20,073	14,349	1406,1	251,7	22,725	72,124	706,67	81,15	549,65	81,15	0,2865	0,0045	0,31	0,1982	0,1117	0,3662
2	X	Ø	3641,1	397,85	20,88	11,12	60,9	233,39	29,492	11,235	18,258	23,414	17,898	23,721	17,898	1412,3	270,35	20,654	77,441	711,31	66	609,12	66	0,2785	0,0165	0,0154	0,1754	0,0431	0,4712
3	X	Ø	1204,4	372	21,75	12,27	63,25	222,71	30,53	11,13	19,4	23,466	18,755	24,277	18,755	1238,9	245,1	12,7	79,536	651,6	45,2	488,1	45,2	0,144	0	0,92	0,156	0,99	0,475
4	Ø	X	1017,8	310,67	21,64	11,7	62,65	229,09	30,392	11,717	18,675	23,222	18,7	24,467	18,7	1296,3	245,58	13,25	81,198	673,5	48,5	569,25	48,5	0,4275	0	0	0,2342	0,0525	0,2867
5	X	Ø	856,6	387,5	21,22	12,31	61,86	241,71	30,425	10,525	19,9	23,102	18,005	24,047	18,005	1331,5	252,5	22,5	74,49	670,25	72,75	527,25	72,75	0,465	0	0	0,335	0,0875	0,112
6	X	Ø	707,47	442,2	20,74	11,89	62,15	234,92	29,7	10,56	19,14	22,486	17,688	23,584	17,688	1345,2	261,2	19,4	78,224	686,6	61	565	61	0,328	0	0,88	0,222	0,86	0,238
7	Ø	X	550,93	468,92	21,03	11,71	62,65	227,58	29,742	11,05	18,692	22,63	18,072	23,792	18,072	1295,7	242	14	80,996	678,42	47,667	555,75	47,667	0,4708	0,0283	0,0425	0,2717	0,0542	0,1342
8	X	Ø	530,95	396,33	21,3	12,26	62,02	240,43	30,458	10,692	19,767	23,153	18,102	24,122	18,102	1332,7	253,33	22,083	74,876	672,67	71,583	529,5	71,583	0,5083	0	0,0117	0,2842	0,0525	0,1417
9	Ø	X	520,83	388,5	21,19	12,14	62,47	237,26	30,262	10,825	19,437	22,922	18,086	24,051	18,086	1318,6	252,87	21	77,211	672,5	64,125	543,12	64,125	0,5025	0	0	0,3025	0,11	0,0875
10	Ø	X	489,46	681,8	20,09	12,41	63,32	228,98	28,84	9,24	19,6	21,906	16,994	22,66	16,994	1311,8	251,2	17,6	75,854	675,4	61,8	509,6	61,8	0,502	0	0,26	0,31	0,46	0,122
11	Ø	Ø	488,29	519,2	20,78	12,24	62,1	240,11	29,9	10,18	19,72	22,68	17,586	23,792	17,586	1317,2	246,4	22	73,346	659,2	74	516,8	74	0,502	0	0	0,22	0,05	0,228
12	Ø	X	334,74	252,29	22,01	11,81	62,83	229,78	30,8	12	18,8	23,527	19,061	24,578	19,061	1265,7	239	12	81,354	659,14	47	555	47	0,3871	0	0,0343	0,2929	0,0329	0,1771
13	Ø	Ø	301,38	585,67	20,31	12,53	63,58	226,34	29,1	9,4	19,7	22,12	17,25	22,85	17,25	1277	241	16	75,43	656	59	494	59	0,13	0,15	0	0,38	0,14	0,21
14	X	X	295,97	283,67	21,74	12,19	62,22	239,74	30,867	11,267	19,6	23,5	18,583	24,613	18,583	1291	250,17	20,167	76,64	654,33	63,5	525,5	63,5	0,3733	0,0417	0	0,2683	0,1067	0,215
15	X	X	279,74	281	21,6	12,17	62,41	237,34	30,683	11,183	19,5	23,345	18,492	24,453	18,492	1297,8	251,83	20,333	76,955	658,17	63,167	532,5	63,167	0,57	0	0	0,3317	0,0483	0,0533
16	Ø	Ø	249,73	679,5	19,82	12,57	63,65	227,92	28,65	8,9	19,75	21,625	16,745	22,39	16,745	1308	246	17,5	74,635	668	64	503,5	64	0,305	0	0,11	0,345	0,115	0,1
17	Ø	X	242,08	347	21,38	12,15	62,95	233,62	30,4	11,1	19,3	23,03	18,35	24,23	18,35	1309	247	18	78,42	670	58	552	58	0,47	0	0	0,35	0,13	0,05
18	Ø	Ø	225,79	468,33	21,41	12,23	62,81	228,59	30,133	10,667	19,467	23,19	18,323	23,97	18,323	1258	258	14	81,607	670,33	43,667	501,33	43,667	0,5267	0,0467	0	0,3267	0,0967	0
19	X	Ø	208,23	321	21,51	12,16	62,5	236,22	30,62	11,16	19,46	23,224	18,43	24,372	18,43	1301,4	251,8	20	77,36	661,6	62,2	538	62,2	0,584	0	0	0,334	0,32	0,48
20	X	X	176,22	350,5	21,33	12,19	62,52	236,55	30,45	10,95	19,5	23,07	18,23	24,18	18,23	1309	254,5	20	77,19	666	63,5	538,5	63,5	0,475	0	0	0,335	0,85	0,115
21	X	X	175,55	400	21,76	12,25	63,13	224,62	30,5	11,1	19,4	23,5	18,727	24,28	18,726	1246,3	257,67	13	82,623	668,67	40,333	498,33	40,333	0,5667	0	0,02	0,3033	0,0433	0,07
22	X	Ø	171,56	268,33	22,01	12,2	61,94	238,89	31,15	11,45	19,7	23,79	18,827	24,84	18,827	1319,2	252,83	21,167	76,237	669,83	66,5	528,67	66,5	0,58	0	0,0083	0,32	0,0767	0,15
23	Ø	Ø	166,76	400,5	21,59	12,06	62,5	227,83	30,3	11	19,3	23,34	18,515	24,135	18,515	1260,7	257,75	13,25	81,885	671,25	42,75	507,75	42,75	0,405	0	0,08	0,3075	0	0,2175
24	Ø	X	160,72	521	20,48	11,86	62,41	232,61	29,4	10,4	19,9	22,18	17,47	23,3	17,47	1365	262	19	78,85	700	60	580	60	0,51	0	0	0,33	0,11	0,05
25	Ø	X	127,73	386,5	21,67	12,09	62,63	227,44	30,4	11,1	19,3	23,42	18,6	24,225	18,6	1249	257	12,5	82,44	668,5	40,5	502	40,5	0,45	0	0,115	0,28	0,85	0,06
26	X	X	125,25	485,67	21,45	12,03	62,66	228,24	30,067	10,867	19,2	23,21	18,367	23,993	18,367	1278,7	261,33	14	81,38	678,67	45,333	514,33	45,333	0,4467	0	0,2233	0,28	0,06	0
27	Ø	Ø	116,15	492,5	21,03	12,48	63,35	225,61	29,85	10,15	19,7	22,8	17,985	23,575	17,985	1274,5	246	15	76,97	660	54	495,5	54	0,475	0,03	0,75	0,365	0,35	0,02
28	Ø	Ø	113,31	312	21,67	12,41	62,06	243,48	30,95	10,95	20	23,525	18,45	24,54	18,45	1295	250,5	21,5	75,845	654,5	66,5	518	66,5	0,505	0	0	0,33	0,1	0,06
29	X	X	99,315	384,5	21,77	12,09	62,63	227,44	30,5	11,2	19,3	23,52	18,7	24,325	18,7	1248,5	256,5	12,5	82,36	668	40,5	501,5	40,5	0,55	0	0,125	0,27	0,05	0
30	Ø	Ø	86,646	1182,3	16,89	12,38	63,59	229,28	25,567	6,1	19,467	18,803	13,807	13,807	1441	258,67	21,5	71,757	721,67	83,333	562,33	83,333	0,2133	0,0267	0,09	0,35	0,2033	0,1167	
31	Ø	Ø	77,924	609	20,35	12,55	64,03	224,9	29,1	9,5	19,6	22,13	17,3	22,88	17,3	1272	240	15	75,76	654	56	492	56	0,39	0	0	0,34	0,09	0,19
32	X	X	73,788	361,22	21,68	12,24	62,72	231,62	30,611	11,089	19,522	23,324	18,633	24,44	18,633	1258,6	236,78	13,444	81,733	665,33	45	531,67	45	0,4956	0	0,08	0,39111	0,0256	0,0067
33	Ø	Ø	72,209	438,25	21,29	12,43	63,25	227,66	30,1	10,45	19,65	23,055	18,215	23,85	18,215	1260,5	245,5	14,5	78,365	658,5	51,5	597	51,5	0,43	0,05	0,06	0,34	0,125	0
34	X	X	71,776	389,75	21,55	12,44	63,28	227,34	30,4	10,75	19,65	23,315	18,487	24,11	18,487	1247,5	244,75	13,5	79,147	654,5	47,75	493,5	47,75	0,42	0,0325	0	0,3425	0,1175	0,0825
35	X	Ø	68,046	343,5	21,49	12,16	62,21	237,72	30,65	11,1	19,55	23,23	18,4	24,37	18,4	1303,5	254	20	77,81	663	60	542	60	0,64	0	0	0,18	0,135	0,05
36	Ø	Ø	67,184	724,25	19,22	13,29	63,57	238,62	28,8	7,9	20,9	21,145	16,027	21,95	16,027	1289,5	235,25	15	74,49	660,5	64,25	499,75	64,25	0,495	0	0,25	0,33	0,0075	0,135
37	X	Ø	61,184	320	21,44	12,18	62,12	238,55	30,6	11	19,6	23,18	18,33	24,32	18,33	1305	255	20	77,85	664	60	542	60	0,57	0	0	0,25	0,09	0,1
38	X	Ø	52,294	338	21,49	12,23	62,41	236,67	30,6	11	19,6	23,22	18,4	24,35	18,4	1299	251	20	77,45	662	62	536	62	0,56	0	0	0,31	0,06	0,07
39	Ø	X	50,145	373	21,85	12,4	62	243,7	31,1	11,1	20	23,72	18,63	24,73	18,63	1290	250	21	75,74	651	67	515	67	0,6	0	0	0,33	0,07	0

Continua

Continuação

Fid	A	O	THab	Alt	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19	VCult	VHerb	VArb	VMis	VCad	VPer
40	Ø	Ø	45,616	441,5	20,82	11,88	62,22	234	29,8	10,7	19,1	22,53	17,78	23,67	17,78	1339	261	20	78,56	685	60	563	60	0,15	0	0,05	0,3	0,07	0,18
41	Ø	Ø	45,532	372	21,67	12,43	63,44	227,6	30,5	10,9	19,6	23,43	18,6	24,23	18,6	1243	244	13	79,38	653	47	493	47	0,39	0	0	0,36	0,14	0,1
42	X	X	44,818	346,4	21,7	12,38	62,84	231,66	30,7	11	19,7	23,354	18,658	24,46	18,658	1263,6	238,2	14	81,4	667,2	47	531,6	47	0,584	0	0	0,348	0,64	0
43	Ø	Ø	40,169	436	21,52	12,2	63,21	225,62	30,2	10,9	19,3	23,28	18,47	24,03	18,47	1252	259	13	82,49	671	41	500	41	0,56	0	0,05	0,3	0,09	0
44	X	Ø	39,078	407,67	21,59	12,4	62,84	233,19	30,6	10,867	19,733	23,273	18,51	24,34	18,51	1254,7	238,67	13	81,68	664,67	46	525,33	46	0,53	0	0	0,47	0	0
45	X	Ø	37,006	481	21,01	12,04	62,72	227,06	29,6	10,4	19,2	22,78	17,93	23,53	17,93	1296	266	15	81,35	688	46	519	46	0,48	0	0,06	0,3	0,05	0,11
46	Ø	Ø	36,313	319	21,52	11,18	60,78	234,42	30,2	11,8	18,4	24,1	18,53	24,38	18,53	1386	259	21	76,21	694	66	599	66	0,51	0	0	0,32	0,09	0,09
47	Ø	Ø	34,676	523	21,62	12,27	62,95	228,57	30,4	10,9	19,5	23,4	18,53	24,18	18,53	1256	257	14	81,45	668	44	500	44	0,53	0	0	0,47	0	0
48	Ø	X	34,296	256	22,01	11,83	62,94	228,71	30,8	12	18,8	23,5	19,08	24,87	19,08	1274	241	13	80,76	662	50	557	50	0,61	0	0	0,31	0,08	0
49	Ø	Ø	34,032	466	21,16	12,52	63,54	225,54	30	10,3	19,7	22,93	18,12	23,7	18,12	1256	242	13	77,32	651	52	490	52	0,6	0	0,08	0,3	0,03	0
50	Ø	X	33,738	399	20,91	12,13	62,54	236,3	30	10,6	19,4	22,63	17,83	23,77	17,83	1330	257	18	78,48	681	59	558	59	0,48	0	0,09	0,29	0,07	0,07
51	Ø	Ø	32,899	405	21,52	12,29	62,73	232,18	30,5	10,9	19,6	23,18	18,473	24,287	18,473	1261	239	13,333	81,68	667	45	530	45	0,51	0	0,03	0,46	0	0
52	Ø	X	31,129	390,5	21,55	12,12	62,8	231,38	30,4	11,1	19,3	23,19	18,525	24,32	18,525	1270,5	237	13,5	81,71	670,5	46	541,5	46	0,625	0	0	0,315	0,06	0
53	Ø	Ø	30,776	491	21,52	12,2	63,21	225,62	30,2	10,9	19,3	23,28	18,47	24,03	18,47	1252	259	13	82,49	671	41	500	41	0,56	0	0,05	0,3	0,09	0
54	Ø	Ø	30,02	853,33	19,02	13,32	63,45	239,63	28,6	7,6	21	20,95	15,8	21,75	15,8	1302	135	16	73,7	664	68	504	68	0,6	0	0	0,32	0,08	0
55	Ø	Ø	29,802	915	18,54	12,9	63,53	234,62	27,65	7,35	20,3	20,425	15,37	21,175	15,37	1324	243,5	15,5	74,95	679	63,5	516,5	63,5	0,57	0	0	0,385	0,45	0
56	X	Ø	29,675	400	21,7	12,35	62,87	232,4	30,7	11,05	19,65	23,365	18,645	24,45	18,645	1258	238	13,5	81,38	664,5	47	528	47	0,605	0	0	0,31	0,05	0,04
57	Ø	Ø	29,33	1240,5	16,78	12,3	63,4	228,9	25,45	6,05	19,5	18,675	13,7	19,36	13,7	1434,5	258,5	23	72,555	723	80	563	80	0,37	0	0,06	0,33	0,85	0,155
58	Ø	Ø	28,136	535	20,95	12,06	62,8	225,74	29,6	10,4	19,2	22,72	17,9	23,48	17,9	1305	268	15	81,23	692	46	522	46	0,56	0	0,11	0,3	0	0,04
59	Ø	Ø	27,292	312	21,56	12,2	62,4	238,33	30,7	11,15	19,55	23,32	18,45	24,43	18,45	1301	253,5	20	77,64	659,5	60	541	60	0,57	0	0	0,385	0,45	0
60	X	X	26,901	348,5	21,81	12,11	62,77	227,87	30,525	11,225	19,3	23,575	18,745	24,37	18,745	1243,7	254,5	13	81,912	663,25	43,25	499,25	43,25	0,49	0	0,155	0,225	0,1225	0
61	Ø	Ø	20,246	366	21,69	12,15	62,72	231,29	30,567	11,2	19,367	23,313	18,673	24,473	18,673	1268,3	236	13	81,89	670	45,333	542	45,333	0,6033	0	0	0,3167	0,0733	0
62	Ø	Ø	19,613	291	21,67	12,16	62,67	236,95	30,7	11,3	19,4	23,4	18,57	24,52	18,57	1295	250	20	77,23	659	62	531	62	0,63	0	0	0,3	0,06	0
63	X	Ø	19,291	368	21,62	12,28	62,95	231,22	30,5	11	19,5	23,27	18,58	24,38	18,58	1263	238	14	81,49	667	46	532	46	0,51	0,14	0	0,24	0	0
64	Ø	Ø	18,948	229	22,04	12,22	62,01	239,04	31,2	11,5	19,7	23,83	18,87	24,87	18,87	1314	252	21	76,44	668	66	528	66	0,53	0	0	0,31	0,07	0,09
65	Ø	Ø	16,809	221,5	22,11	12,33	61,65	244,46	31,35	11,35	20	23,96	18,87	24,98	18,87	1289,5	249,5	20	75,38	648	68,5	513	68,5	0,445	0	0,125	0,4	0,35	0
66	Ø	X	16,693	254	21,87	12,12	62,46	237,04	30,9	11,5	19,4	23,58	18,76	24,725	18,76	1286,5	247,5	19,5	77,545	656,5	60	528,5	60	0,56	0	0	0,385	0,02	0,03
67	Ø	X	16,597	577	20,36	12,61	63,68	226,45	29,2	9,4	19,8	22,17	17,3	22,9	17,3	1272	239	15	75,64	653	56	494	56	0,24	0,06	0,09	0,37	0,23	0
68	Ø	X	15,736	251,5	21,96	12,4	62	243,57	31,2	11,2	20	23,815	18,725	24,825	18,725	1282	249	20	76,22	650	65	511,5	65	0,53	0	0,05	0,375	0,45	0
69	Ø	X	15,617	271	21,99	11,84	62,99	230,05	30,8	12	18,8	23,52	19,03	24,85	19,03	1269	239	12	81,39	661	47	556	47	0,53	0	0,12	0,29	0	0,06
70	X	Ø	14,087	306	22,06	12,27	63,23	224,76	30,8	11,4	19,4	23,8	19,03	24,58	19,03	1241	254	13	82,04	663	42	497	42	0,68	0	0	0,33	0	0
71	Ø	X	12,68	645,5	20,3	12,43	63,07	227,97	29,1	9,4	19,7	22,1	17,22	22,87	17,22	1306	249	18	75,37	670	63	505	63	0,58	0	0	0,26	0,16	0
72	Ø	X	11,105	196	22,28	12,17	63,04	234,15	31,3	12	19,3	23,88	19,25	25,17	19,25	1269	233	16	79,03	653	54	538	54	0,53	0	0	0,47	0	0
73	X	Ø	10,716	448	21,62	12,27	62,95	228,57	30,4	10,9	19,5	23,4	18,53	24,18	18,53	1256	257	14	81,45	668	44	500	44	0,53	0	0	0,47	0	0
74	Ø	Ø	10,446	339	21,72	12,36	63,05	232,05	30,7	11,1	19,6	23,4	18,67	24,47	18,67	1256	238	13	81,6	664	46	528	46	0,64	0	0	0,3	0,04	0,03
75	X	Ø	9,982	331	21,88	12,13	62,87	225,77	30,6	11,3	19,3	23,62	18,83	24,42	18,83	1243	256	12	82,82	668	39	500	39	0,48	0	0,15	0,21	0	0
76	Ø	Ø	8,695	987,5	17,62	12,39	62,9	233,55	26,6	6,9	19,7	19,52	14,48	20,27	14,48	1367	245	20	72,37	689	75	530	75	0,58	0	0	0,31	0	0,11
77	Ø	Ø	8,397	874	18,65	12,98	63,6	234,12	27,8	7,4	20,4	20,53	15,48	21,27	15,48	1315	244	16	75,72	679	62	513	62	0,51	0	0	0,46	0,03	0
78	Ø	X	8,158	249	21,73	11,6	62,7	226,17	30,3	11,8	18,5	23,25	18,8	24,5	18,8	1276	241	13	81,46	669	47	555	47	0,53	0	0	0,47	0	0
79	Ø	Ø	6,385	748	19,03	13,28	63,56	238,63	28,6	7,7	20,9	20,97	15,83	21,75	15,83	1297	235	15	73,91	662	66	501	66	0,43	0	0,13	0,32	0,09	0,04
80	Ø	Ø	5,708	196	21,93	11,18	61,11	232,78	30,6	12,3	18,3	24,48	18,97	24,78	18,97	1355	252	21	75,59	676	66	581	66	0,49	0	0,09	0,25	0,09	0,09
81	Ø	Ø	5,354	907	18,36	12,87	63,7	232,71	27,4	7,2	20,2	20,25	15,22	20,97	15,22	1329	245	16	75,19	684	65	519	65	0,47	0	0	0,46	0,04	0,03
82	Ø	Ø	5,333	684	19,73	13,28	63,56	238,07	29,3	8,4	20,9	21,65	16,53	22,45	16,53	1276	234	17	74,99	655	63	497	63	0,53	0	0	0,47	0	0
83	Ø	Ø	5,062	177	21,75	11,2	61,2	232,07	30,4	12,1	18,3	24,28	18,78	24,58	18,78	1367	255	21	76,01	684	65	588	65	0,58	0	0,04	0,3	0,06	0,02
84	Ø	Ø	4,383	853	18,3	12,76	63,16	236	27,5	7,3	20,2	20,2	15,13	21	15,13	1337	240	18	72,7	677	73	516	73	0,64	0	0	0,31	0,05	0
85	Ø	Ø	3,705	304	21,47	12,15	62,31	237,15	30,6	11,1	19,5	23,2	18,37	24,33	18,37	1298	253	19	78,36	663	57								

Conclusão

Fid	A	O	THab	Alt	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19	VCult	VHerb	VArb	VMis	VCad	VPer
90	Ø	Ø	2,288	333	21,48	12,03	62,67	228,41	30,1	10,9	19,2	23,25	18,4	24,03	18,4	1276	261	14	81,47	678	45	513	45	0,53	0	0,21	0,24	0,03	0
91	Ø	X	1,56	327	21,36	12,21	62,29	237,65	30,5	10,9	19,6	23,1	18,25	24,22	18,25	1303	253	21	77,37	664	63	536	63	0,56	0	0	0,31	0,08	0,05
92	Ø	X	1,432	258	22,13	11,78	63,01	227,9	30,9	12,2	18,7	23,58	19,22	24,98	19,22	1266	240	12	80,92	657	48	556	48	0,53	0	0	0,47	0	0
93	Ø	X	1,079	276	21,5	12,17	62,39	237,39	30,6	11,1	19,5	23,22	18,4	24,37	18,4	1304	253	20	77,7	664	61	541	61	0,62	0	0	0,32	0,05	0
94	Ø	X	0,665	200	22,14	11,76	62,88	228,58	30,9	12,2	18,7	23,62	19,22	25	19,22	1262	239	13	81,04	655	49	555	49	0,3	0	0	0,21	0,03	0,22
95	Ø	X	0,617	178	22,35	11,79	63,06	229,2	31,1	12,4	18,7	23,83	19,42	25,22	19,42	1254	237	12	81,04	651	47	551	47	0,49	0	0	0,46	0,05	0
96	Ø	X	0,48	160	22,51	12,15	62,63	235,44	31,5	12,1	19,4	24,13	19,43	25,38	19,43	1262	233	17	79,15	651	53	531	53	0,51	0	0,03	0,46	0	0
97	Ø	X	0,259	242	21,55	12,16	62,67	236,08	30,6	11,2	19,4	23,25	18,47	24,42	18,47	1302	249	21	77,6	665	63	539	63	0,51	0	0	0,23	0,26	0
98	Ø	X	0,094	209	22,4	12,35	63,01	236,4	31,5	11,9	19,6	24,08	19,3	25,27	19,3	1276	240	19	77,83	652	59	527	59	0,53	0	0	0,47	0	0
99	Ø	X	0,076	271	21,99	11,84	62,99	230,05	30,8	12	18,8	23,52	19,03	24,85	19,03	1269	239	12	81,39	661	47	556	47	0,53	0	0,12	0,29	0	0,06
100	X	Ø	0,022	282	21,59	12,18	62,44	237,8	30,7	11,2	19,5	23,33	18,48	24,45	18,48	1298	252	19	77,88	659	59	542	59	0,51	0	0	0,46	0,03	0
101	Ø	X	0,003	186	22,37	12,43	62,17	244,07	31,6	11,6	20	24,17	19,15	25,27	19,15	1281	245	20	76,35	648	64	517	64	0,51	0	0	0,46	0,03	0

Tabela 4 – Matriz de correlação entre as camadas ambientais, obtida através do teste de correlação de Pearson; THab = Tamanho do habitat; Alt = Altitude; VCult = Vegetação cultivada e manejada; VHerb = Vegetação herbácea; VArb = Vegetação arbustiva; VMis = Vegetação mista; VCad = Vegetação arbórea caducifólia; VPer = Vegetação arbórea perenifólia; BIO1 = Temperatura média anual; BIO2 = Amplitude térmica diurna média; BIO3 = Isotermalidade; BIO4 = Sazonalidade da temperatura; BIO5 = Temperatura máxima do mês mais quente; BIO6 = Temperatura mínima do mês mais frio; BIO7 = Amplitude térmica anual média; BIO8 = Temperatura média do trimestre mais úmido; BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente; BIO11 = Temperatura média do trimestre mais frio; BIO12 = Precipitação anual; BIO13 = Precipitação do mês mais úmido; BIO14 = Precipitação do mês mais seco; BIO15 = Sazonalidade da precipitação; BIO16 = Precipitação do trimestre mais úmido; BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco; BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente; BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio; Colinearidades elevadas ($|r| > 0,7$) destacadas em negrito

	THab	Alt	VCult	VHerb	VArb	VMis	VCad	VPer	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
THab	1	0,27	-0,28	0,01	0,21	-0,26	0,03	0,43	-0,29	-0,07	-0,04	-0,03	-0,31	-0,24	-0,07	-0,28	-0,28	-0,23	-0,23	0,25	0,03	0,16	-0,21	0,22	0,23	0,10	0,23
Alt	0,27	1	-0,24	0,08	0,10	0,02	0,16	0,10	-0,10	0,56	0,52	-0,13	-0,97	-0,97	0,48	-0,96	-0,97	-0,98	-0,96	0,50	-0,14	0,08	-0,55	0,58	0,44	-0,18	0,44
VCult	-0,28	-0,24	1	-0,36	-0,39	0,16	-0,29	-0,57	0,25	0,05	-0,14	0,25	0,30	0,21	0,11	0,25	0,24	0,25	0,22	-0,19	-0,11	-0,02	0,18	-0,18	-0,13	-0,03	-0,13
VHerb	0,01	0,08	-0,36	1	-0,01	-0,04	-0,02	0,06	-0,06	0,08	0,18	-0,19	-0,08	-0,08	0,03	-0,06	-0,05	-0,08	-0,06	-0,07	-0,06	-0,09	-0,03	-0,05	-0,05	-0,06	-0,05
VArb	0,21	0,10	-0,39	-0,01	1	-0,04	0,51	0,32	-0,07	0,01	0,11	-0,26	-0,11	-0,08	-0,03	-0,07	-0,07	-0,09	-0,06	-0,04	0,09	-0,11	0,01	0,04	-0,08	-0,15	-0,08
VMis	-0,26	0,02	0,16	-0,04	-0,31	1	-0,19	-0,48	0,00	0,30	0,26	0,13	0,04	-0,06	0,26	-0,03	-0,01	-0,02	-0,03	-0,13	-0,18	-0,10	-0,03	-0,18	-0,02	-0,10	-0,02
VCad	0,03	0,16	-0,29	-0,02	0,51	-0,19	1	0,28	-0,16	0,06	0,03	-0,04	-0,16	-0,16	0,06	-0,16	-0,16	-0,16	-0,15	0,13	0,11	0,15	-0,15	0,10	0,13	-0,05	0,14
VPer	0,43	0,10	-0,57	0,06	0,32	-0,48	0,28	1	-0,15	-0,23	-0,17	-0,05	-0,17	-0,07	-0,21	-0,12	-0,14	-0,09	-0,09	0,28	0,13	0,23	-0,20	0,17	0,23	0,18	0,24
BIO1	-0,29	-0,97	0,25	-0,06	-0,07	0,00	-0,16	-0,15	1	-0,50	-0,42	0,00	0,98	0,98	-0,45	0,99	1	0,99	0,99	-0,63	0,13	-0,23	0,67	-0,60	-0,59	0,04	-0,58
BIO2	-0,07	0,56	0,05	0,08	0,01	0,30	0,06	-0,23	-0,50	1	0,65	0,21	-0,39	-0,67	0,96	-0,54	-0,54	-0,53	-0,55	-0,14	-0,43	-0,06	-0,41	-0,22	0,22	-0,65	0,22
BIO3	-0,04	0,52	-0,14	0,18	0,11	0,26	0,03	-0,17	-0,42	0,65	1	-0,50	-0,44	-0,51	0,42	-0,51	-0,41	-0,49	-0,43	-0,32	-0,34	-0,56	0,03	-0,08	-0,23	-0,51	-0,24
BIO4	-0,03	-0,13	0,25	-0,19	-0,26	0,13	-0,04	-0,05	0,00	0,21	-0,50	1	0,16	-0,02	0,43	0,03	-0,05	0,08	-0,04	0,33	-0,14	0,72	-0,53	-0,18	0,66	0,17	0,65
BIO5	-0,31	-0,97	0,30	-0,08	-0,11	0,04	-0,16	-0,17	0,98	-0,39	-0,44	0,16	1	0,94	-0,31	0,97	0,97	0,98	0,97	-0,62	0,06	-0,15	0,58	-0,67	-0,49	0,02	-0,49
BIO6	-0,24	-0,97	0,21	-0,08	-0,08	-0,06	-0,16	-0,07	0,98	-0,67	-0,51	-0,02	0,94	1	-0,62	0,97	0,98	0,98	0,98	-0,49	0,19	-0,17	0,66	-0,47	-0,54	0,23	-0,53
BIO7	-0,07	0,48	0,11	0,03	-0,03	0,26	0,06	-0,21	-0,45	0,96	0,42	0,43	-0,31	-0,62	1	-0,47	-0,49	-0,46	-0,50	-0,05	-0,40	0,13	-0,50	-0,23	0,35	-0,59	0,35
BIO8	-0,28	-0,96	0,25	-0,06	-0,07	-0,03	-0,16	-0,12	0,99	-0,54	-0,51	0,03	0,97	0,97	-0,47	1	0,99	0,98	0,98	-0,56	0,16	-0,16	0,61	-0,56	-0,53	0,07	-0,53
BIO9	-0,28	-0,97	0,24	-0,05	-0,07	-0,01	-0,16	-0,14	1	-0,54	-0,41	-0,05	0,97	0,98	-0,49	0,99	1	0,99	0,99	-0,62	0,14	-0,25	0,69	-0,58	-0,61	0,07	-0,60
BIO10	-0,23	-0,98	0,25	-0,08	-0,09	-0,02	-0,16	-0,09	0,99	-0,53	-0,49	0,08	0,98	0,98	-0,46	0,98	0,99	1	0,99	-0,57	0,12	-0,14	0,62	-0,60	-0,51	0,11	-0,50
BIO11	-0,23	-0,96	0,22	-0,06	-0,06	-0,03	-0,15	-0,09	0,99	-0,55	-0,43	-0,04	0,97	0,98	-0,50	0,98	0,99	0,99	1	-0,62	0,15	-0,23	0,69	-0,58	-0,59	0,07	-0,58
BIO12	0,25	0,50	-0,19	-0,07	-0,04	-0,13	0,13	0,28	-0,63	-0,14	-0,32	0,33	-0,62	-0,49	-0,05	-0,51	-0,62	-0,57	-0,62	1	0,19	0,71	-0,69	0,76	0,81	0,56	0,80
BIO13	0,03	-0,14	-0,11	-0,06	0,09	-0,18	0,11	0,13	0,13	-0,43	-0,34	-0,14	0,06	0,19	-0,40	0,16	0,14	0,12	0,15	0,19	1	0,21	0,15	0,32	-0,06	0,14	-0,06
BIO14	0,16	0,08	-0,02	-0,09	-0,11	-0,10	0,15	0,23	-0,23	-0,06	-0,56	0,72	-0,15	-0,17	0,13	-0,16	-0,25	-0,14	-0,23	0,71	0,21	1	-0,74	0,22	0,85	0,33	0,86
BIO15	-0,21	-0,55	0,18	-0,03	0,01	-0,03	-0,15	-0,20	0,67	-0,41	0,03	-0,53	0,58	0,66	-0,50	0,61	0,69	0,62	0,69	-0,69	0,15	-0,74	1	-0,20	-0,95	-0,05	-0,95
BIO16	0,22	0,58	-0,18	-0,05	0,04	-0,18	0,10	0,17	-0,60	-0,22	-0,08	-0,18	-0,67	-0,47	-0,23	-0,56	-0,58	-0,60	-0,58	0,76	0,32	0,22	-0,20	1	0,29	0,44	0,28
BIO17	0,23	0,44	-0,13	-0,05	-0,08	-0,02	0,13	0,23	-0,59	0,22	-0,23	0,66	-0,49	-0,54	0,35	-0,53	-0,61	-0,51	-0,59	0,81	-0,06	0,85	-0,95	0,29	1	0,25	1
BIO18	0,10	-0,18	-0,03	-0,06	-0,15	-0,10	-0,05	0,18	0,04	-0,65	-0,51	0,17	0,02	0,23	-0,59	0,07	0,07	0,11	0,07	0,56	0,14	0,33	-0,05	0,44	0,25	1	0,25
BIO19	0,23	0,44	-0,13	-0,05	-0,08	-0,02	0,14	0,24	-0,58	0,22	-0,24	0,65	-0,49	-0,53	0,35	-0,53	-0,60	-0,50	-0,58	0,80	-0,06	0,86	-0,95	0,28	1	0,25	1

Dezesseis variáveis independentes menos colineares (ocorrência de outros *Callithrix* spp. (Outros), tamanho do habitat (THab), temperatura média anual (BIO1), amplitude térmica diurna média (BIO2), isotermalidade (BIO3), sazonalidade da temperatura (BIO4), precipitação anual (BIO12), precipitação do mês mais úmido (BIO13), sazonalidade da precipitação (BIO15), precipitação do trimestre mais quente (BIO18), vegetação cultivada e manejada (VCult), vegetação herbácea (VHerb), vegetação arbustiva (VArb), vegetação mista (VMis), vegetação arbórea perenifólia (VPer) e vegetação arbórea caducifólia (VCad)) foram combinadas em 65.535 diferentes GLMs. Dentre esses, o que melhor explicou a ocorrência de *C. aurita* na amostra, de acordo com os resultados do critério de seleção de Akaike (Akaike, 1974), combinou a amplitude térmica diurna média (BIO2), a isotermalidade (BIO3), a sazonalidade da precipitação (BIO15) e a porcentagem de vegetação arbórea perenifólia (VPer) (Tabela 5).

Tabela 5 – Lista dos 10 modelos mais bem avaliados por meio do critério de seleção de Akaike (Akaike, 1974); AIC = Critério de seleção de Akaike; Δ AIC = Diferença de AIC para o modelo melhor avaliado; AICwt = Peso da evidência em favor do modelo; Modelo mais plausível destacado em negrito

Fórmula	AIC	Δ AIC	AICwt
BIO2 + BIO3 + BIO15 + VPer	95,93635	0	0,0016995815
BIO1 + BIO2 + BIO3 + BIO4 + BIO12 + BIO15 + VPer	96,35600	0,4196503	0,0013778949
BIO2 + BIO3 + BIO13 + BIO15 + VPer	96,79015	0,8537980	0,0011090270
BIO2 + BIO3 + BIO15 + VHerb + VPer	96,97771	1,0413622	0,0010097482
BIO1 + BIO2 + BIO3 + BIO13 + BIO15 + VPer	97,04709	1,1107378	0,0009753227
BIO2 + BIO3 + BIO15 + VCult + VPer	97,06789	1,1315417	0,0009652301
BIO2 + BIO3 + BIO4 + BIO15 + VPer	97,07287	1,1365230	0,0009628290
BIO1 + BIO2 + BIO3 + BIO4 + BIO12 + BIO15 + VMis + VPer	97,22884	1,2924943	0,0008905954
BIO1 + BIO2 + BIO3 + BIO15 + VPer	97,25466	1,3183143	0,0008791717
BIO1 + BIO2 + BIO3 + BIO4 + BIO15 + VPer	97,37527	1,4389170	0,0008277232

O modelo mais plausível indica que a sazonalidade da precipitação foi o preditor mais importante ($X^2(1) = 15,21$; $P < 0,001$), tendo associação positiva com a ocorrência do sagui-da-serra-escuro (OR = 2,12). O segundo preditor com maior importância foi a isotermalidade ($X^2(1) = 12$; $P < 0,001$) com influência negativa sobre a presença da espécie (OR = 0,03). A amplitude térmica diurna média foi o terceiro preditor mais importante ($X^2(1) = 11,06$; $P < 0,001$), cujo efeito foi positivo (OR = 302,36), embora a aparente limitação da ocorrência da espécie a amplitudes menores que 12,5°C e o grande intervalo de confiança em amplitudes mais baixas gerem uma curva de resposta decrescente (ver adiante). A porcentagem de vegetação arbórea

perene também teve importância significativa ($X^2(1) = 8,95$; $P < 0,01$), associando-se positivamente com a ocorrência de *C. aurita* (OR = 41.066) (Tabela 6).

Tabela 6 – Efeito e significância das variáveis preditoras sobre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro no modelo selecionado. * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$

Variável	OR	IC 95%	$X^2(1)$	P	
Sazonalidade da precipitação	2,115692	1,451735 – 3,083313	15,2086	0,00009626	***
Isotermalidade	0,0305482	0,004205662 – 0,2194155	11,9957	0,0005332	***
Amplitude térmica diurna média	302,3585	10,43968 – 8.757,032	11,0608	0,0008817	***
Vegetação arbórea perene	41.066	39,01803 – 43.221.450	8,9516	0,0027722	**
Intercepto	$2,403449 \times 10^{38}$	$142.338,9 – 4,05832 \times 10^{71}$	5,13	0,023578	*

Nos gráficos da Figura 5 são observadas as curvas de resposta média das relações entre a presença da espécie e a sazonalidade da precipitação (Figura 5a), a isotermalidade (Figura 5b), a amplitude térmica diurna média (Figura 5c) e a porcentagem de vegetação arbórea perene (Figura 5d). A distribuição de cada uma destas variáveis na área de estudo é apresentada na Figura 6 (Figuras 6a a 6d). Para facilitar a interpretação das informações, os índices de sazonalidade da precipitação e de isotermalidade foram divididos por 10, sendo convertidos para porcentagens.

Figura 5 – a – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a sazonalidade da precipitação; b – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a isotermalidade; c – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a amplitude térmica diurna média; d – Relação entre a ocorrência do sagui-da-serra-escuro e a porcentagem de vegetação arbórea perene; Pontos representam as amostras, valores médios de probabilidade de ocorrência em marrom escuro e desvios padrão em marrom claro; 0: ausência; 1: presença

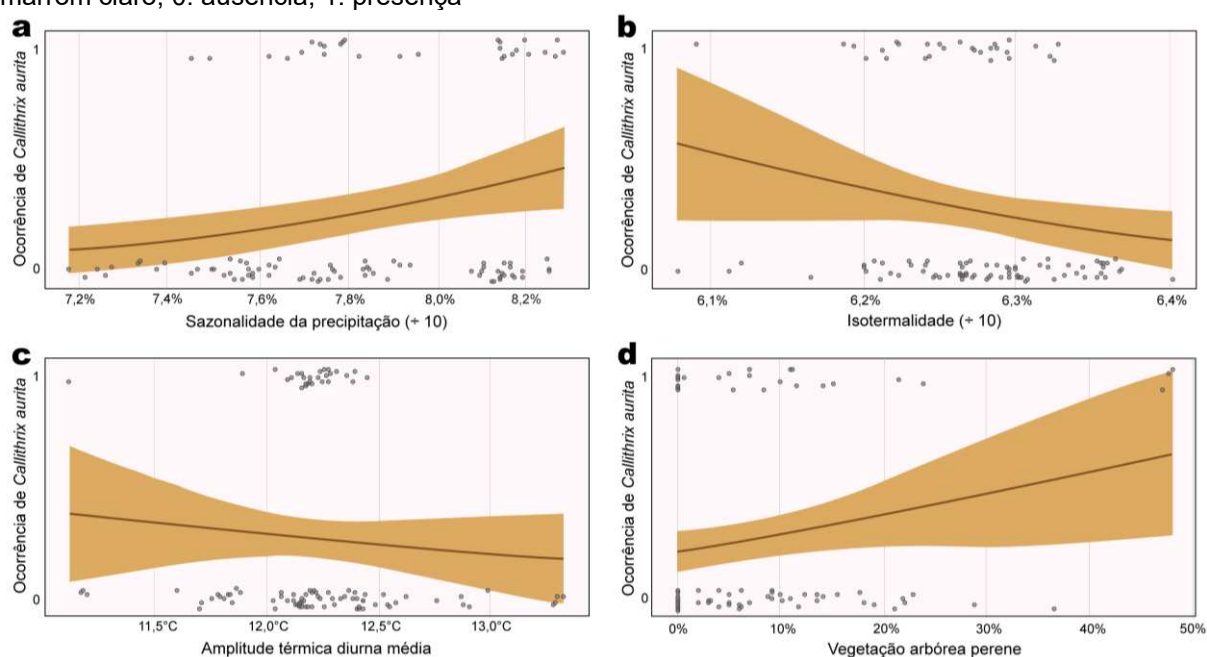
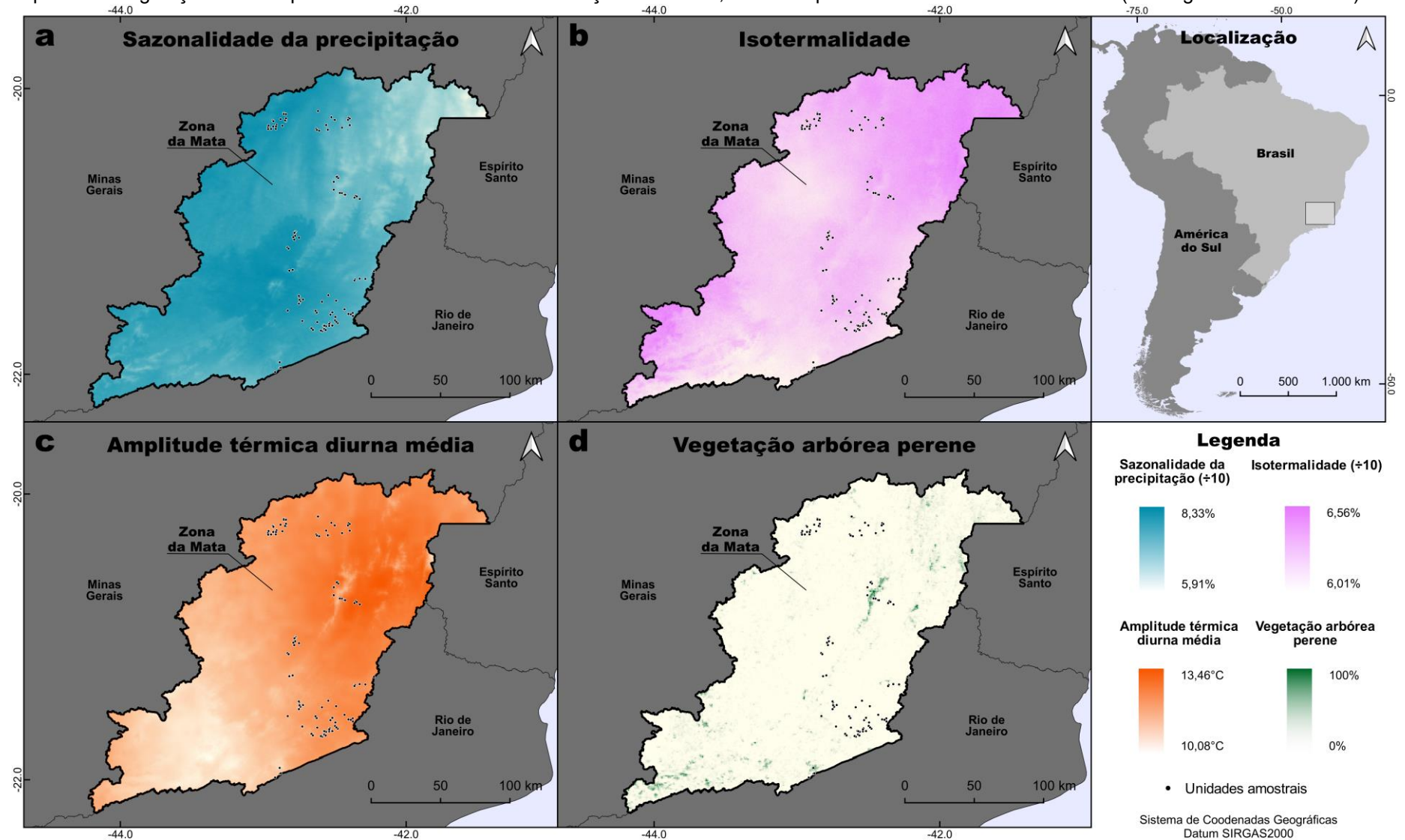


Figura 6 – a – Distribuição espacial da sazonalidade da precipitação na área de estudo em relação à amostra; b – Distribuição espacial da isotermalidade na área de estudo em relação à amostra; c – Distribuição espacial da amplitude térmica diurna média na área de estudo em relação à amostra; d – Distribuição espacial da vegetação arbórea perene na área de estudo em relação à amostra; Pontos representam as unidades amostrais (i.e. fragmentos de habitat)



1.4 DISCUSSÃO

Os preditores mais importantes para a ocorrência do ameaçado sagui-da-serra-escuro em remanescentes da Mata Atlântica na Zona da Mata de Minas Gerais são: a sazonalidade da precipitação, que indica o quanto o volume de chuvas varia ao longo do ano; a isothermalidade, que se refere à relação entre a variação da temperatura diária e a variação de temperatura anual, sendo uma medida de constância térmica; a amplitude térmica diurna média, que representa a oscilação da temperatura ao longo do dia; e a porcentagem de vegetação arbórea perene, que quantifica a vegetação que não perde suas folhas na estação seca. A amostragem foi conduzida em ambientes diversificados não apenas em relação aos aspectos das variáveis ambientais, mas também em relação aos seus históricos de antropização, que podem ajudar a explicar a distribuição de saguis nativos e invasores na área de estudo. A ocorrência de outros *Callithrix* spp., com os quais *C. aurita* compartilha fragmentos florestais, não é impedimento para a sua presença. O tamanho das manchas de habitat, em sua maioria pequenas, também parece não influenciar a ocorrência de *C. aurita*, desde que haja meios de suplementar as áreas de uso. A presença do sagui-da-serra-escuro está, provavelmente, associada a oscilações específicas de pluviosidade e de temperatura em matas com vegetação mais perene, que são refletidas principalmente na disponibilidade de recursos alimentares.

De acordo com as extensões de ocorrência conhecidas dos *Callithrix* spp., seria esperado o registro somente de *C. aurita* em quase todas as áreas amostradas (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021a). A Zona da Mata está majoritariamente inserida na distribuição geográfica da espécie, com exceção de enclaves de Cerrado em seu sudoeste, habitados por *C. penicillata*, e de seu nordeste, onde ocorre *C. flaviceps* (Mendes, 1997; Hirsch, 2003; Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009), e onde de fato foram registrados híbridos entre este e o sagui-da-serra-escuro. Mas o número de fragmentos ocupados por saguis alóctones superou substancialmente os habitados exclusivamente pelos autóctones, o que pode estar relacionado, principalmente, ao processo de ocupação humana local.

Na mesorregião, a partir do século XVIII, a exploração mineral, principalmente de ouro, originou os primeiros povoados e vilas (Netto; Diniz, 2006; Lira; Portela; Tambosi, 2021). Com a decadência do ciclo do ouro e o avanço da cultura cafeeira,

florestas contínuas foram derrubadas para dar lugar a lavouras, hoje substituídas por pastagens, isolando os remanescentes em pequenos fragmentos (Netto; Diniz, 2006; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Lira; Portela; Tambosi, 2021). Estradas e ferrovias foram implementadas para escoar a produção de café (Netto; Diniz, 2006), sendo convertidas em importantes rodovias, como a BR 116, a BR 120, a BR 262 e a BR 267. Estas, além de conduzir à perda de habitat pela exploração mineral, pela agropecuária e pela urbanização (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021), provavelmente foram o principal eixo de introdução de saguis alóctones, transportados para uso como *pets*, pois alcançam suas extensões de ocorrência naturais (Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021a). Isso explica a presença dos *Callithrix* spp. invasores em localidades ao redor da BR 120, que tem início no município de Volta Grande e segue em direção ao norte do Estado, perpassando Leopoldina, Dona Eusébia, Visconde do Rio Branco, Ponte Nova e Rio Doce, como também em seus entroncamentos com a BR 116 e a BR 267, em Leopoldina, e com a BR 262, em Ponte Nova (ver Figura 1). Os primeiros registros conhecidos de saguis alóctones na extensão de ocorrência de *C. aurita* datam da década de 1970, justamente no município de Viçosa, no curso da BR 120 (Fuzessy et al., 2014; Malukiewicz et al., 2021a; Pacheco et al., 2024a).

A ocupação dos habitats pelas formas de *Callithrix* que são alóctones na distribuição do sagui-da-serra-escuro é frequentemente relacionada à antropização (e.g. Cerqueira; Marroig; Pinder, 1998; Sales et al., 2015; Detogne et al., 2017; Andrade, 2021; Gestich et al., 2023; Ambielle et al., 2024), ou não apresenta relações claras com muitos dos preditores analisados, como um possível reflexo de sua plasticidade ecológica (e.g. Sales; Hayward; Passamani, 2016; Grande et al., 2020; Vital, 2020; Silvério, 2022). Sobretudo *C. jacchus* e *C. penicillata*, típicos de ambientes mais abertos e mais adaptados ao consumo de goma que *C. aurita*, podem rapidamente o substituir onde a estrutura do habitat é perdida, colonizando locais onde a espécie nativa foi anteriormente extinta, ou através da competição e da hibridação (Coimbra-Filho; Pissinatti; Rylands, 1993; Cerqueira; Marroig; Pinder, 1998; Sales et al., 2015; Grande et al., 2020; Malukiewicz et al., 2021a; Ambielle et al., 2024). Isso justifica o sucesso das invasões por saguis alóctones nas proximidades de municípios com altas taxas de urbanização ou considerados centros urbanos regionais, como

Leopoldina, Ponte Nova e Visconde do Rio Branco (ver Figura 1) (Netto; Diniz, 2006; Cupolillo; Abreu; Vianello, 2008).

Apesar disso, a distribuição regional do sagui-da-serra-escuro não foi bem explicada pela ocorrência de outros saguis, e houve o compartilhamento de habitats entre formas nativas e introduzidas. Mas essa coexistência pode ser uma condição transitória na assembleia de saguis em cada localidade invadida, onde a substituição total da espécie nativa é questão de tempo. É possível que, para *C. aurita*, a suplantação de uma população seja rápida ou demore muitas gerações, a depender das oportunidades de pareamento para os indivíduos reprodutivos. Nos grupos, usualmente, há apenas uma ou, no máximo, duas fêmeas reprodutivas, que acasalam frequentemente com um único ou poucos machos (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Santos; Martins, 2000). A seleção de parceiros reprodutivos nas espécies do gênero *Callithrix* parece ser baseada principalmente em padrões de coloração espécie-específicos da cabeça (Cavalcanti; Langguth, 2008). Isso potencialmente reduz as chances de acasalamento entre indivíduos autóctones e alóctones, considerando o universo de possibilidades de pareamento por bando. Entretanto, em populações reduzidas, o cruzamento interespecífico pode ser a única forma para que a reprodução seja mantida (Cavalcanti; Langguth, 2008; Nogueira et al., 2011; Malukiewicz, 2018).

Por ser florestal, espera-se que a redução do tamanho das matas diminua a probabilidade de ocorrência de *C. aurita* em paisagens antropizadas (Hirsch, 2003; Gibbons; Harcourt, 2009; Benchimol; Peres, 2013; Silva et al., 2015). Assim, é possível que a capacidade de ocupação de fragmentos de habitat diminutos pela espécie na Zona da Mata também seja uma condição transitória. Isso configuraria um débito de extinção (i.e. a história de vida da espécie pode ocasionar atrasos em suas respostas a distúrbios, fazendo com que mesmo presente, a população não seja viável em longo prazo, extinguindo-se com o passar do tempo) (Kuussaari et al., 2009; Gestich et al., 2022a), uma causa plausível para que o tamanho das manchas de habitat não seja um bom preditor para a sua presença. O sagui-da-serra-escuro, cujas áreas de uso variam de 11,5 a 55 ha (Sánchez-Palacios, 2018), foi detectado indiscriminadamente em habitats entre 0,022 e 3.641,13 ha. Muitos destes são incapazes de garantir, sozinhos, os requerimentos necessários para a sua persistência.

Considerando a capacidade dos representantes do gênero *Callithrix* de cruzar a matriz antrópica, estes fragmentos diminutos podem estar sendo utilizados como trampolins ecológicos, conectando a paisagem fragmentada, ou de forma complementar para o forrageamento (Fahrig, 2017; Grande et al., 2020; Silvério, 2022; Loureiro et al., 2023). Adicionalmente, o tamanho da área de vida necessária para *C. aurita* é inversamente proporcional à disponibilidade de frutos (Sánchez-Palacios, 2018), e alguns dos menores habitats ocupados pela espécie eram pomares, que podem oferecer um importante aporte à dieta de calitriquídeos em ambientes perturbados (Pontes; Soares, 2005; Rodrigues; Martinez, 2014; Teixeira et al., 2023).

Além disso, primatas que não dependem de grandes áreas de vida contíguas podem ser beneficiados pela redução da competição e da predação em habitats pequenos e fragmentados (Chiarello, 2003; Gibbons; Harcourt, 2009; Fahrig, 2017). Os primeiros afetados pela redução e pela desconexão da cobertura florestal são os animais de maior porte, como os grandes predadores, amenizando a pressão sobre presas menores (Chiarello, 2003; Fahrig, 2017; Ramsay et al., 2023). O que, por sua vez, também permite o incremento de populações de mesopredadores, como gatos silvestres, *Leopardus* spp. e *Herpailurus yagouaroundi* (Saint-Hilaire, 1803), e iraras, *Eira barbara* (Linnaeus, 1758), além de cães (*Canis lupus familiaris*, Linnaeus, 1758) e gatos domésticos (*Felis catus*, Linnaeus, 1758), que potencialmente predam *Callithrix* spp. (Olmos, 1993; Passamani et al., 1997; Chiarello, 2003; Bezerra et al., 2009; Duarte; Young, 2011; Silvério, 2022; Assis et al., 2023; Ramsay et al., 2023). Contudo, em áreas defaunadas, primatas onívoros, como os saguis, também podem assumir a função de mesopredadores sobre populações de aves, anfíbios, répteis e artrópodes (Chiarello, 2003; Lyra-Neves et al., 2007; Vale; Prezoto, 2016; Zaluar; Vale, 2021; Malukiewicz et al., 2021a; Ramsay et al., 2023).

Remanescentes pequenos também possuem proporcionalmente mais áreas de borda, que propiciam regimes de distúrbios que podem elevar a heterogeneidade ambiental. Isso aumenta a diversidade e a disponibilidade de recursos alimentares constantes, como lianas e outros vegetais produtores de frutos e goma, e insetos (Martins; Setz, 2000; Chiarello, 2003; Fahrig, 2017). Consequentemente, os *Callithrix* spp. podem ser mais abundantes nas proximidades das bordas, independentemente da quantidade de cobertura florestal, e sua ocorrência em habitats reduzidos é frequente (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; São Bernardo; Galetti, 2004; Moraes;

Melo, 2011; Hilário et al., 2012; Secco; Grilo; Bager, 2018; Grande et al., 2020; Vital, 2020; Silvério, 2022; Guimarães-Lopes et al., 2023).

Respostas positivas à fragmentação (e.g. Gestich et al., 2022a; Gestich et al., 2023) ou o baixo poder explicativo de variáveis que expressem o efeito do tamanho e da disponibilidade de habitats sobre a ocupação por saguis e outros primatas (e.g. Chiarello, 2003; Gibbons; Harcourt, 2009; Vital, 2020; Silvério, 2022; Loureiro et al., 2023) podem não ser suficientes para afirmar que as populações persistirão em remanescentes menores e desconectados. A distribuição e a persistência de populações nessas áreas podem estar mais relacionadas a características qualitativas do que quantitativas da paisagem (Benchimol; Peres, 2013; Merow et al., 2014; Silva et al., 2015; Fahrig, 2017; Ramsay et al., 2023). Estes requerimentos são espécie-específicos e em cada caso podem ser determinados por uma combinação de mecanismos (Silva et al., 2015; Fahrig, 2017).

Condições derivadas da pluviosidade e da temperatura são os principais moduladores da presença de *C. aurita* na Zona da Mata, corroborando Ferrari, Corrêa e Coutinho (1996) e Cerqueira, Marroig e Pinder (1998). Os ambientes com maior probabilidade de ocorrência da espécie na mesorregião apresentam elevada sazonalidade da precipitação, suas temperaturas diárias oscilam em média entre aproximadamente 12°C e 12,5°C de forma pouco estável durante o ano, e a proporção de árvores perenes é maior (ver Tabela 6; ver Figura 5; ver Figura 6). A deciduidade, ou a proporção de perda de folhas pelas árvores, responde a uma combinação de pluviosidade e de características edáficas. Quanto maior o aporte hídrico e a capacidade de retenção de água pelo solo, maior a porcentagem de vegetação arbórea perenifólia no ambiente (Colombo; Joly, 2010; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Assim, a resposta positiva do sagui-da-serra-escuro à sazonalidade da precipitação pode estar relacionada a verões extremamente chuvosos, capazes de abastecer o habitat de modo a manter vegetação perenifólia durante a estação seca (ver, por exemplo, os valores de precipitação no mês mais úmido, BIO13, em habitats ocupados por *C. aurita*, na Tabela 3).

O maior aporte hídrico permite que a produtividade primária seja elevada, aumentando a disponibilidade de recursos alimentares como frutos e outras partes reprodutivas de plantas, artrópodes e fungos, importantes para o *Callithrix* menos adaptado à gumivoria (Simberloff, 1994; Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Rylands et

al., 1996; Soberón, 2007; Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Vale et al., 2021). A dieta de *C. aurita* também pode ser a explicação para a elevada influência da porcentagem de árvores perenes sobre sua ocorrência. Além do possível aumento na disponibilidade temporal de itens vegetais, o suprimento mais estável de folhas pode favorecer a abundância constante de insetos folívoros, como lagartas (Lepidoptera), esperanças e gafanhotos (Orthoptera), artrópodes conhecidamente consumidos pela espécie (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000). É possível que a manutenção das folhas em dosséis densos também proporcione abrigo contra predadores, e até mesmo proteção contra o frio na estação seca, que em locais mais elevados de sua extensão de ocorrência pode atingir temperaturas abaixo de 0°C (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Ferrari, 2009).

Contudo, não se deve desconsiderar a possibilidade de que as respostas significativas das faixas de variação desses predadores específicos para *C. aurita* seja resultante da ocupação de habitats com características opostas pelos outros *Callithrix* na amostra. Estes saguis alóctones, adaptados a ambientes mais secos e com alta deciduidade, podem ocupá-los de forma preferencial (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 1993; 2009; Braz; Lorini; Vale, 2019; Gestich et al., 2023; Ambielle et al., 2024). Isso enviesaria o banco de dados, podendo não representar o nicho esperado para o sagui-da-serra-escuro na ausência dessa interação induzida por ação humana.

Nas depauperadas florestas estacionais semidecíduais da Zona da Mata, onde as estações secas podem durar de 2 a 5 meses (Colombo; Joly, 2010), áreas com clima adequado e cobertura perenifólia relativamente elevada consequentemente são menos disponíveis. O que, somado à ocorrência sob variações pluviométricas e térmicas específicas, coloca regionalmente o sagui-da-serra-escuro em especial vulnerabilidade às alterações climáticas e da paisagem em curso (Estrada et al., 2017; Braz; Lorini; Vale, 2019; Carvalho et al., 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023). Para as próximas décadas, além da conversão de grande parte das suas distribuições em áreas de agricultura, os primatas neotropicais experimentarão, nos piores e mais prováveis cenários, aumentos de mais de 4°C nas temperaturas máximas e alterações drásticas no regime de chuvas (Estrada et al., 2017; Ceballos et al., 2015; Carvalho et al., 2019; Keys et al., 2019; Winder; Mace; Korstjens, 2023). Isso pode ter efeitos diretos sobre sua fisiologia, e indiretos sobre a disponibilidade de recursos, além de potencializar outros impactos antropogênicos (Carvalho et al., 2019; Chapman et al.,

2020; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020; Vale et al., 2021; Winder; Mace; Korstjens, 2023; Pozo-Montuy et al., 2024).

Os extremos térmicos previstos podem afetar a sobrevivência e a reprodução do sagui-da-serra-escuro e de suas presas animais em toda a sua extensão de ocorrência (Simberloff, 1994; Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Carvalho et al., 2019; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020). Oscilações no volume e nos padrões de sazonalidade das chuvas alterarão a composição, a produtividade e a deciduidade das comunidades vegetais (Colombo; Joly, 2010; Carvalho et al., 2019; Raymundo et al., 2019; Chapman et al., 2020; Vale et al., 2021; Winder; Mace; Korstjens, 2023). É previsto o aumento das formações secundárias e a redução das áreas primárias, e há uma tendência de deslocamento das fitofisionomias para latitudes mais ao sul (Colombo; Joly, 2010; Carvalho et al., 2019; Vale et al., 2021; Pinto et al., 2023). A perda de habitat e espaço climático esperada para a espécie pode superar 80%, e toda a zona de intergradação com *C. flaviceps* desaparecerá (Braz; Lorini; Vale, 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023).

Os parentais *C. jacchus* e *C. penicillata*, e seus híbridos, possivelmente terão vantagens adaptativas por causa de características morfológicas, fisiológicas e comportamentais para lidar com as condições extremas de ambientes xéricos, que a Mata Atlântica provavelmente enfrentará (Coimbra-Filho; Pissinatti; Rylands, 1993; Colombo; Joly, 2010; Carvalho et al., 2019; Malukiewicz et al., 2021a; Vale et al., 2021; Hilário et al., 2021; Ambielle et al., 2024). Em sinergia com a perda de nicho esperada para *C. aurita*, em área e em qualidade, que aumentará a quantidade de habitats desocupados pela espécie nativa, a invasividade dos saguis alóctones poderá ser potencializada (Braz; Lorini; Vale, 2019; Carvalho et al., 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023).

Aparentemente, a distribuição do sagui-da-serra-escuro está associada a fatores ecológicos que modulam a disponibilidade de recursos, mas é possível que populações respondam de formas distintas aos mesmos preditores ao longo de sua extensão de ocorrência, sobretudo em paisagens submetidas a outros tipos de impactos e interações bióticas, e a diferentes regimes climáticos e composições das fitofisionomias, como em florestas ombrófilas (Colombo; Joly, 2010; Lira; Portela; Tambosi, 2021; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Vale et al., 2021). Pesquisas que verifiquem se há variações regionais de nicho para a espécie e/ou como variáveis

de interesse afetam a persistência de populações são necessárias para indicar habitats e relações ecológicas essenciais para a sua conservação. É crucial planejar ações conservacionistas que considerem não somente a ecologia de *C. aurita*, mas também o contexto atual e futuro de antropização da Mata Atlântica, assim como desenvolver e aplicar protocolos de manejo de populações alóctones e autóctones que evitem a extinção dos *Callithrix* spp. nativos.

1.5 CONCLUSÃO

Os preditores mais importantes para a ocorrência do sagui-da-serra-escuro na Zona da Mata de Minas Gerais foram a sazonalidade da precipitação, a isothermalidade, a amplitude térmica diurna média e a porcentagem de vegetação arbórea perene. Os ambientes com maior probabilidade de ocorrência da espécie na região apresentam grande variação pluviométrica ao longo do ano, com verões extremamente chuvosos, oscilações térmicas diárias médias constantes, mas com variações sazonais, e maior manutenção das folhas das árvores durante o período seco. Isso provavelmente aumenta a disponibilidade espacial e temporal de itens importantes em sua dieta, como frutos e outras partes vegetais, fungos e artrópodes, principalmente insetos folívoros.

Pequenos fragmentos florestais podem não ser suficientes para manter populações de *C. aurita*, mas certamente fazem parte de suas áreas de vida, sendo úteis para a conservação da espécie em paisagens com matrizes antropogênicas pouco permeáveis. Contudo, a capacidade de habitar ambientes perturbados e fragmentados não impede a substituição das populações autóctones por formas invasoras, mais aptas a lidar com limitações de recursos. Mas apesar da presença mais frequente de saguis alóctones invasores que de *C. aurita* na Zona da Mata de Minas Gerais, ainda é possível intervir para evitar a extinção regional da espécie nativa.

As alterações no clima e na paisagem previstas para as próximas décadas devem intensificar o risco de extinção de *C. aurita* em função dos aspectos de seu nicho ecológico e das invasões biológicas. O planejamento para a conservação da espécie deve então integrar predições climáticas futuras, a composição da paisagem e a distribuição das populações, autóctones e alóctones. Assim, será possível elencar prioridades de proteção e manejo intervencionista para salvaguardar populações nativas em áreas chave.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Alvares, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amaral, C. R. L. et al. Global climate changes and the evolution of area suitability for marmosets of genus *Callithrix*. **Academia Biology**, v. 1, n. 3, p. 1-9, 2023. <https://doi.org/10.20935/AcadBiol6100>
- Ambielle, B. et al. **Habitat Puzzles: linking primate invasions and declines to landscape connectivity**. PREPRINT, Hal Science, 2024.
- Andrade, A. C. Density of marmosets in highly urbanised areas and the positive effect of arboreous vegetation. **Urban Ecosystems**, v. 25, n. 1, p. 101-109, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01131-5>
- Assis, C. L. et al. Predation of vertebrates by domestic cats in two Brazilian hotspots: incidental records and literature review. **Neotropical Biodiversity**, v. 9, n. 1, p. 10-16, 2023. <https://doi.org/10.1080/23766808.2022.2161735>
- Baselga, A. et al. Global patterns in the shape of species geographical ranges reveal range determinants. **Journal of Biogeography**, v. 39, n. 4, p. 760-771, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02612.x>
- Benchimol, M.; Peres, C. A. Anthropogenic modulators of species–area relationships in Neotropical primates: a continental-scale analysis of fragmented forest landscapes. **Diversity and Distributions**, v. 19, n. 11, p. 1339-1352, 2013. <https://doi.org/10.1111/ddi.12111>
- Bezerra, B. M. et al. Predation by the tayra on the common marmoset and the pale-throated three-toed sloth. **Journal of Ethology**, v. 27, p. 91-96, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10164-008-0090-3>
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria nº 702, de 7 de agosto de 2018**. Aprova o Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira - PAN PPMA, contemplando quatorze táxons ameaçados de extinção, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, prazo de execução, abrangência e formas de implementação e supervisão. Diário Oficial da União, Brasília, Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2018.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006**. Brasília: MMA/SBF, 2011. 76 p.

Braz, A. G.; Lorini, M. L.; Vale, M. M. Climate change is likely to affect the distribution but not parapatry of the Brazilian marmoset monkeys (*Callithrix* spp.). **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 536-550, 2019. <https://doi.org/10.1111/ddi.12872>

Brown, J. H.; Stevens, G. C.; Kaufman, D. M. The geographic range: Size, Shape, Boundaries, and Internal Structure. **Annual review of ecology and systematics**, v. 27, n. 1, p. 597-623, 1996. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.597>

Buckner, J. C. et al. Biogeography of the marmosets and tamarins (Callitrichidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 82, p. 413-425, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2014.04.031>

Bufalo, F. S.; Galetti, M.; Culot, L. Seed dispersal by primates and implications for the conservation of a biodiversity hotspot, the Atlantic Forest of South America. **International Journal of Primatology**, v. 37, n. 3, p. 333-349, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10764-016-9903-3>

Carlucci, M. B.; Marcilio-Silva, V.; Torezan, J. M. (2021) The southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p. 91-111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_5

Carvalho, J. S. et al. A global risk assessment of primates under climate and land use/cover scenarios. **Global Change Biology**, v. 25, n. 9, p. 3163-3178, 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14671>

Cavalcanti, G. C.; Langguth, A. recognition of mate and speciation in marmoset genus *Callithrix* (Primates, Cebidae, Callitrichinae). **Revista Nordestina de Biologia**, v. 19, n. 1, p. 59-73, 2008.

Ceballos, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>

Cerqueira, R.; Marroig, G.; Pinder, L. Marmosets and lion-tamarins distribution (Callitrichidae, Primates) in Rio de Janeiro state, south-eastern Brazil. **Mammalia**, v. 62, n. 2, p. 213-226, 1998. <https://doi.org/10.1515/mamm.1998.62.2.213>

Chapman, C. A. et al. Primates can be a rallying symbol to promote tropical forest restoration. **Folia Primatologica**, v. 91, n. 6, p. 669-687, 2020. <https://doi.org/10.1159/000505951>

Chiarello, A. G. Primates of the Brazilian Atlantic Forest: the influence of forest fragmentation on survival. In: Marsh, L. K. (ed.). **Primates in fragments: Ecology and conservation**. Boston, USA: Springer, 2003. p. 99-121. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3770-7_8

Coelho, M. T. P. et al. The geography of climate and the global patterns of species diversity. **Nature**, v. 622, n. 7983, p. 537-544, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06577-5>

Coimbra-Filho, A. F.; Pissinatti, A.; Rylands, A. B. Experimental multiple hybridism and natural hybrids among *Callithrix* species from eastern Brazil. In: Rylands, A. B. (ed.). **Marmosets and tamarins. Systematics, behaviour and ecology**. New York, USA: Oxford University Press, 1993. p. 95-120.

Colombo, A. F.; Joly, C. A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 697-708, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400002>

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010: Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais**. Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, 2010.

Corrêa, H. K.; Coutinho, P. E. G. Gênero *Callithrix* Erxleben, 1777. In: Reis, N. R.; Peracchi, A. L.; Andrade, F. R. (orgs.). **Primatas Brasileiros**. Londrina: Technical Books, 2008. p. 47-58.

Cosenza, B. A. P.; Melo, F. R. Primates of the Serra do Brigadeiro State Park, Minas Gerais, Brasil. **Neotropical Primates**, v. 6, n. 1, p. 18-20, 1998.

Cupolillo, F.; Abreu, M. L.; Vianello, R. L. Climatologia da bacia do Rio Doce e sua relação com a topografia local. **Revista Geografias**, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2008. <https://doi.org/10.35699/2237-549X..13251>

Detogne, N. et al. Spatial distribution of buffy-tufted-ear (*Callithrix aurita*) and invasive marmosets (*Callithrix* spp.) in a tropical rainforests reserve in southeastern Brazil. **American Journal of Primatology**, v. 79, n. 12, p. 1-11, 2017. <https://doi.org/10.1002/ajp.22718>

Duarte, M. H. L.; Young, R. J. Sleeping site selection by urban marmosets (*Callithrix penicillata*) under conditions of exceptionally high predator density. **International Journal of Primatology**, v. 32, p. 329-334, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9468-5>

Estrada, A. et al. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. **Science Advances**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2017.

Fahrig, L. Ecological responses to habitat fragmentation per se. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 48, n. 1, p. 1-23, 2017. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>

Ferrari, S. F.; Corrêa, H. K. M.; Coutinho, P. E. G. Ecology of the "southern" marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*): how different, how similar? In: Norconk, M.

A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. (eds.). **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA: Plenum Press, 1996. p. 157-171.

Ferrari, S. F. Predation risk and antipredator strategies. In: Ford, S. M.; Porter, L. M.; Davis, L. C. (eds.). **The smallest anthropoids**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 251-277. https://doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3_10

Fick, S. E.; Hijmans, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5086>

Fuzessy, L. F. et al. Morphological variation in wild marmosets (*Callithrix penicillata* and *C. geoffroyi*) and their hybrids. **Evolutionary Biology**, v. 41, p. 480-493, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11692-014-9284-5>

Garcia, V. L. A.; Fialho, M. S.; Jerusalinsky, L. Uso de playback para levantamento populacional de *Alouatta belzebul* (Linnaeus, 1766) reintroduzidos na Reserva Biológica Guaribas, Paraíba. In: Passos, F. C.; Miranda, J. M. D. (eds.). **A Primatologia no Brasil**, vol. 13. Curitiba, Brasil: Sociedade Brasileira de Primatologia, v. 13, 2014. p. 79-88.

Gestich, C. C. et al. Estimating primate population densities: the systematic use of playbacks along transects in population surveys. **American Journal of Primatology**, v. 79, n. 2, p. e22586, 2017. <https://doi.org/10.1002/ajp.22586>

Gestich, C. C. et al. Forest loss and fragmentation can promote the crowding effect in a forest-specialist primate. **Landscape Ecology**, v. 37, p. 147-157, 2022a. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01336-1>

Gestich, C. C. et al. Local and landscape contrasts of the occurrence of native and invasive marmosets in the Atlantic Forest biome. **Biodiversity and Conservation**, v. 32, n. 10, p. 3379-3396, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02668-x>

Gestich, C. C. et al. Population estimates of the endangered *Callithrix aurita* and *Callithrix* hybrids records in a large Atlantic Forest remnant. **Folia Primatologica**, v. 93, n. 2, p. 175-184, 2022b. <https://doi.org/10.1163/14219980-20211206>

Gibbons, M. A.; Harcourt, A. H. Biological correlates of extinction and persistence of primates in small forest fragments: a global analysis. **Tropical Conservation Science**, v. 2, n. 4, p. 388-403, 2009. <https://doi.org/10.1177/194008290900200402>

Google. **Google Earth Pro** (Version 7.3.6.9345). 2022. Disponível em: <https://www.google.com/earth/versions/>

Grande, T. O. et al. Fragment shape and size, landscape permeability and fragmentation level as predictors of primate occupancy in a region of Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 42, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciobiols.v42i1.48339>

Grelle, C. E. V. **Areografia dos primatas endêmicos da Mata Atlântica**. 2000. Tese (Doutorado) – Museu Nacional/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

Grelle, C. E. V.; Cerqueira, R. Determinantes da distribuição geográfica de *Callithrix flaviceps* (Thomas) (Primates, Callitrichidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 2, p. 414-420, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752006000200016>

Guimarães-Lopes, V. et al. **An endangered native species is being replaced by hybrids: the new normal for primate conservation in the Brazilian Atlantic Forest**. PREPRINT, Research Square, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3702258/v1>

Hedrick, P. W.; Miller, P. S. Conservation Genetics: techniques and fundamentals. **Ecological Applications**, v. 2, n. 1, p. 30-46, 1992. <https://doi.org/10.2307/1941887>

Hilário, R. R. et al. Can roads be used as transects for primate population surveys?. **Folia Primatologica**, v. 83, n. 1, p. 47-55, 2012. <https://doi.org/10.1159/000339805>

Hilário, R. R. et al. Temperature and exudativory as drivers of the marmoset (*Callithrix* spp.) daily activity period. **American Journal of Primatology**, v. 84, n. 6, p. e23341, 2021. <https://doi.org/10.1002/ajp.23341>

Hirsch, A. **Avaliação da fragmentação do habitat e seleção de áreas prioritárias para a conservação dos primatas na bacia do rio Doce, Minas Gerais, através da aplicação de um sistema de informações geográficas**. 2003. 227 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2003.

Kuussaari, M. et al. Extinction debt: a challenge for biodiversity conservation. **Trends in ecology & evolution**, v. 24, n. 10, p. 564-571, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.04.011>

Linnaeus, C. **Systema Naturae. Regnum Animale**. 1758.

Lira, P. K; Portela, R. C. Q.; Tambosi, L. R. Land-cover changes and an uncertain future: will the Brazilian Atlantic Forest lose the chance to become a *hopespot*? In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p. 233-251. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_11

Loureiro, N. G. et al. Landscape factors and allochthonous congeneric species influence *Callithrix aurita* occurrence in Brazilian Atlantic Forest remnants. **Ecology and Evolution**, v. 13, n. 4, p. e9968, 2023.

Lyra-Neves, R. M. Comportamentos interespecíficos entre *Callithrix jacchus* (Linnaeus) (Primates, Callitrichidae) e algumas aves de Mata Atlântica, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, p. 709-716, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752007000300022>

Malukiewicz, J. A review of experimental, natural, and anthropogenic hybridization in *Callithrix* marmosets. **International Journal of Primatology**, v. 40, n. 1, p. 72-98, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10764-018-0068-0>

Malukiewicz, J. et al. An introduction to the *Callithrix* genus and overview of recent advances in marmoset research. **ILAR Journal**, v. 0, n. 0, p. 1-29, 2021a. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilab027>

Malukiewicz, J. et al. Genomic skimming and nanopore sequencing uncover cryptic hybridization in one of world's most threatened primates. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 17279, 2021b. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96404-6>

Malukiewicz, J. et al. Mitogenomic phylogeny of *Callithrix* with special focus on human transferred taxa. **BMC Genomics**, v. 22, n. 239, p. 1-14, 2021c. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07533-1>

Martins, M. M.; Setz, E. Z. F. Diet of Buffy Tufted-Eared Marmosets (*Callithrix aurita*) in a Forest Fragment in Southeastern Brazil. **International Journal of Primatology**, v. 21, n. 3, p. 467-476, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1005491903220>

Massardi, N. T. et al. Respostas Diferenciais ao Playback em Levantamento de *Callithrix aurita* na Microrregião de Viçosa/MG. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 5-14, 2022. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v12i1.1862>

McDonald, J. H. **Handbook of Biological Statistics**. 3 ed. Baltimore, USA: Sparky House Publishing, 2014. 299 p.

Melo, F. R. **Caracterização molecular de *Callithrix aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi* e de seus prováveis híbridos (Primates, Callitrichinae)**. 1999. 76 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

Melo, F. R. et al. *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). In: IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021**. e.T3570A191700629, 2021. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3570A191700629.en>>.

Melo, F. R. et al. *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812). In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos**. 1. ed. Brasília: ICMBio/MMA, 2018. p. 206-213.

Mendes, S. L.; Vielliard, J. M. E.; De Marco JR., P. The vocal identity of the *Callithrix* species (Primates, Callitrichidae). In: Ford, S. M.; Porter, L. M.; Davis, L. C. (eds.). **The smallest anthropoids**. Boston: Springer, 2009. p. 63-84. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0293-1_3

Mendes, S. L. **Padrões biogeográficos e vocais em *Callithrix* do grupo *Jacchus* (Primates: Callitrichidae)**. 1997. 155 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade

Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1997
<https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1997.122278>

Merow, C. et al. What do we gain from simplicity versus complexity in species distribution models? **Ecography**, v. 37, n. 12, p. 1267-1281, 2014. <https://doi.org/10.1111/ecog.00845>

Moraes, A. M.; Melo, F. R. Distribuição geográfica de *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps* e avaliação espacial de sua zona de intergradação nos municípios de Espera Feliz, Caiana e Caparaó, MG. In: Melo, F. R.; Mourthé, I. (eds.). **A Primatologia no Brasil**, vol. 11. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Primatologia, v. 11, 2011. p. 231-255.

Netto, M. M.; Diniz, A. M. A. A formação geohistórica da Zona da Mata de Minas Gerais. **R. RA'E GA**, n. 12, p. 21-34, 2006.

Nogueira D. M. et al. Cytogenetic study in natural hybrids of *Callithrix* (Callitrichidae: Primates) in the Atlantic Forest of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 101, n. 3, p. 156-160, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000200002>

Norris, D. et al. Density and spatial distribution of buffy-tufted-ear marmosets (*Callithrix aurita*) in a continuous Atlantic Forest. **International Journal of Primatology**, v. 32, n. 4, p. 811-829, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10764-011-9503-1>

Olmos, F. Notes on the food habits of Brazilian Caatinga carnivores. **Mammalia**, v. 57, n. 1, p. 126-130, 1993.

Pacheco, F. et al. *Callithrix jacchus*. **CABI Compendium**, 2024a. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.91183>

Pacheco, F. S. et al. Hibridação natural entre os saguis-da-serra – *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps* – no Alto Rio Doce. In: XX Congresso Brasileiro de Primatologia, 2024, Santa Teresa. **Primatologia decolonial: aqui se faz morada: livro de resumos**. Livro eletrônico. Guapimirim, RJ: Sociedade Brasileira de Primatologia, 2024b. p. 124-124.

Pacheco, F. S. et al. Novas ocorrências de *Callithrix* na Zona da Mata de Minas Gerais. **MG.BIOTA**, v. 14, n. 1, p. 50-68, 2021.

Passamani, M. et al. Reintrodução do sagui-da-cara-branca (*Callithrix geoffroyi*) em fragmentos de Mata Atlântica no sudeste do Brasil. In: Ferrari, S. F.; Schneider, H. (orgs.). **A primatologia no Brasil**, vol. 5. Rio de Janeiro, Brasil: Sociedade Brasileira de Primatologia, 1997. p. 119-128.

Peck, M. et al. Focusing conservation efforts for the critically endangered brown-headed spider monkey (*Ateles fusciceps*) using remote sensing, modeling, and playback survey methods. **International Journal of Primatology**, v. 32, n. 1, p. 134-148, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9445-z>

Pinto, M. P. et al. Primates facing climate crisis in a tropical forest hotspot will lose climatic suitable geographical range. **Scientific Reports**, v. 13, n. 641, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26756-0>

Pontes, A. R. M.; Soares, M. L. Sleeping sites of common marmosets (*Callithrix jacchus*) in defaunated urban forest fragments: a strategy to maximize food intake. **Journal of Zoology**, v. 266, n. 1, p. 55-63, 2005. <https://doi.org/10.1017/S095283690500662X>

Pozo-Montuy, G. et al. Howler Monkey Die-Off in Southern Mexico. **American Journal of Primatology**, p. e23684, 2024. <https://doi.org/10.1002/ajp.23684>

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System (Version 3.22)**. 2022. Disponível em: <<http://qgis.org>>.

Ramsay, M. S. et al. Consequences of habitat loss and fragmentation for primate behavioral ecology. In: McKinney, T.; Waters, S.; Rodrigues, M. A. **Primates in Anthropogenic Landscapes: exploring primate behavioural flexibility across human contexts**. Cham, Switzerland: Springer, 2023. p. 9-28. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11736-7_2

Raymundo D. et al. Shifting species and functional diversity due to abrupt changes in water availability in tropical dry forests. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 1, p. 253-264, 2019. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13031>

Rezende, G. C.; Sobral-Souza, T.; Culot, L. Integrating climate and landscape models to prioritize areas and conservation strategies for an endangered arboreal primate. **American Journal of Primatology**, v. 82, n. 12, p. e23202, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajp.23202>

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

Rodrigues, N. N.; Martinez, R. A. Wildlife in our backyard: interactions between Wied's marmoset *Callithrix kuhlii* (Primates: Callitrichidae) and residents of Ilhéus, Bahia, Brazil. **Wildlife Biology**, v. 20, n. 2, p. 91-96, 2014. <https://doi.org/10.2981/wlb.13057>

Rylands, A. B.; Coimbra-Filho, A. F.; Mittermeier, R. A. Systematics, geographic distribution and some notes on the conservation of the Callitrichidae. In: Rylands, A. B. (ed.). **Marmosets and tamarins. Systematics, behaviour and ecology**. New York, USA: Oxford University Press, 1993. p. 11-77. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198540229.003.0002>

Rylands, A. B.; Coimbra-Filho, A. F.; Mittermeier R. A. The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and Callimico (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford, S. M.; Porter, L. M.; Davis, L. C. (eds.). **The smallest anthropoids**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 25-61. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0293-1_2

Rylands, A. B. et al. Primates of the Atlantic Forest: origin, distributions, endemism, and communities. In: Norconk, M. A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA; London, UK: Plenum Press, 1996. p. 21-51. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9_2

Sales, L. P. et al. Time-lags in primate occupancy: a study case using dynamic models. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 2, p. 139-144, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.10.003>

Sales, L. P.; Hayward, M. W.; Passamani, M. Local vs landscape drivers of primate occupancy in a Brazilian fragmented region. **Mammal Research**, v. 61, p. 73-82, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13364-015-0252-y>

Saint-Hilaire, É. G. **Catalogue des mammifères du Museum National d'histoire naturelle**, 1803. 272 p.

Saint-Hilaire, É. G. Tableau des quadrumanes ou des animaux composant le premier ordre de la classe des mammifères. **Annales du Muséum d'histoire naturelle**, v. 19, p. 85-122, 1812.

Sánchez-Palacios, A. M. **Efeito de fatores ambientais e ecológicos nas áreas de vida do “sagui-da-serra-escuro” (*Callithrix aurita*) na Mata Atlântica**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2018.

Santos, C. V.; Martins, M. M. Parental care in the buffy-tufted-ear marmoset (*Callithrix aurita*) in wild and captive groups. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 60, n. 4., p. 667-672, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000400018>

São Bernardo, C. S.; Galetti, M. Densidade e tamanho populacional de primatas em um fragmento florestal no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 4, p. 827-832, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752004000400017>

Secco, H.; Grilo, C.; Bager, A. Habitat selection by the black-tufted marmoset *Callithrix penicillata* in human-disturbed landscapes. **Journal of Tropical Ecology**, v. 34, n. 2, p. 135-144, 2018. <https://doi.org/10.1017/S026646741800007X>

Silva, F. F. R. et al. A survey of wild and introduced marmosets (*Callithrix*: Callitrichidae) in the southern and eastern portions of the state of Minas Gerais, Brazil. **Primate Conservation**, v. 32, p. 1-18, 2018.

Silva, L. G. et al. Patch size, functional isolation, visibility and matrix permeability influences Neotropical primate occurrence within highly fragmented landscapes. **PLoS One**, v. 10, n. 2, p. e0114025, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114025>

Silvério, S. L. **Influência do uso e ocupação do habitat sobre a presença de *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812) (Primates: Callitrichidae) em fragmentos de Mata Atlântica na região de Guidoal – MG**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022.

Simberloff, D. The ecology of extinction. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 38, n. 3-4, p. 159-174, 1994.

Soberón, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p. 1115-1123, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>

Teixeira, J. V. S. et al. Effect of landscape attributes on the occurrence of the endangered golden-headed lion tamarin in southern Bahia, Brazil. **American Journal of Primatology**, v. 86, n. 4, p. e23588, 2024. <https://doi.org/10.1002/ajp.23588>

Thomas, O. Notes on South-American monkeys, bats, carnivores, and rodents, with descriptions of new species. **Annals and magazine of natural history**, v. 12, p. 455-464, 1903.

Tuanmu, M-N.; Jetz, W. A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 9, p. 1031-1045, 2014. <https://doi.org/10.1111/geb.12182>

Vale, C. A.; Prezoto, F., 2016. Papel dos primatas do gênero *Callithrix* na manutenção das relações ecológicas em áreas defaunadas na Floresta Atlântica. **CES Revista**, v. 30, n. 2, p. 19-33, 2016.

Vale, M. M. et al. Climate change and biodiversity in the Atlantic Forest: best climatic models, predicted changes and impacts, and adaptation options. In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p 253-267. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_12

Valverde, O. Estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 20, n. 1, p. 3-82, 1958.

Vancine, M. H. et al. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>

Vital, O. V. **Uso e ocupação do hábitat por *Callithrix* spp. em remanescentes de Mata Atlântica na microrregião de Viçosa, Minas Gerais**. 2020. 45 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2020.

Vivo, M. **Taxonomia de *Callithrix Erxleben, 1777 (Callitrichidae, Primates)***. Belo Horizonte: Littera Maciel Ltda. Fundação Biodiversitas para a Conservação da Diversidade Biológica, 1991. 105 p.

Wikiloc Outdoor, S. L. **Wikiloc**. Girona, España: Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona, 2016.

Winder, I. C.; Mace, B.; Korstjens, A. H. Climate change impacts on non-human primates: what have we modelled and what do we do now?. In: McKinney, T.; Waters,

S.; Rodrigues, M. A. **Primates in Anthropogenic Landscapes: exploring primate behavioural flexibility across human contexts**. Cham, Switzerland: Springer, 2023. p. 83-102. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11736-7_2

Zaluar, M. T.; Vale, M. M., 2021. Are invasive marmosets harmful to Atlantic Forest birds?. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 153-160, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.02.007>

CAPÍTULO 2

PRIORIZAÇÃO ESPACIAL PARA A CONSERVAÇÃO DO SAGUI-DA-SERRA-ESCURO, *Callithrix aurita* (É. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1812)

RESUMO

O sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) é um pequeno primata endêmico da Mata Atlântica do Sudeste do Brasil. Está em perigo de extinção principalmente pela perda e a fragmentação de habitats, e pela competição e hibridação com saguis congêneres introduzidos em sua extensão de ocorrência. Com distribuição vinculada a condições de temperatura e pluviosidade e a tipos vegetacionais modulados por elas, é sensível às mudanças climáticas, que ainda podem atuar em sinergia com as outras ameaças. O avanço e a gravidade dos impactos das alterações ambientais antrópicas tornam urgente priorizar áreas e ações para a conservação da espécie, direcionando esforços e fundos, normalmente escassos, a locais chave para atingir objetivos tangíveis. Assim, baseadas em modelagens ecológicas e algoritmos de decisão, foram mapeadas para as próximas cinco décadas (2030 a 2080), áreas prioritárias para a conservação, para o manejo populacional, e para novos levantamentos, visando a persistência de *C. aurita*. É necessário ampliar e conectar a rede de áreas protegidas existente para que resguarde populações da espécie viáveis no futuro. Muitas das áreas com alto valor para a sua conservação possuem outros *Callithrix* spp. estabelecidos, cujos impactos devem ser mitigados para a efetividade de qualquer medida conservacionista. Ainda há lacunas no conhecimento sobre a distribuição dos saguis autóctones e alóctones e seu preenchimento pode ajudar a refinar modelos e planejamentos atualizados. Com ampla cobertura e alta resolução, as priorizações obtidas podem ser aplicadas em nível global ou local, por governos ou atores locais, com flexibilidade para atender a contextos específicos, que sempre devem ser considerados.

Palavras-chave: modelagem de nicho ecológico; planejamento sistemático; mudanças climáticas; unidades de conservação; manejo populacional.

ABSTRACT

The buffy-tufted-ear marmoset (*Callithrix aurita*) is a small primate endemic to the Atlantic Forest of southeastern Brazil. It is endangered mainly by habitat loss and fragmentation, and by competition and hybridization with congeners introduced into its range. Due to its distribution linked to temperature and rainfall conditions and to vegetation types modulated by these factors, it is sensitive to climate change, which can also act in synergy with other threats. The spread and severity of the impacts of anthropogenic environmental change make it urgent to prioritize areas and actions for the conservation of the species, directing often scarce funds and efforts to key locations to achieve tangible goals. Thus, based on ecological modeling and decision algorithms, priority areas for conservation, population management and new surveys were mapped for the next five decades (2030 to 2080), aiming at the persistence of *C. aurita*. The existing network of protected areas needs to be expanded and connected in order to safeguard viable populations of the species in the future. Many of the areas with high conservation value have other *Callithrix* spp. established, whose impacts must be mitigated for the effectiveness of any conservation approach. There are still gaps in knowledge about the distribution of autochthonous and allochthonous marmosets, and filling these gaps can help refine models and updated planning. With a broad range and high resolution, the prioritizations obtained can be applied at a global or local level, by governments or local actors, with flexibility to meet specific contexts, which must always be considered.

Keywords: ecological niche modeling; systematic planning; climate change; protected areas; population management.

2.1 INTRODUÇÃO

A ação humana é a maior causa contemporânea de declínio da biodiversidade na Terra, promovendo o que parece ser o sexto evento de extinção em massa da história do planeta (Ceballos et al., 2015; Estrada et al., 2017). Por meio da exploração predatória de recursos para suprir estilos de vida insustentáveis, ambientes naturais são convertidos e degradados, e populações de organismos são reduzidas ou extirpadas (Estrada et al., 2017; IPCC, 2023). Seus impactos diretos e indiretos em nível global são tão profundos, que o atual período tem sido chamado de Antropoceno (Ceballos et al., 2015; Keys et al., 2019).

A taxa atual de extinção de espécies de vertebrados pode ser até 100 vezes maior que antes do século XX e a ordem Primates está entre os grupos potencialmente mais afetados (Ceballos et al., 2015; Estrada et al., 2017; Rylands; Mittermeier; Williamson, 2020). A perda de habitat para a agricultura e a pecuária, o desmatamento e o corte seletivo de madeira, a retirada de indivíduos da natureza, as invasões biológicas e a satisfação de inúmeras outras demandas humanas ameaçam mais de 60% das espécies (Estrada et al., 2017; Rylands; Mittermeier; Williamson, 2020). Na região Neotropical, 36% dos primatas estão sob algum risco (Estrada et al., 2017).

Os primatas neotropicais são essencialmente arborícolas, sendo especialmente sensíveis a mudanças no uso e na ocupação do solo (Jerusalinsky; Melo, 2018; Pinto et al., 2023). A perda e a fragmentação florestal prejudicaram a ocorrência e a abundância de várias espécies, como no bioma Mata Atlântica, na América do Sul, que conta com apenas 22,86% de cobertura remanescente, distribuída majoritariamente em fragmentos isolados menores que 50 ha, incutindo mais de 70% dos táxons de primatas em categorias de ameaça de extinção (Rylands et al., 1996; Pinto et al., 2009; Jerusalinsky; Melo, 2018; Matte et al., 2024; Vancine et al., 2024). Separadas por matrizes antrópicas hostis, suas populações pequenas estão à mercê de efeitos adversos de cruzamentos endogâmicos, de colapsos na viabilidade populacional em razão de baixas densidades e de eventos climáticos extremos que podem extingui-las quase instantaneamente (Hedrick; Miller, 1992; Simberloff, 1994; Gibbons; Harcourt, 2009; Graipel et al., 2017; Vancine et al., 2024).

No futuro próximo, as mudanças climáticas se tornarão o principal modulador da sobrevivência dos primatas, superando os impactos do uso do solo (Carvalho et al., 2019; Vale et al., 2021; Winder; Mace; Korstjens, 2023). Entre 2011 e 2020, a temperatura média global foi 1,1°C maior que antes de 1900, atingindo os maiores valores dos últimos 100.000 anos (IPCC, 2023; Ripple et al., 2023). Seus efeitos frequentemente têm se manifestado por ondas de calor extremo, pelo aumento da aridez e de condições propícias a incêndios, e pela intensificação de ciclones e tempestades (IPCC, 2023; Ripple et al., 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023). Há mortalidade imediata pela extrapolação de tolerâncias fisiológicas das espécies ou por catástrofes ambientais (Foden; Young; Watson, 2016; Carvalho et al., 2019; IPCC, 2023; Pozo-Montuy et al., 2024). As alterações em regimes térmicos e hídricos, em intensidade e sazonalidade, afetarão a disponibilidade de habitat e recursos para os primatas, refletindo em sua sobrevivência e reprodução (Foden; Young; Watson, 2016; Carvalho et al., 2019; Chapman et al., 2020; IPCC, 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023; Pinto et al., 2023; Pozo-Montuy et al., 2024). Também podem ocorrer impactos indiretos sobre as interações com outras espécies, como presas, predadores e competidores, ou em sinergia com outros processos de ameaça, como o uso do solo e invasões biológicas (Foden; Young; Watson, 2016).

Na Mata Atlântica, as temperaturas máximas podem sofrer aumentos de até 5,6°C ao longo deste século, com reflexos na adequabilidade e na sazonalidade climática às comunidades vegetais (Colombo; Joly, 2010; Vale et al., 2021). Composições locais e distribuições de fitofisionomias serão alteradas, podendo ser deslocadas em direção ao sul ou para áreas elevadas (Colombo; Joly, 2010; Vale et al., 2021; Coelho et al., 2023; Winder; Mace; Korstjens, 2023). A indisponibilidade de habitat e de recursos alimentares aos primatas consequentemente impactará as extensões de ocorrência de todas as espécies do grupo (Carvalho et al., 2019; Chapman et al., 2020; Pinto et al., 2023). As distribuições dos espaços climáticos adequados podem se tornar disjuntas, e a dispersão para a colonização desses ambientes será dificultada pela fragmentação do bioma, onde a distância média entre os remanescentes é de 832 m, praticamente intransponível para organismos arborícolas (Schloss; Nuñez; Lawler, 2012; Coelho et al., 2023; Vancine et al., 2024).

O sagui-da-serra-escuro, *Callithrix aurita* (Saint-Hilaire, 1812) (Figura 1a), é um pequeno primata endêmico da Mata Atlântica brasileira, distribuído no sul e no sudeste

do estado de Minas Gerais, e nas regiões serranas do Rio de Janeiro e São Paulo, de onde se estende em direção ao interior até áreas de transição com o Cerrado (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 2009; Malukiewicz et al., 2021a). A espécie ocorre na porção mais impactada do bioma, e suspeita-se da redução populacional em mais de 50% nas últimas décadas (Melo et al., 2018; 2021a). É classificada como “Em Perigo” (EN) de extinção em nível nacional e global, e também nos estados de Minas Gerais e São Paulo, e é considerada “Vulnerável” (VU) no Rio de Janeiro (COPAM, 2010; Melo et al., 2018; 2021a). O sagui-da-serra-escuro enfrenta a perda e a fragmentação de habitat, principalmente para a agropecuária e a urbanização, e a competição e a hibridação com saguis congêneres (*Callithrix* spp.) introduzidos em sua extensão de ocorrência – ameaças que serão intensificadas em sinergia com as mudanças climáticas em curso (IUCN SSC, 2000; Foden; Young; Watson, 2016; Melo et al., 2018; Carvalho et al., 2019; Melo et al., 2021a; Amaral et al., 2023; IPCC, 2023; Pinto et al., 2023).

Sob diferentes cenários de aquecimento, *C. aurita* pode perder de 27 a 82% do espaço climaticamente adequado até 2100 (Bráz; Lorini; Vale, 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023). Anormalidades na temperatura, na pluviosidade e em sua sazonalidade, afetarão a deciduidade e a produtividade primária das florestas, que modulam o suprimento e a constância de itens importantes da dieta da espécie, como frutos e artrópodes, impactando sua persistência (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Winder; Mace; Korstjens, 2023; Capítulo 1 deste volume). Apenas uma pequena parcela do espaço climático adequado ao sagui-da-serra-escuro é atualmente coberta por vegetação nativa, e a baixa permeabilidade da matriz dificultará a movimentação de populações entre áreas de menor e maior adequabilidade, agravando os efeitos da perda (Schloss; Nuñez; Lawler, 2012; Carvalho et al., 2019; Pinto et al., 2023). Respostas humanas às mudanças climáticas podem comprometer ainda mais a disponibilidade de habitat, através de adaptações nos meios de produção e da possível busca por refúgio em localidades com climas mais amenos (Foden; Young; Watson, 2016; Carvalho et al., 2019; IPCC, 2023).

Figura 1 – Alguns exemplos de fenótipos puros e híbridos do gênero *Callithrix* presentes na extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Sagui-da-serra-escuro (*C. aurita*); b – Sagui-de-tufos-pretos (*Callithrix penicillata*); c – Híbrido entre *C. aurita* e *C. penicillata* (*Callithrix* sp.); d – Provável híbrido triplo entre o sagui-de-cara-branca (*Callithrix geoffroyi*), o sagui-de-tufos-brancos (*Callithrix jacchus*) e o sagui-de-tufos-pretos (*C. penicillata*)



A irradiação do gênero *Callithrix* é relativamente recente (≈ 5 milhões de anos), e o isolamento reprodutivo incompleto das seis espécies que o compõem permite que o cruzamento interespecífico produza indivíduos híbridos férteis (ver Figura 1c; ver Figura 1d) (Buckner et al., 2015; Malukiewicz, 2018; Malukiewicz et al., 2021b). Nas zonas de contato entre suas distribuições parapátricas há hibridação natural, que pode ser um componente importante para a história evolutiva do grupo (Moraes; Melo, 2011; Malukiewicz, 2018; Pacheco et al., 2024b). Mas devido ao tráfico para o uso como animais de estimação, o sagui-da-cara-branca, *C. geoffroyi* (Saint-Hilaire, 1812), o sagui-de-tufos-brancos, *C. jacchus* (Linnaeus, 1758), e o sagui-de-tufos-pretos, *C. penicillata* (Saint-Hilaire, 1812) (ver Figura 1b), foram introduzidos fora de suas extensões de ocorrência, inclusive na distribuição do sagui-da-serra-escuro (Malukiewicz, 2018; Silva et al., 2018; Malukiewicz et al., 2021a). Vindos de ambientes

mais xéricos, como a Caatinga e o Cerrado, por exemplo, possuem adaptações morfológicas e comportamentais para lidar com a escassez de recursos e com altas temperaturas, se estabelecendo com facilidade em áreas degradadas da Mata Atlântica da região Sudeste do Brasil (Rylands; Coimbra-Filho; Mittermeier, 1993; 2009; Bráz; Lorini; Vale, 2019; Hilário et al., 2021; Ambielle et al., 2024). Têm progressivamente contribuído para o declínio populacional de *C. aurita*, competindo por habitat e por recursos alimentares, e através da hibridação artificial, ou hibridação antropogênica, que causa a erosão genética e conseqüente desaparecimento da espécie nativa (Malukiewicz et al., 2021a; Gestich et al., 2023).

As populações de saguis alóctones também pressionam outros componentes da biodiversidade. Devido às altas densidades populacionais que podem atingir em áreas invadidas, competem por recursos com a fauna nativa, predam invertebrados e pequenos vertebrados, saqueiam ninhos de aves e superexploram inúmeros frutos e outras partes vegetais (Ruiz-Miranda et al., 2006; Malukiewicz et al., 2021a; Zaluar; Vale, 2021). O hábito de consumir goma de árvores extraída por escarificações em troncos e galhos aumenta a probabilidade de morte das plantas, sobretudo de indivíduos jovens, com potencial para retroalimentar a perda de habitat e o aquecimento local e global (Adams et al., 2010; Souza-Alves; Barbosa; Hilário, 2020). E as mudanças climáticas tornam o clima propício para sua proliferação e reduzem o *fitness* de competidores nativos, como *C. aurita*, favorecendo o potencial invasivo destes *Callithrix* spp. (Bráz; Lorini; Vale, 2019; Ambielle et al., 2024).

A intervenção conservacionista mais comum na extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro é a criação de áreas protegidas, no Brasil chamadas de Unidades de Conservação (UCs), que visam delimitar espaços naturais ou seminaturais livres de ameaças a seus alvos (Dudley, 2008; Brasil, 2011; Rylands; Mittermeier; Williamson, 2020; Byers et al., 2022). Mas as UCs já existentes não impedem o acesso de saguis invasores, afetando não apenas *C. aurita*, mas todo um conjunto de biodiversidade que, supostamente, estaria protegido (Jerusalinsky; Melo, 2018; Margules; Pressey, 2000; Byers et al., 2022; Pacheco et al. 2024a). Adicionalmente, as alterações no clima podem não só tornar as UCs atuais irrelevantes à espécie nativa pela perda de adequabilidade ambiental, como podem favorecer nestas ainda mais as invasões por outros saguis (Dudley, 2008; Bráz; Lorini; Vale, 2019; Pinto et al., 2023; Ambielle et al., 2024).

Muitos dos impactos futuros das mudanças climáticas ainda são pouco previsíveis, pois emissões de gases de efeito estufa seguem aumentando, atreladas a contínuas alterações das paisagens para manter padrões de produção e consumo humanos (IPCC, 2023; Ripple et al., 2023). Poucas trajetórias possíveis de emissões são capazes de limitar o aquecimento médio global aos já atingidos 1,5°C, e sem o fortalecimento de políticas de controle emissões destes gases e de uso sustentável de recursos naturais, os cenários mais graves previstos podem ser os mais realistas (Carvalho et al., 2019; IPCC, 2023). Isso faz com que seja impensável conservar espécies tão afetadas pelo clima e pelas alterações da paisagem, e seus desdobramentos, sem considerar estes fatores antropogênicos (Dudley, 2008; IUCN SSC, 2017).

O Antropoceno exige maior intervencionismo para proteger os ecossistemas e as espécies (IUCN SSC, 2000; Dudley, 2008; IUCN SSC, 2013; Ceballos et al., 2015; IUCN SSC, 2017; Keys et al., 2019). No Brasil, o Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira (PAN PPMA) é a principal política pública a direcionar ações voltadas a *C. aurita*, entre outras espécies, incluindo a manutenção de habitats, o manejo da espécie-alvo almejando sua viabilidade, e o manejo de espécies alóctones de importância conservacionista (Brasil, 2018b). Há ainda um programa de conservação transnacional que congrega diversas instituições, o Programa de Conservação dos Saguis-da-Serra, voltado à conservação *in situ* e *ex situ* não apenas do sagui-da-serra-escuro, como também do sagui-da-serra-claro, *Callithrix flaviceps* (Thomas, 1903), “Críticamente em perigo” de extinção pelas mesmas ameaças que *C. aurita* (Melo et al., 2021b; La Salles et al., 2022). Contudo, grupos setoriais chave e governos têm um entendimento incipiente da magnitude dos problemas em curso, fazendo com que as ações sejam usualmente limitadas por recursos financeiros e as respostas sejam lentas, tardias e ineficientes (IUCN SSC, 2000; 2017). Decidir onde intervir por meio de planejamento estratégico pode auxiliar na alocação dos esforços e dos fundos escassos, evitando seu desperdício e tornando factível atingir os objetivos desejados (IUCN SSC, 2017; Byers et al., 2022).

Modelagens estatísticas baseadas na teoria de nicho ecológico combinando ocorrências de espécies-alvo a fatores climáticos e da paisagem e suas mudanças projetadas para o futuro, podem indicar áreas com habitat adequado ou adequável em

longo prazo (Margules; Pressey, 2000; Soberón, 2007; IUCN SSC, 2017; Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020). Sobrepondo-as ao mapeamento das principais ameaças e à abrangência das áreas protegidas já implementadas, e, às lacunas de conhecimento sobre a espacialização das ameaças e a distribuição dos organismos em questão, é possível direcionar ações a contextos específicos (Margules; Pressey, 2000; IUCN SSC, 2017). Algoritmos de decisão que apliquem regras explícitas para a seleção de áreas e ações para a conservação podem ser ferramentas muito convenientes para este propósito (Margules; Pressey, 2000).

Assim, o objetivo geral deste estudo foi indicar espacialmente, em alta resolução (i.e. menor granulação, ou tamanho de *pixel*), áreas e ações prioritárias para a conservação efetiva do sagui-da-serra-escuro a serem implementadas durante os próximos 50 anos (2030 a 2080), embasando tomadas de decisão de nível local a global. Para isto, atendendo aos objetivos específicos de:

1. Mapear as ocorrências conhecidas de *C. aurita* e de *Callithrix* spp. alóctones e seus híbridos na extensão de ocorrência da espécie nativa;
2. Modelar a adequabilidade de nicho climático para *C. aurita* no presente;
3. Projetar para o futuro a adequabilidade climática obtida, considerando os cenários mais graves de mudanças climáticas;
4. Produzir um modelo de adequabilidade da paisagem para *C. aurita*;
5. Mapear vieses amostrais e lacunas de conhecimento sobre a ocorrência da espécie nativa e de saguis invasores;
6. Relacionar, com o uso de algoritmos, os produtos obtidos através dos objetivos específicos supracitados para apontar prioridades de conservação (e.g. criação de áreas protegidas; recuperação de habitats), de manejo populacional (e.g. translocações; controle e/ou erradicação de *Callithrix* spp. invasores) e de pesquisa (e.g. novos levantamentos); e,
7. Disponibilizar em formato *raster* (i.e. arquivo matricial georreferenciado), compatível com sistemas de informação geográfica em geral, os mapas das áreas e ações prioritárias obtidos, facilitando seu uso pelas partes interessadas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho está em confluência com os objetivos específicos do Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira (PAN PPMA) (Brasil, 2018b) de:

- Restaurar, manter e aumentar o habitat e sua conectividade em áreas importantes para a conservação dos táxons alvos do PAN PPMA;
- Manejar populações dos táxons alvo do PAN PPMA visando sua viabilidade; e,
- Manejar primatas alóctones em áreas importantes para a conservação de táxons do PAN PPMA e prevenir a colonização de novas áreas.

O estudo também segue o estabelecido pela Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras (Brasil, 2018a) e pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil, 2011). E atende às orientações da União Internacional Para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN) para:

- O planejamento de conservação de espécies (IUCN SSC, 2017);
- Acessar a vulnerabilidade de espécies às mudanças climáticas (Foden; Young, 2016);
- A prevenção da perda de biodiversidade causada por espécies invasoras (IUCN SSC, 2000);
- A aplicação de categorias de manejo de áreas protegidas (Dudley, 2008);
- A reintrodução de primatas não-humanos (Baker, 2002); e,
- Reintroduções e outras translocações conservacionistas (IUCN SSC, 2013).

Todo o geoprocessamento envolvendo a delimitação da área de estudo, a triagem inicial de pontos de ocorrência de saguis, a priorização de áreas e a elaboração de mapas foi desenvolvido com o *software* QGIS 3.22 (QGIS Development Team, 2022). O refinamento de bancos de dados de ocorrências, as análises estatísticas e os modelos ecológicos foram realizados em ambiente de programação em linguagem R! (R Core Team, 2023).

Ademais, é importante ressaltar que há incertezas embutidas em qualquer processo de modelagem de nicho, inclusive no descrito adiante. A detectabilidade

imperfeita e a natureza descontínua de distribuições e abundâncias das espécies faz com que modelos ecológicos sejam meras aproximações da realidade, sobretudo para o futuro, pois os estados das variáveis utilizadas são sempre projeções ou suposições (Brown; Stevens; Kaufman, 1996; Pinto et al., 2009; Foden; Pacifici; Hole, 2016; IUCN SSC, 2017).

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo foi delimitada por um *buffer* de 200 km a partir da extensão de ocorrência mais atualizada para o sagui-da-serra-escuro (Vital et al., no prelo²), permitindo que os modelos ecológicos fossem construídos através de comparações realistas entre locais em que a espécie pode ocorrer e onde certamente não ocorre (Elith et al., 2011; Sillero; Barbosa, 2020). Por não serem acessíveis à espécie, ilhas marítimas foram desconsideradas.

2.2.2 Curadoria de dados

2.2.2.1 Pontos de ocorrência de *Callithrix* spp.

Para compor o banco de dados de ocorrências de *C. aurita*, foram reunidos registros contidos em Guniel-Cunha et al. (2021), Vital et al. (no prelo³) e no Capítulo 1 deste volume, e cedidas por Álvaro Fulgêncio, Paula Cabral, Paulo Rodrigo Dias e Wagner Lacerda. O conjunto de presenças de saguis alóctones e híbridos antropogênicos foi construído a partir de dados de Pacheco et al. (2021), Vital et al. (no prelo³) e do Capítulo 1 deste volume. De ambos os bancos de dados foram eliminadas as ocorrências duplicadas, explicitamente incorretas, menos precisas (i.e. coordenadas com menos de três casas decimais), ou anteriores a 1970. Também foram desconsideradas aquelas externas a um raio de até 10 km dos limites da distribuição geográfica da espécie nativa (Vital et al., no prelo²).

² Vital, O. V. et al. Atualização das extensões de ocorrência e áreas de distribuição dos saguis-da-serra: *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps*. In: Carvalho et al. (orgs.). Programa de Conservação dos Saguis-da-serra (*Callithrix aurita* e *C. flaviceps*): prioridades e protocolos de pesquisa e manejo. No prelo.

³ Vital, O. V. et al. Banco de dados sobre registros de ocorrência de *Callithrix*. In: Carvalho et al. (orgs.). Programa de Conservação dos Saguis-da-serra (*Callithrix aurita* e *C. flaviceps*): prioridades e protocolos de pesquisa e manejo. No prelo.

2.2.2.2 Variáveis ambientais

Como variáveis para a construção do modelo de nicho climático para *C. aurita* no presente, foram obtidas do *site* WorldClim 19 camadas *raster* em resolução de 1 km² derivadas de médias históricas de pluviosidade e temperatura de 1970 a 2000, além de um modelo digital de elevação (Fick; Hijmans, 2017), visto que a altitude influencia padrões climáticos locais na Mata Atlântica (Vale et al., 2021) (Tabela 1). Estas camadas foram recortadas pelos limites da área de estudo, e para a obtenção de um conjunto não colinear, foram submetidas a análise de correlação de Pearson ($|r| < 0,85$) (Elith et al., 2011; De Marco Jr.; Nóbrega, 2018; Sillero; Barbosa, 2020).

Tabela 1 – Camadas ambientais do WorldClim. °C = Graus Celsius; CV = Coeficiente de variação; mm = Milímetros; m = Metros

Código	Variável	Unidade
BIO1	Temperatura média anual	°C
BIO2	Amplitude térmica diurna média (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	°C
BIO3	Isotermalidade ((BIO2 / BIO7) × 100)	Razão
BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão × 100)	CV
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
BIO6	Temperatura mínima de mês mais frio	°C
BIO7	Amplitude térmica anual média (BIO5 - BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO13	Precipitação do mês mais úmido	mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco	mm
BIO15	Sazonalidade da precipitação (desvio padrão × 100)	CV
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm
ELEV	Elevação	m

Para modelar a adequabilidade de nicho climático para *C. aurita* no futuro, entre 2061 e 2080, as mesmas camadas climáticas foram derivadas de projeções de modelos de circulação global (GCMs) com boa performance na Mata Atlântica ou frequentemente utilizados em trabalhos similares: ACCESS-CM2, HadGEM3-GC31-LL, MIROC6 e MRI-ESM2-0 (Ridley et al., 2018; Braz; Lorini; Vale, 2019; Tatebe et al,

2019; Yukimoto et al., 2019; Daohua et al., 2020; Vale et al., 2021; Amaral et al., 2023; Bataillard et al., 2024). Oriundos da fase 6 do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6), e também disponíveis no WorldClim, esses GCMs foram utilizados sob as previsões do caminho socioeconômico compartilhado (*shared socioeconomic pathway* – SSP) 5, que prevê forçamento radiativo projetado de 8,5 W/m² para 2100 (SSP5-8,5) (Eyring et al., 2016; Meinshausen et al., 2020; IPCC, 2023).

Para modelar a adequabilidade da paisagem para *C. aurita*, seis camadas *raster* de porcentagens de classes de cobertura vegetal em resolução de 1 km² foram obtidas da plataforma *online* EarthEnv: vegetação arbórea perenifólia; vegetação arbórea caducifólia; vegetação mista e outras; vegetação arbustiva; vegetação cultivada e manejada; e vegetação herbácea (Tuanmu; Jetz, 2014). Estas camadas também foram recortadas pelos limites da área de estudo.

2.2.3 Adequabilidade ambiental atual e futura

A matriz com os pontos de ocorrência de *C. aurita* foi convertida em *shapefile* e recortada pelos limites da área de estudo (Hijmans et al., 2024). As variáveis climáticas históricas (1970 a 2000) e o modelo digital de elevação, além das projeções climáticas futuras (2061 a 2080) derivadas dos diferentes GCMs (i.e. ACCESS-CM2, HadGEM3-GC31-LL, MIROC6 e MRI-ESM2-0), também foram recortados pelos limites da área de estudo (Ridley et al., 2018; Tatebe et al., 2019; Yukimoto et al., 2019; Daohua et al., 2020; Hijmans et al., 2024). As informações das camadas ambientais foram extraídas para os pontos de ocorrência, e as células com ausência de dados foram removidas (Hijmans et al., 2024).

Na camada de ocorrências, foi executada rarefação espacial mantendo o mínimo de 3 km de distância entre as localizações restantes (Aiello-Lammens et al., 2019). Pontos situados a até 3 km de instituições de pesquisa, a até 3 km de centroides de municípios, ou a até 10 km de centroides de capitais, foram eliminados (Zizka et al., 2023), por não representarem as condições ambientais esperadas para uma espécie florestal. Também foram removidos os *outliers* pelo método dos quantis (Zizka et al., 2023). Após checagem individual com uso do *software* Google Earth Pro 7.3.6.9345 (Google, 2022), foram eliminadas quaisquer ocorrências não situadas em superfícies arborizadas.

Foram gerados, aleatoriamente, pontos de pseudoausência, em mesma quantidade que os pontos de ocorrência, e 10.000 pontos de fundo (i.e. pontos de *background*), dentro dos limites da área a ser modelada (Amaral et al., 2023; Hijmans et al., 2023; 2024). Os dados das camadas ambientais também foram extraídos para as pseudoausências e para os pontos de *background* (Hijmans et al., 2024). Organizados em matrizes, os dados foram condicionados a se comportarem como objetos (Wickham et al., 2023).

As ocorrências de *C. aurita* foram particionadas em dados de treino e teste pelo método Checkerboard, agrupando-os de forma espacialmente independente em blocos de 2x2 células (Kass et al., 2023). O conjunto de treino foi utilizado para calibrar modelos de envelope climático, que necessitam apenas de dados de presença: BIOCLIM, um envelope retilíneo multinível; e Gower Distance, ou DOMAIN, um envelope *fuzzy* (Foden; Young, 2016; Amaral et al., 2023; Hijmans et al., 2023). Os pontos de *background*, juntamente com os dados de treino, foram empregados na calibração de modelos de aprendizagem de máquina: Maxent, baseado no princípio da máxima entropia; e Support Vector Machine (SVM) (Foden; Young, 2016; Amaral et al., 2023; Hijmans et al., 2023; Karatzoglou et al., 2024). Um modelo de Redes Neurais Artificiais, também baseado em aprendizagem de máquina, foi calibrado com uso dos dados de treino e das pseudoausências (Ripley; Venables, 2023). As pseudoausências e os dados de treino também foram aplicados na calibração de Modelo Linear Generalizado (GLM), baseado em regressão estatística (Foden; Young, 2016; Bolar, 2019; Amaral et al., 2023).

Após serem projetados geograficamente na área de estudo para o presente com base nas variáveis ambientais históricas, os modelos foram avaliados com uso dos dados de teste através do método *true skill statistic* (TSS) (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006; Somodi; Lepesi; Botta-Dukát, 2017; Kass et al., 2023; Hijmans et al., 2024). Os resultados variam de -1 a 1, onde, quanto mais próximos de 1, melhor o desempenho dos modelos (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006). Foram retidos aqueles com valores iguais ou superiores a 0,6, e utilizados para a construção de um modelo consensual de nicho climático presente para o sagui-da-serra-escuro através da média ponderada pelos respectivos valores de TSS (Araújo; New, 2007).

Os modelos selecionados foram projetados para o futuro (2061 a 2080) utilizando o mesmo conjunto de camadas climáticas, mas sendo derivadas dos quatro GCMs

(ACCESS-CM2, HadGEM3-GC31-LL, MIROC6 e MRI-ESM2-0), em conjunto com o modelo digital de elevação (Hijmans et al., 2023). Foram utilizados os mesmos algoritmos que obtiveram resultados satisfatórios ($TSS \geq 0,6$) para os modelos no presente sobre cada um dos GCMs, para os quais foram gerados modelos de consenso ponderado pelos valores de TSS obtidos na etapa anterior (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006; Araújo; New, 2007; Somodi; Lepesi; Botta-Dukát, 2017). Um modelo de consenso de adequabilidade de nicho climático futuro para *C. aurita* entre estas quatro projeções consensuais foi construído sob a média simples das mesmas (Araújo; New, 2007).

Para a construção de modelos de adequabilidade da paisagem para o sagui-da-serra-escuro, as camadas de cobertura vegetal foram recortadas pelos limites da área de estudo, tendo suas informações extraídas para os pontos de ocorrência já triados, e com as células com dados ausentes sendo removidas (Hijmans et al., 2024). Foram gerados pontos de pseudoausência e *background*, para os quais foram extraídos os dados ambientais, como foi feito na modelagem de nicho climático, e armazenados em matrizes orientadas a objetos (Amaral et al., 2023; Hijmans et al., 2023; Wickham et al., 2023; Hijmans et al., 2024).

Após a partição dos dados em conjuntos de treino e de teste por Checkerboard (Kass et al., 2023), foram gerados modelos através dos métodos explicitados na etapa anterior (i.e. BIOCLIM, DOMAIN, Maxent, SVM, Redes Neurais Artificiais e GLM) (Foden; Young, 2016; Bolar, 2019; Amaral et al., 2023; Hijmans et al., 2023; Ripley; Venables, 2023; Karatzoglou et al., 2024). Os modelos foram avaliados por TSS, sendo retidos aqueles com valores iguais ou superiores a 0,4, e utilizados para a elaboração de um modelo de consenso de adequabilidade da paisagem para *C. aurita* ponderado por seus respectivos valores de TSS (Allouche; Tsoar; Kadmon, 2006; Araújo; New, 2007; Gomides et al., 2021).

Foi gerado um modelo de consenso por média ponderada para a adequabilidade ambiental atual ao sagui-da-serra-escuro (i.e. adequabilidade climática presente, baseada em dados de 1970 a 2000, em conjunto com a adequabilidade da paisagem) (Araújo; New, 2007). Foi atribuído peso 2 para a adequabilidade climática e peso 1 para a adequabilidade da paisagem, dado o fato de que condições climáticas podem ser mais limitantes à ocorrência da espécie que a vegetação (Capítulo 1 deste volume). O mesmo foi feito para a adequabilidade ambiental futura a *C. aurita* (i.e.

adequabilidade climática projetada para 2061 a 2080 em conjunto com a adequabilidade da paisagem), mas sem considerar alterações na cobertura vegetal nos próximos anos, tendo em vista as baixas taxas de desmatamento atuais na Mata Atlântica, embora possa haver empobrecimento do habitat no futuro (Colombo; Joly, 2010; Vancine et al., 2024).

2.2.4 Priorizações espaciais

Os modelos de adequabilidade ambiental para o sagui-da-serra-escuro para o presente e para o futuro foram recortados por um *buffer* de 10 km ao redor de sua extensão de ocorrência atualizada, limitando as priorizações à distribuição geográfica da espécie nativa (Vital et al., no prelo⁴). Através da densidade de Kernel, com resolução de 1 km² e raio de 50 km (Hamilton, 2024), foram gerados mapas de concentração dos registros contidos nos bancos de dados de ocorrências para *C. aurita* e para outros *Callithrix*, invasores e seus híbridos antropogênicos, além de um mapa de consenso entre ambos. Todos estes produtos tiveram seus valores convertidos em escalas entre 0 e 1, e foram empregados na construção de algoritmos com regras explícitas para a identificação espacial de prioridades de conservação para o sagui-da-serra-escuro (Margules; Pressey, 2000).

Para definir as necessidades de conservação (i.e. áreas destináveis à proteção e à restauração de habitats), foi atribuído peso 2 à camada de adequabilidade ambiental futura (AA), que foi somada à subtração entre a densidade de ocorrência de *C. aurita* (DA) e a densidade de presenças de *Callithrix* spp. alóctones e seus híbridos (DC), e dividida por 3, resultando na fórmula: $((2 \times AA) + (DA - DC)) / 3$. Indicando assim, entre 0 e 1, os níveis locais de prioridade, considerando áreas com ambiente adequado frente às mudanças climáticas onde existe a espécie nativa livre de saguis introduzidos.

As áreas prioritárias para o manejo populacional (i.e. áreas com necessidade de intervenção humana para garantir a viabilidade das populações de saguis nativos), foram definidas com o uso da fórmula: $((2 \times AA) + DA + DC) / 4$. A adequabilidade

⁴ Vital, O. V. et al. Atualização das extensões de ocorrência e áreas de distribuição dos saguis-da-serra: *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps*. In: Carvalho et al. (orgs.). Programa de Conservação dos Saguis-da-serra (*Callithrix aurita* e *C. flaviceps*): prioridades e protocolos de pesquisa e manejo. No prelo.

ambiental futura, com peso 2, foi somada às densidades de ocorrências de saguis autóctones e alóctones e dividida por 4, explicitando, localmente, entre 0 e 1, onde provavelmente haverá habitat adequado, é conhecida a presença de *C. aurita*, mas também de saguis alóctones e/ou híbridos.

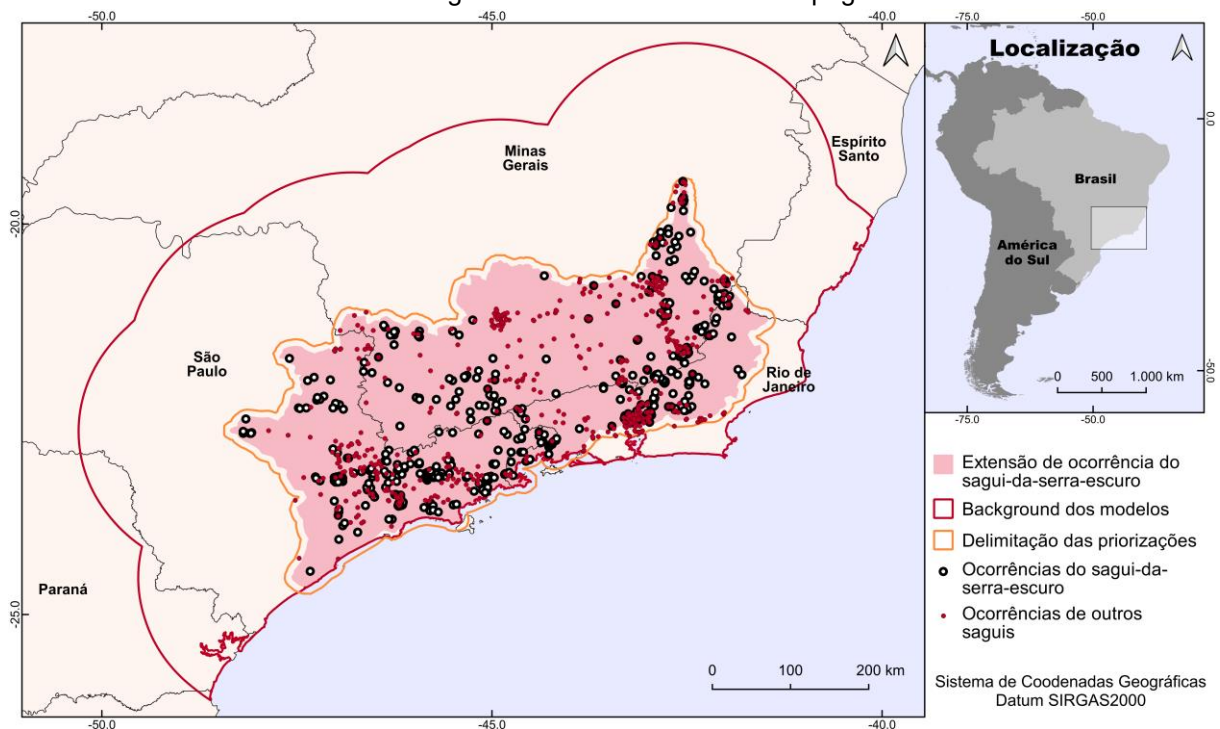
A priorização das lacunas de pesquisa apontou a probabilidade, de 0 a 1, de áreas com elevada adequabilidade ambiental sob as mudanças climáticas, mas com conhecimento limitado de ocorrências de saguis, alóctones ou autóctones. A camada de consenso entre as densidades de ocorrências de saguis nativos e invasores (CS) foi subtraída da adequabilidade ambiental futura, com peso 2, e dividida por 2, cuja fórmula é: $((2 \times AA) - (CS)) / 2$.

A prioridade foi considerada baixa quando menor que 0,25, alta entre 0,25 e 0,5, muito alta de 0,5 a 0,75, e extremamente alta de 0,75 em diante. Para possibilitar a discussão a respeito efetividade da cobertura de proteção já existente, sobre todos os mapas obtidos foram sobrepostas as redes de UCs de proteção integral nacionais, estaduais e municipais, e reservas particulares do patrimônio natural, as RPPNs, dada a sua perpetuidade (Margules; Pressey, 2000; Brasil, 2011; Byers et al., 2022). Fazendo uso da flexibilidade e da alta resolução dos mapas de prioridades obtidos, as decisões de ação podem e devem ser tomadas em nível local e global, conforme discutido adiante (Margules; Pressey, 2000; Byers et al., 2022).

2.3 RESULTADOS

A área de estudo teve extensão total de 449.040 km², compreendendo um *background* de 646.618 *pixels*. Após a triagem inicial, foram reunidas 480 ocorrências de *C. aurita*, frente às 583 de outros saguis, entre alóctones e híbridos antropogênicos (Figura 2). Para as modelagens ecológicas, foram isolados 189 registros confiáveis da espécie nativa.

Figura 2 – Preenchida em rosa: extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) atualizada (Vital et al., no prelo); Demarcada em vinho: delimitação da área de estudo para as modelagens ecológicas (i.e. *background*); Demarcada em laranja: delimitação da área geográfica alvo das priorizações conservacionistas; Pontos preto e brancos: ocorrências do sagui-da-serra-escuro; Pontos vermelhos: ocorrências de saguis alóctones e híbridos antropogênicos



Através do teste de correlação de Pearson, foram selecionadas 10 covariáveis menos correlacionadas ($|r| < 0,85$) para compor os modelos de adequabilidade climática: amplitude térmica diurna média; isothermalidade; sazonalidade da temperatura; amplitude térmica anual média; temperatura média do trimestre mais seco; precipitação anual; precipitação do mês mais seco; precipitação do trimestre mais úmido; precipitação do trimestre mais quente; e o modelo digital de elevação (Tabela 2).

Tabela 2 – Matriz de correlação entre as camadas do WorldClim na extensão do *background*, obtida através do teste de correlação de Pearson; BIO1 = Temperatura média anual; BIO2 = Amplitude térmica diurna média; BIO3 = Isotermalidade; BIO4 = Sazonalidade da temperatura; BIO5 = Temperatura máxima do mês mais quente; BIO6 = Temperatura mínima do mês mais frio; BIO7 = Amplitude térmica anual média; BIO8 = Temperatura média do trimestre mais úmido; BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente; BIO11 = Temperatura média do trimestre mais frio; BIO12 = Precipitação anual; BIO13 = Precipitação do mês mais úmido; BIO14 = Precipitação do mês mais seco; BIO15 = Sazonalidade da precipitação; BIO16 = Precipitação do trimestre mais úmido; BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco; BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente; BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio; ELEV = Elevação; Colinearidades elevadas ($|r| > 0,85$) destacadas em negrito

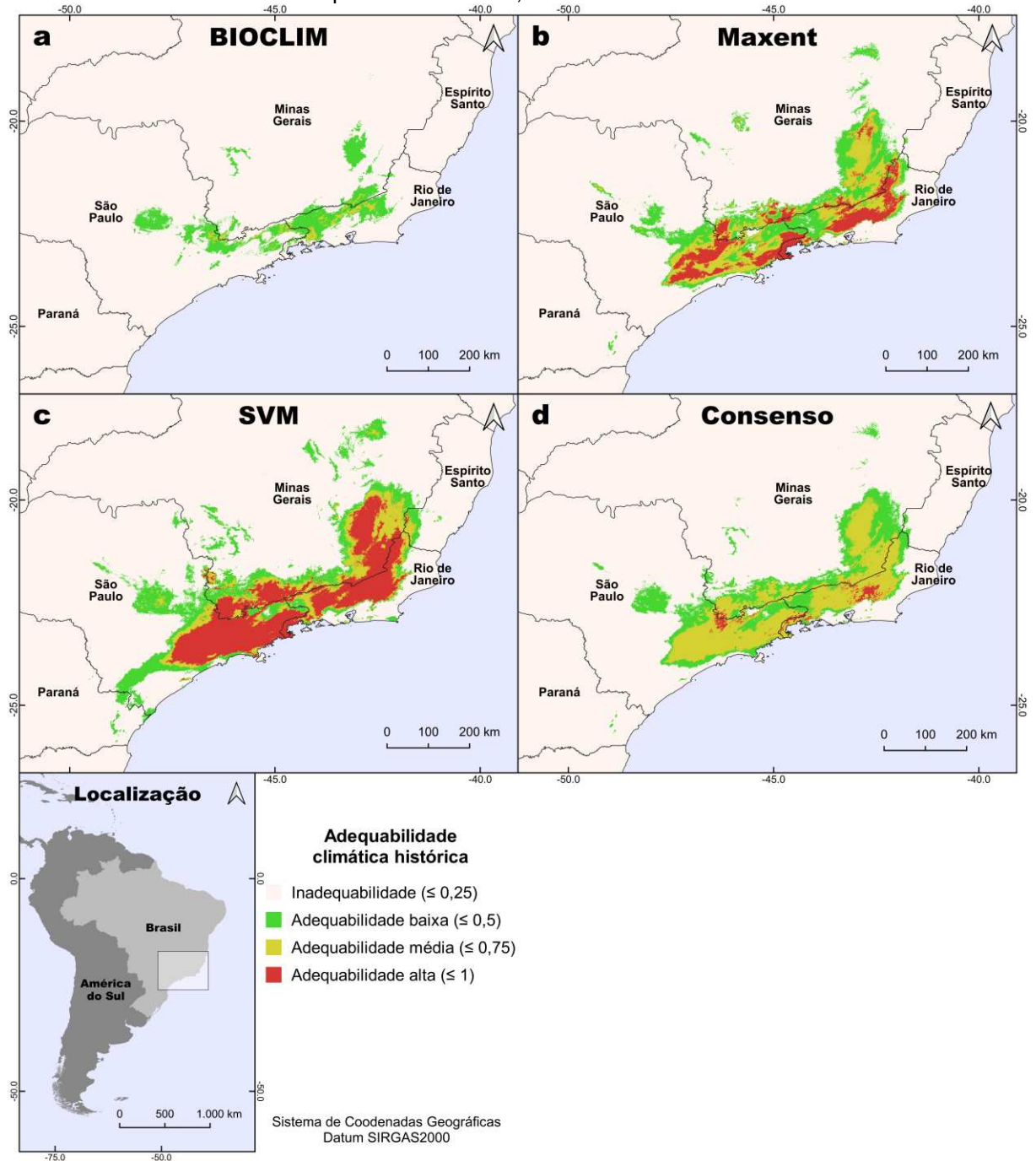
	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19	ELEV
BIO1	1	-0,02	0,21	-0,36	0,96	0,91	-0,24	0,94	0,99	0,98	0,99	-0,46	-0,42	-0,16	0,04	-0,42	-0,17	-0,50	-0,16	-0,88
BIO2	-0,02	1	0,80	-0,23	0,11	-0,39	0,83	-0,16	-0,02	-0,14	-0,03	-0,33	0,18	-0,69	0,63	0,14	-0,67	-0,03	-0,60	0,36
BIO3	0,21	0,80	1	-0,71	0,19	-0,03	0,33	-0,04	0,27	0,02	0,27	-0,48	0,09	-0,79	0,71	0,05	-0,80	-0,24	-0,74	0,23
BIO4	-0,36	-0,23	-0,71	1	-0,24	-0,36	0,29	-0,06	-0,46	-0,17	-0,49	0,31	-0,11	0,60	-0,61	-0,10	0,66	0,33	0,68	0,02
BIO5	0,96	0,11	0,19	-0,24	1	0,82	-0,01	0,92	0,93	0,96	0,93	-0,50	-0,45	-0,17	0,02	-0,45	-0,17	-0,52	-0,15	-0,86
BIO6	0,91	-0,39	-0,03	-0,36	0,82	1	-0,58	0,87	0,92	0,92	0,93	-0,35	-0,47	0,07	-0,17	-0,46	0,05	-0,52	0,03	-0,91
BIO7	-0,24	0,83	0,33	0,29	-0,01	-0,58	1	-0,23	-0,28	-0,24	-0,31	-0,09	0,18	-0,37	0,32	0,16	-0,33	0,16	-0,27	0,37
BIO8	0,94	-0,16	-0,04	-0,06	0,92	0,87	-0,23	1	0,90	0,98	0,89	-0,35	-0,48	0,07	-0,19	-0,47	0,08	-0,37	0,10	-0,94
BIO9	0,99	-0,02	0,27	-0,46	0,93	0,92	-0,28	0,90	1	0,95	1	-0,47	-0,41	-0,19	0,07	-0,41	-0,21	-0,52	-0,19	-0,84
BIO10	0,98	-0,14	0,02	-0,17	0,96	0,92	-0,24	0,98	0,95	1	0,94	-0,41	-0,49	0,01	-0,13	-0,48	0,00	-0,48	0,01	-0,95
BIO11	0,99	-0,03	0,27	-0,49	0,93	0,93	-0,31	0,89	1	0,94	1	-0,47	-0,39	-0,21	0,10	-0,39	-0,22	-0,52	-0,22	-0,84
BIO12	-0,46	-0,33	-0,48	0,31	-0,50	-0,35	-0,09	-0,35	-0,47	-0,41	-0,47	1	0,69	0,53	-0,16	0,77	0,50	0,84	0,47	0,32
BIO13	-0,42	0,18	0,09	-0,11	-0,45	-0,47	0,18	-0,48	-0,41	-0,49	-0,39	0,69	1	0,10	0,56	0,97	-0,24	0,75	-0,26	0,56
BIO14	-0,16	-0,69	-0,79	0,60	-0,17	0,07	-0,37	0,07	-0,19	0,01	-0,21	0,53	0,10	1	-0,89	-0,11	0,99	0,21	0,97	-0,22
BIO15	0,04	0,63	0,71	-0,61	0,02	-0,17	0,32	-0,19	0,07	-0,13	0,10	-0,16	0,56	-0,89	1	0,50	0,92	0,10	-0,92	0,34
BIO16	-0,42	0,14	0,05	-0,10	-0,45	-0,46	0,16	-0,47	-0,41	-0,48	-0,39	0,77	0,97	-0,11	0,50	1	-0,15	0,81	-0,18	0,54
BIO17	-0,17	-0,67	-0,80	0,66	-0,17	0,05	-0,33	0,18	-0,21	0,00	-0,22	0,50	-0,24	0,99	-0,92	-0,15	1	0,21	0,99	-0,21
BIO18	-0,50	-0,03	-0,24	0,33	-0,52	-0,52	0,16	-0,37	-0,52	-0,48	-0,52	0,84	0,75	0,21	0,10	0,81	0,21	1	0,22	0,46
BIO19	-0,16	-0,60	-0,74	0,68	-0,16	0,03	-0,27	0,10	-0,19	0,01	-0,22	0,47	-0,26	0,97	-0,92	-0,18	0,99	0,22	1	-0,20
ELEV	-0,88	0,36	0,23	0,02	-0,86	-0,91	0,37	-0,94	-0,84	-0,95	-0,84	0,32	0,56	-0,22	0,34	0,54	-0,21	0,46	-0,20	1

Dentre os seis métodos empregados na modelagem de nicho climático presente, apenas três geraram modelos com valores de TSS satisfatórios ($TSS \geq 0,6$), sendo utilizados na construção do modelo de consenso através da média ponderada entre estes valores: BIOCLIM ($TSS = 0,61$), Maxent ($TSS = 0,72$) e SVM ($TSS = 0,72$). Os resultados da avaliação dos desempenhos encontram-se na Tabela 3. As distribuições espaciais da adequabilidade climática fornecidas pelos métodos bem avaliados, como também o consenso entre eles, constam na Figura 3, de a a d.

Tabela 3 – Resultados da avaliação por *true skill statistic* (TSS) dos modelos de adequabilidade climática gerados por diferentes métodos. * Modelos avaliados satisfatoriamente ($TSS \geq 0,6$)

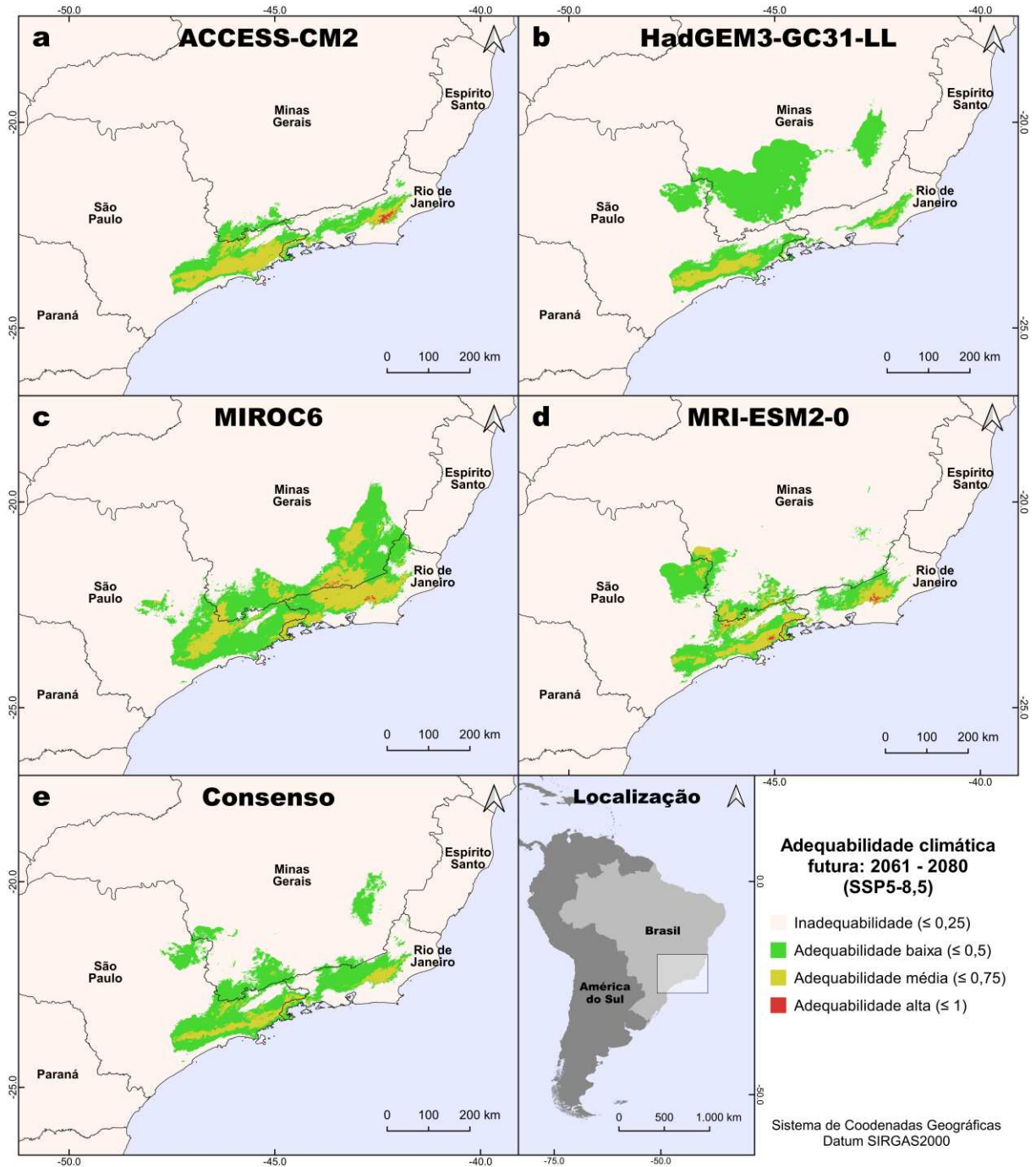
Método	<i>True Skill Statistic</i> (TSS)
* BIOCLIM	0,6123188
DOMAIN	0,5932971
* Maxent	0,7210145
* Support Vector Machine (SVM)	0,7210145
Redes Neurais Artificiais	0,0000000
Modelo Linear Generalizado (GLM)	0,5697464

Figura 3 – Distribuição da adequabilidade de nicho climático presente (i.e. baseado em dados de 1970 a 2000) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Modelo construído com o uso do BIOCLIM; b – Modelo construído com o uso do Maxent; c – Modelo construído com o uso de SVM; d – Modelo construído através do consenso ponderado entre a, b e c



A distribuição espacial da adequabilidade de nicho climático para *C. aurita* projetada para o futuro (2061 a 2080) pelos GCMs utilizados é ilustrada na Figura 4, de a a d.

Figura 4 – Distribuição da adequabilidade de nicho climático futuro (2061 a 2080) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global ACCESS-CM2; b – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global HadGEM3-GC31-LL; c – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global MIROC6; d – Projeção construída com o uso do modelo de circulação global MRI-ESM2-0; e – Modelo construído através do consenso entre a, b, c e d



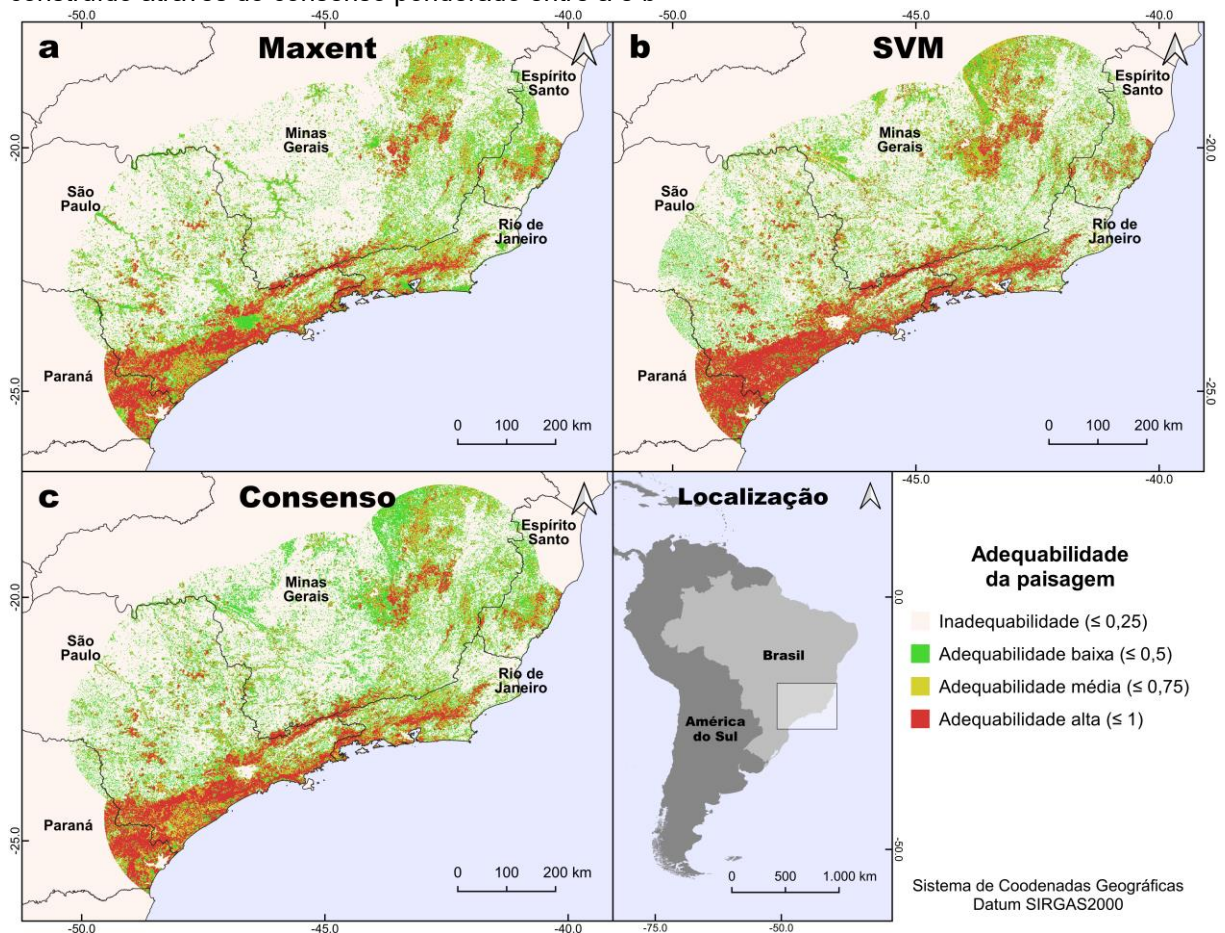
Para a modelagem da adequabilidade da paisagem para o sagui-da-serra-escuro, apenas dois dos seis métodos utilizados geraram resultados de TSS satisfatórios ($TSS \geq 0,4$): Maxent ($TSS = 0,55$) e SVM ($TSS = 0,45$) (Tabela 4). A distribuição da adequabilidade da paisagem obtida pelo Maxent pode ser observada

na Figura 5a, a distribuição da adequabilidade da paisagem modelada por SVM é exibida na Figura 5b, e o consenso ponderado por TSS para estes modelos consta na Figura 5c.

Tabela 4 – Resultados da avaliação por *true skill statistic* (TSS) dos modelos de adequabilidade da paisagem gerados por diferentes métodos. * Modelos avaliados satisfatoriamente ($TSS \geq 0,4$)

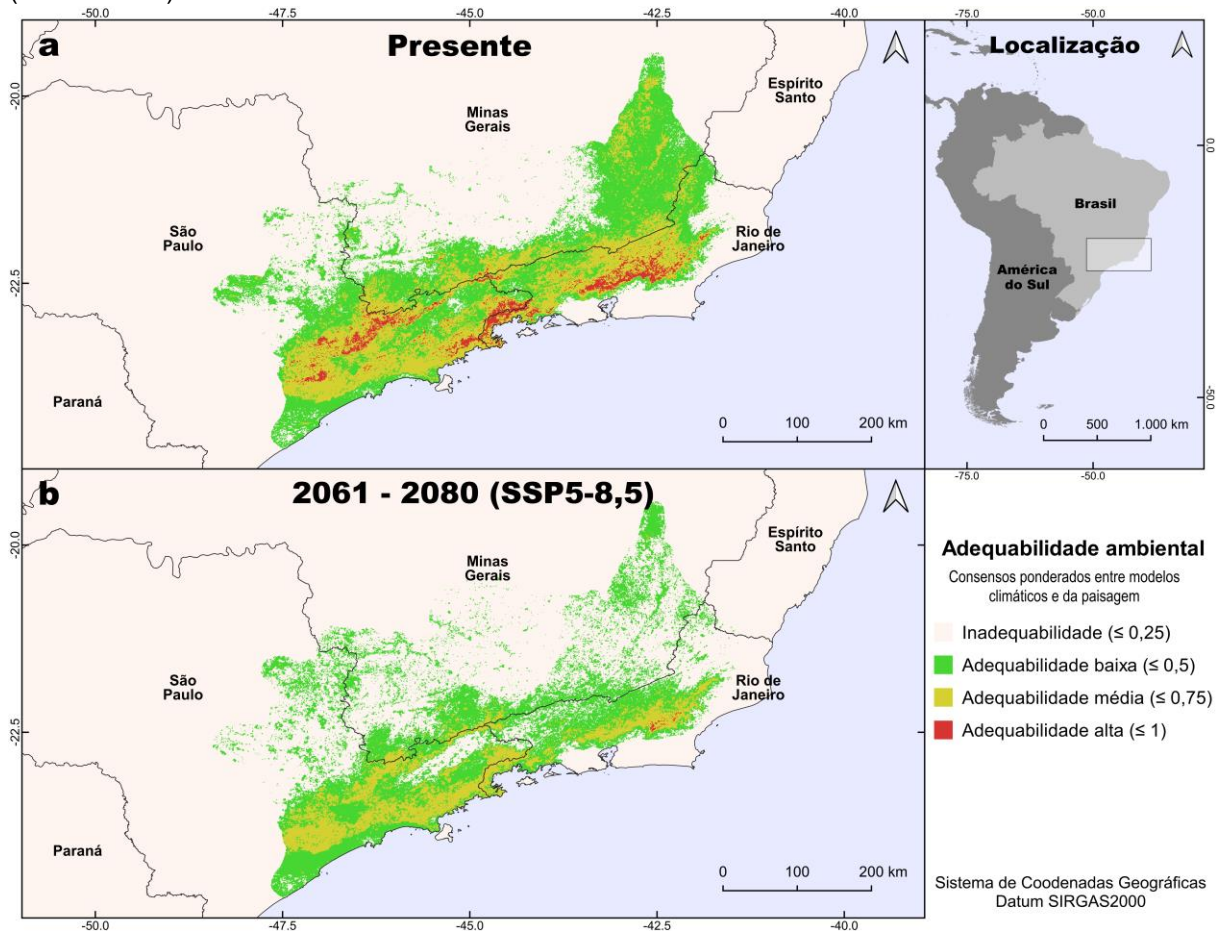
Método	<i>True Skill Statistic</i> (TSS)
BIOCLIM	0,2875000
DOMAIN	0,2666667
* Maxent	0,5541667
* Support Vector Machine (SVM)	0,4458333
Redes Neurais Artificiais	0,3166667
Modelo Linear Generalizado (GLM)	0,3458333

Figura 5 – Distribuição da adequabilidade da paisagem para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*). a – Modelo construído com o uso do Maxent; b – Modelo construído com o uso de SVM; c – Modelo construído através do consenso ponderado entre a e b



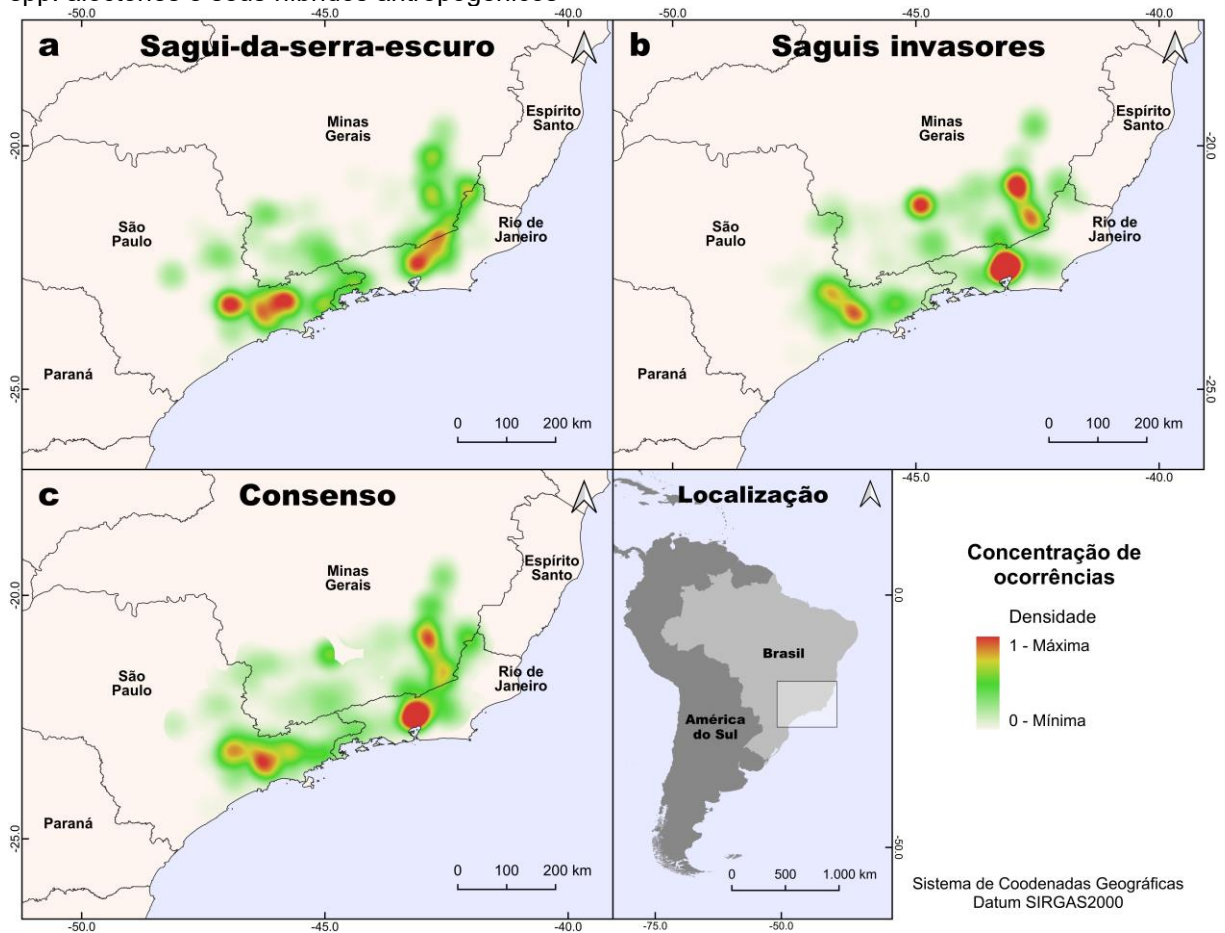
A confluência entre a adequabilidade climática e a adequabilidade da paisagem, designada como a adequabilidade ambiental, é ilustrada na Figura 6. A Figura 6a indica a distribuição da adequabilidade ambiental para *C. aurita* no presente, enquanto a Figura 6b representa essa distribuição no futuro (2061 a 2080).

Figura 6 – Distribuição da adequabilidade ambiental (i.e. consenso entre a adequabilidade de nicho climático e da paisagem) para o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) em sua extensão de ocorrência. a – Distribuição da adequabilidade ambiental para *C. aurita* obtida para o presente; b – Projeção da distribuição da adequabilidade ambiental para *C. aurita* obtida para o futuro (2061 a 2080)



Na Figura 7, estão representados a densidade de registros do sagui-da-serra-escuro (Figura 7a), a densidade de registros de saguis alóctones e híbridos antropogênicos (Figura 7b), e o consenso entre as densidades de registros de *C. aurita* e de *Callithrix* spp. invasores e seus híbridos (Figura 7c).

Figura 7 – Concentração de ocorrências de *Callithrix* spp. na área de estudo. a – Densidade de registros do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*); b – Densidade de registros de *Callithrix* spp. alóctones e seus híbridos antropogênicos; c – Consenso entre as densidades de registros de *C. aurita* e *Callithrix* spp. alóctones e seus híbridos antropogênicos



O mapeamento das áreas prioritárias para a conservação de *C. aurita* (i.e. áreas destináveis à proteção e à restauração de habitats) com a sobreposição da rede de UCs de proteção integral já existentes na distribuição da espécie é exibido na Figura 8. Na Figura 9, são indicadas as áreas prioritárias para o manejo populacional intervencionista para a conservação do sagui-da-serra-escuro (i.e. translocações de espécimes nativos e controle e/ou erradicação de *Callithrix* spp. invasores e seus híbridos) sobrepostas à rede de UCs de proteção integral já existentes na distribuição da espécie. A espacialização de áreas prioritárias para novos levantamentos (i.e. amostragem de saguis *in situ*) com a sobreposição da rede de UCs de proteção integral na extensão de ocorrência de *C. aurita* encontra-se na Figura 10.

O *download* das priorizações em formato *raster* é livre através do *link*: <https://drive.google.com/drive/folders/1s8MPBzFg7bQ_ik5_yU5qmPW3Ju03CmsF?usp=sharing>.

Figura 8 – Áreas prioritárias para a conservação do sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de *C. aurita* delimitada em marrom

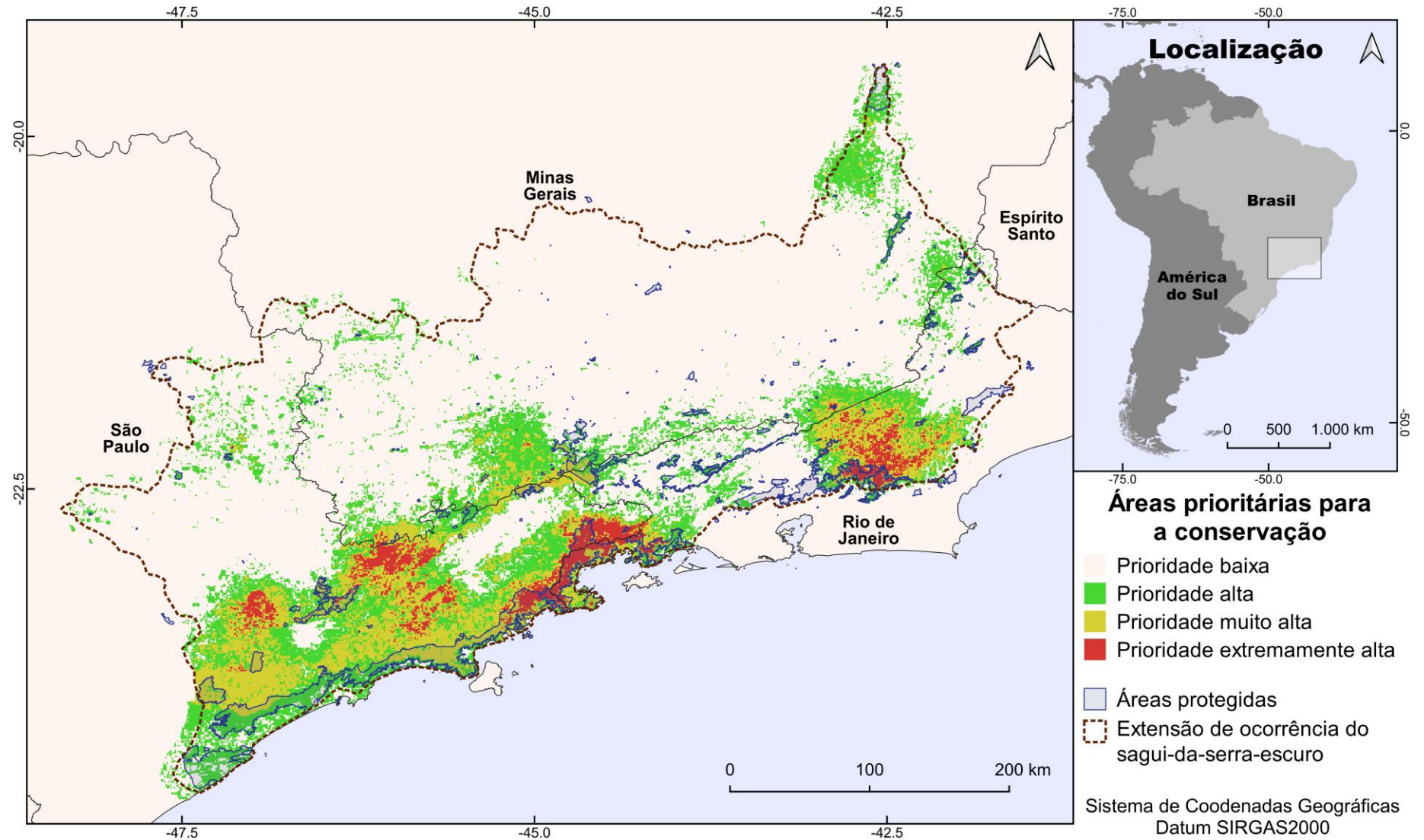


Figura 9 – Áreas prioritárias para o manejo populacional de *Callithrix* spp. nativos e invasores sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de *Callithrix aurita* delimitada em marrom

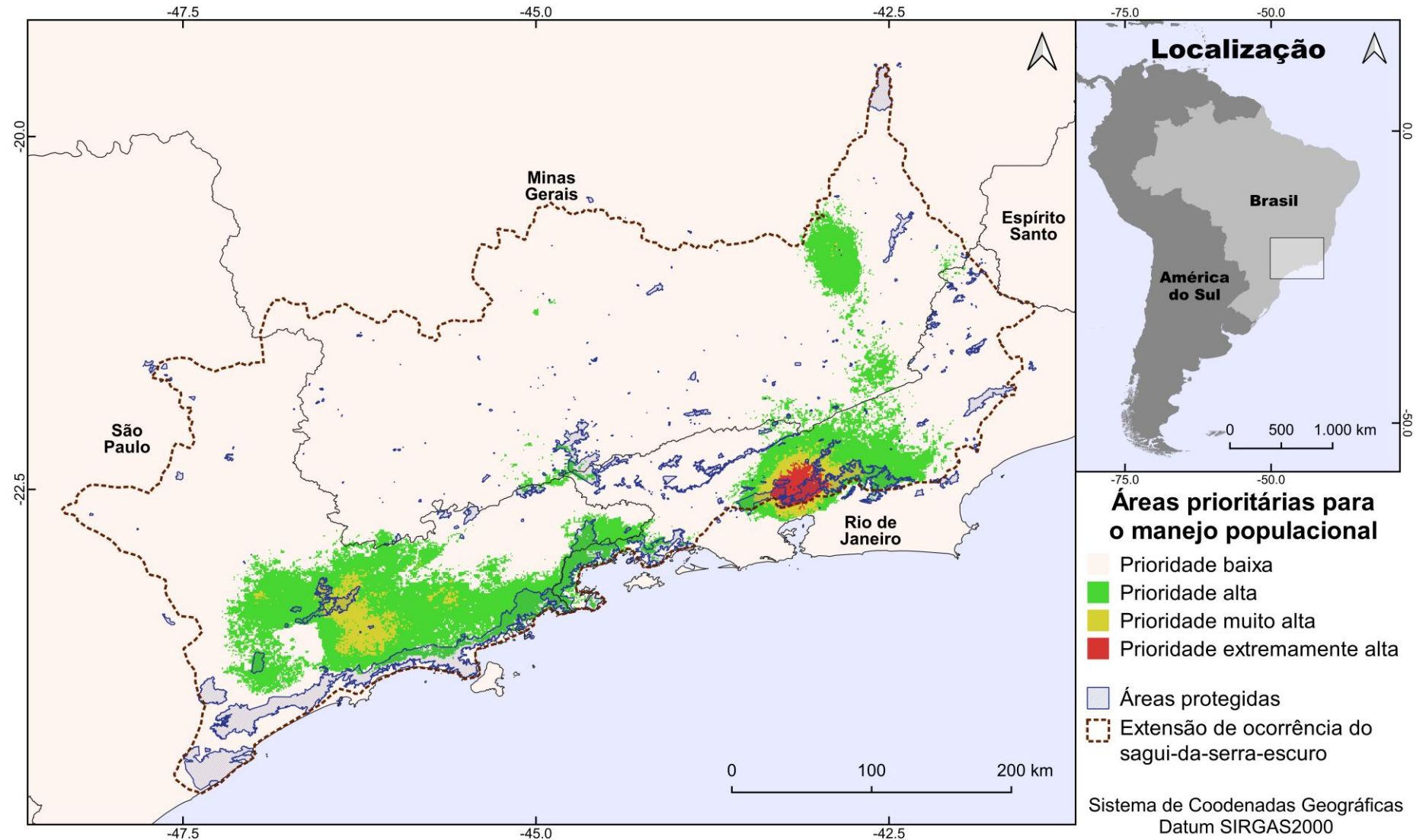
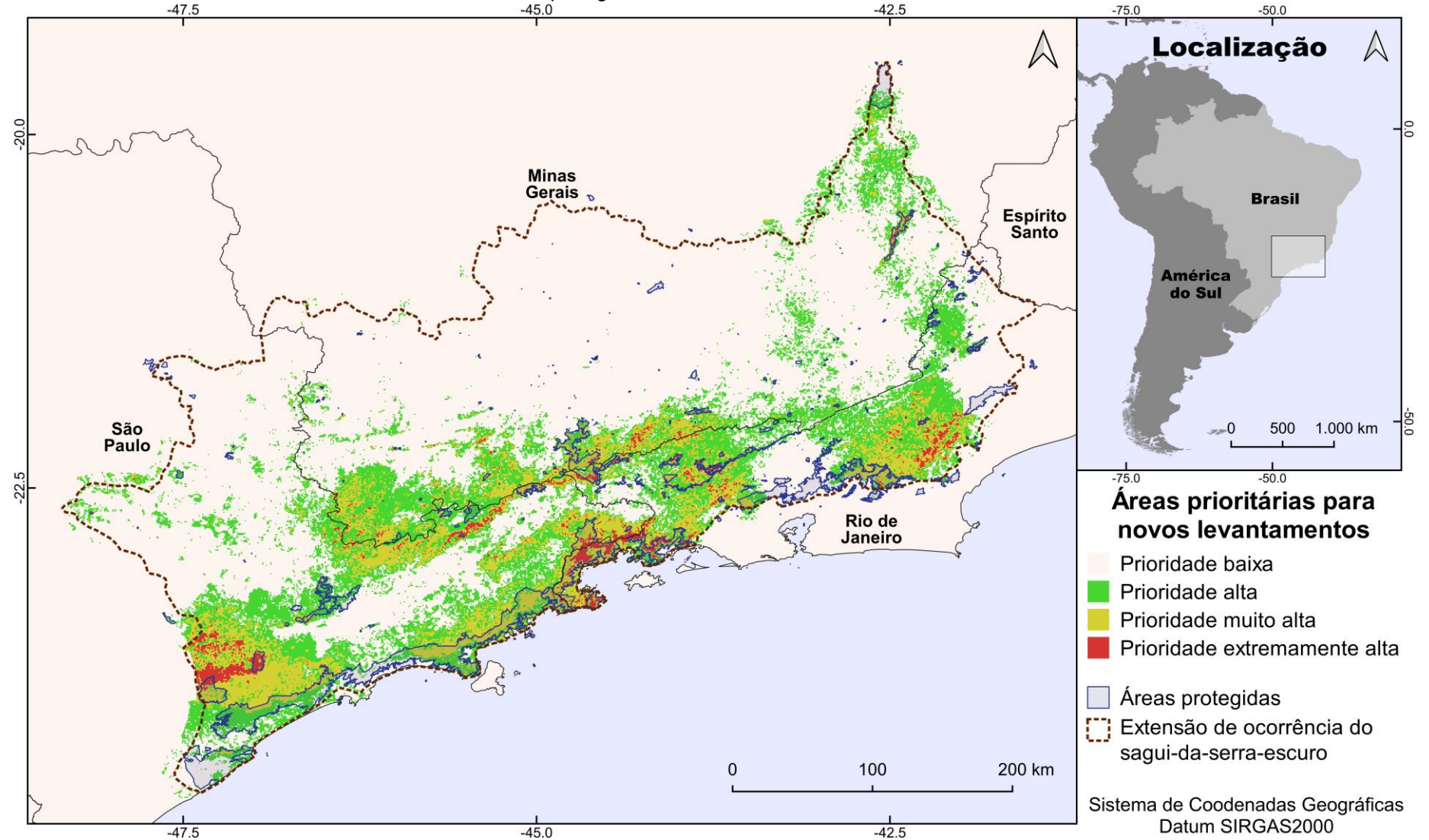


Figura 10 – Áreas prioritárias para a amostragem *in situ* sobrepostas pelo sistema de áreas protegidas. Prioridade alta em verde; Prioridade muito alta em amarelo; Prioridade extremamente alta em vermelho; Áreas protegidas delimitadas em azul; Extensão de ocorrência de *Callithrix aurita* delimitada em marrom



2.4 DISCUSSÃO

Com a ocorrência relacionada principalmente a fatores climáticos (Capítulo 1 deste volume), o sagui-da-serra-escuro encontra-se sob uma provável piora em seu *status* de conservação em razão das mudanças ambientais em curso e previstas para as próximas décadas (2030 a 2080). Além de perder espaço climaticamente adequado, a invasão de saguis alóctones em sua extensão de ocorrência deverá ser potencializada (Foden; Young; Watson, 2016; Bráz; Lorini; Vale 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023; Ambielle et al., 2024). A pequena porção de áreas com prioridade extremamente alta para a conservação de *C. aurita* (ver Figura 8), juntamente com a existência de muitos locais com algum nível de prioridade de manejo populacional (ver Figura 9), evidenciam um futuro com poucas regiões habitáveis pela espécie onde esta ocorra de forma relativamente protegida de *Callithrix* spp. invasores e seus híbridos.

A superioridade de registros de formas invasoras frente aos de *C. aurita* também foi constatada outros trabalhos conduzidos em escalas mais restritas (e.g. Carvalho; Xavier; Esbérard, 2015; Detogne et al., 2017; Vital, 2020; Vital et al., 2020; Pacheco et al., 2021; Silvério, 2022; Capítulo 1 deste volume). Assim como tem sido observado localmente ou regionalmente, saguis alóctones e híbridos já colonizam habitats em toda a extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro. A substituição completa de *C. aurita* por outras formas pode ser questão de tempo, a depender da competição por recursos e das oportunidades de pareamento para os indivíduos, pois em populações pequenas, a hibridação pode ser a única opção para que continuem se reproduzindo (Cavalcanti; Langguth, 2008; Nogueira et al., 2011; Malukiewicz, 2018; Capítulo 1 deste volume). Com as mudanças climáticas favorecendo o potencial invasivo de outros *Callithrix* spp., como *C. jacchus* e *C. penicillata*, nativos de ambientes xéricos (Bráz; Lorini; Vale, 2019; Ambielle et al., 2024), este cenário tende a tornar-se mais grave.

A distribuição de *C. aurita* é fortemente associada a intervalos e padrões específicos de temperatura e pluviosidade, provavelmente por ditarem a disponibilidade e a sazonalidade de recursos alimentares importantes na dieta da espécie, como frutos, fungos e artrópodes (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000; Capítulo 1 deste volume). Isso explica a acurácia dos modelos de nicho

climático para o presente obtidos para a espécie por meio de alguns dos métodos utilizados, e também alerta acerca do aumento de seu risco de extinção em função do aumento global das temperaturas e alterações dos ciclos hidrológicos. Comparando a distribuição do nicho climático presente (ver Figura 3) com o modelo de consenso das projeções futuras (2061 a 2080) (ver Figura 4), é perceptível que haverá perda não apenas em áreas climaticamente adequadas, mas também em níveis de adequabilidade, em função das mudanças climáticas. Os climas mais propícios para a manutenção de populações da espécie serão restritos, principalmente, a regiões serranas no Rio de Janeiro e em São Paulo e, ainda assim, com níveis de adequabilidade não ultrapassando 0,75.

O efeito adverso das alterações do clima sobre a disponibilidade de espaço climático adequado para a espécie também foi projetado por outros autores (e.g. Braz; Lorini; Vale, 2019; Amaral et al., 2023; Pinto et al., 2023). Sob o mesmo contexto socioeconômico de emissão de gases de efeito estufa (SSP5-8,5), Pinto et al. (2023) encontraram, para 2100, um padrão muito similar ao observado aqui, com a adequabilidade climática se concentrando majoritariamente na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira. Contudo, é possível que haja aumento na densidade populacional humana nestes refúgios climáticos, que no caso específico de *C. aurita*, devem ser caracterizados por maior disponibilidade hídrica e variações térmicas constantes, pressionando os habitats e populações remanescentes de saguis (Foden; Young; Watson, 2016; Carvalho et al., 2019; IPCC, 2023; Capítulo 1 deste volume).

Nas serras do Mar e da Mantiqueira também há maiores concentrações e maiores níveis de adequabilidade da paisagem para o sagui-da-serra-escuro (ver Figura 5), que não se dão apenas pela maior cobertura florestal nestas áreas, relativamente poupadas do desmatamento durante o processo de ocupação humana (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Também são maiores as porcentagens locais de árvores perenes, importantes para a ocorrência da espécie, provavelmente por propiciarem disponibilidade menos sazonal de frutos e artrópodes (Ferrari; Corrêa; Coutinho, 1996; Martins; Setz, 2000; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Lira; Portela; Tambosi, 2021; Capítulo 1 deste volume). A deciduidade das fitofisionomias florestais da Mata Atlântica é determinada por condições climáticas e do solo, refletidas no aporte de água e na capacidade do ambiente de retê-la, fazendo com que este recurso esteja mais disponível, mesmo durante os períodos mais secos do

ano (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Logo, não é surpreendente que a adequabilidade climática e a adequabilidade da paisagem, sobretudo no futuro, convirjam nestas localidades, o que foi chamado de adequabilidade ambiental.

Assim como para a adequabilidade de nicho climático (ver Figura 3; ver Figura 4), também haverá uma notável perda em área e em níveis de adequabilidade ambiental para *C. aurita* entre o presente e o futuro (ver Figura 6), que isolará porções de habitat adequado. Em razão da fragmentação do bioma, é possível que indivíduos e populações não sejam capazes de alcançar estas combinações de clima e paisagem propícios para a sua persistência (Schloss; Nuñez; Lawler, 2012; Foden; Pacifici; Hole, 2016; Carvalho et al., 2019; Coelho et al., 2023; Pinto et al., 2023). Regiões com clima adequado podem apontar áreas para o aumento de conectividade entre os remanescentes de habitat e/ou sinalizar oportunidades para a recomposição e a restauração da cobertura florestal onde esta foi perdida – o que também pode ajudar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Rezende; Sobral-Souza; Culot, 2020). O aumento da conectividade pode se dar por vegetação natural, com o uso de corredores e trampolins ecológicos, ou por matrizes antrópicas mais permeáveis, como pomares, silviculturas e sistemas agroflorestais (Chapman et al., 2020; Vancine et al., 2024).

É iminente que a perda de habitat adequado e de conectividade para a espécie seja ainda maior do que a apresentada aqui. Embora as taxas de desmatamento atuais da Mata Atlântica sejam baixas, os cenários de progressão no uso e na ocupação do solo para as próximas décadas são muito diversos, sobretudo em função das demandas humanas por recursos e conforto climático (Lira; Portela; Tambosi, 2021; IPCC, 2023; Vancine et al., 2024). Também é previsto que as mudanças climáticas afetem drasticamente a adequabilidade, e, conseqüentemente, a distribuição de muitas espécies arbóreas do bioma, especialmente na extensão de ocorrência de *C. aurita*, potencialmente alterando a composição e a deciduidade das fitofisionomias (Colombo; Joly, 2010; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Lira; Portela; Tambosi, 2021; Capítulo 1 deste volume).

A perda de território torna-se ainda mais crível quando se considera sua sinergia com a invasividade de outros *Callithrix* spp., que apresentam altas densidades de ocorrência em regiões entre as mais adequadas ambientalmente para *C. aurita*, que por sua vez tem presença local geralmente bem menos expressiva (ver Figura 7).

Como discutido no Capítulo 1 deste volume e em outros estudos (e.g. Cerqueira; Marroig; Pinder, 1998; Sales et al., 2015; Detogne et al., 2017; Andrade, 2021; Gestich et al., 2023; Ambielle et al., 2024), os registros de saguis alóctones parecem estar relacionados à antropização. São mais densos nas imediações de grandes centros urbanos e em áreas com históricos mais antigos de ocupação humana, como os arredores das regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo, e as baixadas com florestas estacionais na Zona da Mata de Minas Gerais (ver Figura 7b) (Valverde, 1958; Netto; Diniz, 2006; Ribeiro et al., 2009; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Entretanto, os padrões de concentração de registros de saguis alóctones e autóctones (ver Figura 7c) podem, em parte, ser determinados por vieses amostrais, justamente pela adjacência a cidades que abrigam instituições de pesquisa (Hortal, 2015). Também pode haver uma predileção histórica em se amostrar o máximo possível nos maiores remanescentes florestais, coincidentemente próximos a estes centros, como em regiões da Serra do Mar (Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Bosco et al., 2022).

A destinação de áreas para a manutenção da biodiversidade (e.g. UCs brasileiras) é uma das mais comuns e efetivas intervenções de conservação ao redor do mundo (Dudley, 2008; Brasil, 2011; Rylands; Mittermeier; Williamson, 2020). Mas seu valor na conservação de espécies sob uma abordagem ecossistêmica só é atingido se a rede de áreas protegidas for representativa, coerente, complementar e persistente (Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008; Byers et al., 2022). Isso significa que deve cobrir território suficiente para a viabilidade das populações e capturar locais ou fenômenos chave para a espécie, ao mesmo tempo em que é capaz de isolar dos processos que ameaçam sua existência na natureza durante tempo indeterminado (Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008; Byers et al., 2022). No caso de *C. aurita*, as UCs de proteção integral existentes em sua extensão de ocorrência estão muito aquém de abranger as áreas com maior potencial conservacionista frente às mudanças climáticas e às invasões biológicas (ver Figura 8).

Estas UCs foram concebidas por outros motivos e outras oportunidades que não a conservação do sagui-da-serra-escuro, como proteger grandes remanescentes florestais e dar destinação a áreas naturais pouco acessíveis e/ou com baixo valor comercial em serras íngremes (Dudley, 2008; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021; Vancine et al., 2024). Elas não são capazes de garantir a persistência de muitas

populações viáveis da espécie, salvo em algumas localidades, como no Parque Estadual da Serra do Mar, em São Paulo, no Parque Estadual dos Três Picos, no Rio de Janeiro, e no Parque Nacional da Serra da Bocaina, entre Rio de Janeiro e São Paulo (ver Figura 8). Para que a rede de áreas protegidas seja efetiva nesse propósito, é necessário que seja expandida e conectada (Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008), com base nas classificações de priorização mapeadas.

A escolha das intervenções conservacionistas mais adequadas em nível local a global deve levar em conta diferentes contextos ecológicos, sociais e econômicos (Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008; Calle-Rendón et al., 2022). Pode ser desafiador implementar ações restritivas, como UCs de proteção integral, em regiões com ocupação humana e pouca disponibilidade de áreas naturais onde não haja interesse econômico, como a região Sudeste do Brasil (Margules; Pressey, 2000; Carlucci; Marcilio-Silva; Torezan, 2021). Mas a inação possivelmente conduzirá *C. aurita* à extinção pela perda dos ambientes que poderiam garantir sua persistência (Margules; Pressey, 2000; Byers et al., 2022).

É essencial que existam UCs de proteção integral em regiões de prioridade extremamente alta para a conservação do sagui-da-serra-escuro, como a Serra do Japi e o alto rio Paraíba do Sul, amplamente descobertas pela rede existente, e que haja o complemento da proteção nas serras da região central do Rio de Janeiro, também na bacia do rio Paraíba do Sul (Dudley, 2008; Brasil, 2011). Para as áreas com prioridade alta a muito alta, também é desejável a proteção total, mas em função da incompatibilização com o uso do solo pelas populações humanas, em diversas regiões pode ser algo intangível (Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008). Contudo, alternativamente, podem indicar oportunidades para a criação de UCs de uso sustentável com zoneamento e visando a alocação responsável de matrizes antrópicas mais permeáveis à espécie, consequentemente criando corredores ecológicos conectando a rede de UCs (Brasil, 2011; Ramsay et al., 2023).

Ademais, todas as populações *in situ* tem valor para a conservação do sagui-da-serra-escuro, devendo ser consideradas (IUCN SSC, 2017). Há regiões que, mesmo sem figurarem entre as maiores prioridades de conservação, podem abrigar metapopulações importantes do ponto de vista genético e evolutivo, como o alto curso do Rio Doce ou a base sul da Serra do Caparaó, em Minas Gerais, onde há hibridação natural entre *C. aurita* e *C. flaviceps* (Moraes; Melo, 2011; Malukiewicz, 2018; Pacheco

et al., 2024b). É possível que a simpatria entre estas duas espécies seja perdida por meio das mudanças climáticas (Bráz; Lorini; Vale, 2019), colocando, sem medidas protetivas, este componente genético único em risco.

Em regiões com pouca adequabilidade climática e da paisagem ou com grande presença de saguis invasores, classificadas como de baixa prioridade de conservação para *C. aurita*, pode ser necessário o resgate de populações da espécie nativa (Baker, 2002; Dudley, 2008; IUCN SSC, 2013). As áreas sob maiores prioridades, e consequentemente mais habitáveis no futuro, podem ser candidatas a receber grupos translocados, servindo tanto para a suplementação de populações locais quanto para o repovoamento onde o sagui-da-serra-escuro foi extinto (Baker, 2002; IUCN SSC, 2013). Contudo, deve sempre haver estudo prévio e a avaliação de alternativas à translocação (IUCN SSC, 2013).

O primeiro passo para atingir todo o potencial de conservação das áreas, independentemente da ação planejada, é livrá-las de processos ameaçadores, como as invasões biológicas (Byers et al., 2022). A ocorrência de invasão e hibridação acontece em toda a extensão de ocorrência de *C. aurita*, inclusive em locais com prioridade de conservação alta a extremamente alta, como na Serra do Japi, onde a densidade de registros de saguis alóctones ainda é pequena (ver Figura 7b; ver Figura 8) (Gestich et al., 2022). Estas áreas devem ser priorizadas também para a prevenção de novas invasões e a mitigação de seus impactos (Byers et al., 2022; Gestich et al., 2023). Além de ser mais fácil controlar ou erradicar processos de invasão ainda no início, basta um único indivíduo alóctone reprodutivo para que haja a hibridação e a erosão genética local da espécie nativa (IUCN SSC, 2000; 2017; Malukiewicz, 2018).

Dada a grande presença de saguis invasores e híbridos antropogênicos, muitas áreas com elevada adequabilidade ambiental para *C. aurita* foram consequentemente desconsideradas na priorização para a sua conservação, como em uma ampla extensão da Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro (ver Figura 7b; ver Figura 8) (IUCN SSC, 2000; 2017). O Parque Nacional da Serra dos Órgãos, por exemplo, além de, potencialmente, poder proteger populações viáveis da espécie nativa, conectaria regiões de prioridade extremamente alta, trazendo complementaridade ao sistema de proteção (Dudley, 2008). Contudo, o local possui populações de *C. jacchus*, *C. penicillata* e seus híbridos já bem estabelecidas, destacando a ineficiência da rede de

UCs em manter populações autóctones livres de ameaças (Dudley, 2008; Pereira; Araújo de Oliveira; Ruiz-Miranda, 2008; Bechara, 2012; Detogne et al., 2017).

É preciso compreender as populações invasoras como uma força de fragmentação em nível global da distribuição do sagui-da-serra-escuro. Além de o afetarem diretamente através da competição e da erosão genética, corrompem o efeito benéfico da conectividade da paisagem, que em vez de permitir o contato entre as populações nativas, pode conduzir saguis alóctones a elas (Malukiewicz, 2018; Loureiro et al., 2023; Ambielle et al., 2024). E o estabelecimento destes divide ou dividirá a extensão de ocorrência de *C. aurita* em blocos de ambiente adequado, como observado na Figura 8, impedindo o fluxo genético entre populações autóctones puras. Nestes casos, o manejo intervencionista para a erradicação ou o controle de saguis invasores provavelmente será a única ação de conservação capaz de garantir a eficácia de outras frentes, como a proteção de áreas e reintroduções (IUCN SSC, 2000; 2013).

Na Figura 9, são mapeadas as prioridades de manejo populacional intervencionista na extensão de ocorrência do sagui-da-serra-escuro. Além da presença de saguis alóctones e híbridos antropogênicos, áreas indicadas possuem em comum a ocorrência confirmada e a alta adequabilidade ambiental para a espécie nativa. A escolha da estratégia de mitigação das invasões ideal para cada localidade dependerá do contexto de executabilidade, envolvendo o tamanho das populações autóctones e alóctones, os recursos financeiros disponíveis, e realidades ecológicas e sociais locais (IUCN SSC, 2000; 2013). Intervenções devem ser conduzidas em regiões da Zona da Mata de Minas Gerais, na Serra da Cantareira, na cabeceira da bacia rio Paraíba do Sul e ao longo de toda a Serra do Mar, em São Paulo, como também na Serra da Bocaina, entre São Paulo e Rio de Janeiro e, principalmente, na Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro.

Todos os territórios categorizados como prioritários para o manejo populacional podem futuramente ser efetivos para a conservação do sagui-da-serra-escuro, desde que sejam resguardados da presença de saguis alóctones. Contudo, nas áreas com prioridade de manejo extremamente alta (i.e. região serrana central do Rio de Janeiro), onde confluem as maiores adequabilidades ambientais a *C. aurita* e sua ocorrência confirmada, as populações invasoras bem estabelecidas podem ser, na prática, incontroláveis (IUCN SSC, 2000; 2013). Porém, estas áreas têm grande potencial de

conectividade para populações nativas prioritárias para a conservação. O mesmo pode se aplicar a outras regiões com menores níveis de prioridade de manejo onde estes outros *Callithrix* spp. também são abundantes, como em certas áreas da Zona da Mata e do Leste de Minas Gerais (Silva et al., 2018; Vital, 2020; Vital et al., 2020; Silvério, 2022; Pacheco et al., 2021; Guimarães-Lopes et al., 2023). Nesses casos, o resgate de populações remanescentes da espécie nativa pode ser uma ação mais realista (Baker, 2002).

Para as áreas onde a prevenção às introduções falhou, mas o manejo dos saguis alóctones é factível, a medida mais rápida, efetiva e indicada para a mitigação de seus impactos é a erradicação (IUCN SSC, 2000; Brasil, 2018a; Malukiewicz et al., 2021a). É desempenhada pela completa remoção dos organismos, e devem ser realizados estudos prévios, considerando incertezas do conhecimento ecológico e ações alternativas (IUCN SSC, 2000; 2013). Contudo, o carisma dos saguis pode trazer oposição de diversos grupos e da opinião pública a métodos de erradicação de formas invasoras (IUCN SSC, 2000; Margules; Pressey, 2000; Ávila et al., 2021). Para obter sucesso, é necessário incluir estratégias de consulta compreensivas e ações de educação ambiental, suportando o trabalho pela informação e pela cooperação de comunidades locais (IUCN SSC, 2000; Traad et al., 2012; Brasil, 2018a). Alternativamente, podem ser aplicados protocolos de controle, que visam reduzir a densidade populacional alóctone (IUCN SSC, 2000; Brasil, 2018a). A esterilização dos indivíduos, por exemplo, impede a hibridação com *C. aurita* e pode levar ao desaparecimento dos invasores (Traad et al., 2012; Ávila et al., 2021). Mas a implementação de métodos de controle é potencialmente mais dispendiosa e menos efetiva que a remoção completa (IUCN SSC, 2000).

A maior compreensão da distribuição do sagui-da-serra-escuro e de seus congêneres alóctones e híbridos em sua extensão de ocorrência pode indicar onde e como agir, além de revelar novas demandas de conservação (Margules; Pressey, 2000; IUCN SSC, 2017; Byers et al., 2022). Claramente, há vieses de amostragem nos bancos de dados utilizados, e a priorização de áreas para a pesquisa indica localidades a vistoriar que possam preencher as lacunas de conhecimento que ainda existem (ver Figura 10). Em regiões com maiores adequabilidades ambientais para *C. aurita*, os níveis de prioridade são inversamente relacionados a quão bem as localidades foram amostradas, havendo diversas áreas, protegidas ou não, onde

saguis não foram amostrados, ou foram amostrados de forma insuficiente. Mas também podem refletir detectabilidades e/ou densidades populacionais locais baixas, tanto desta espécie quanto de outros *Callithrix* spp. É o caso do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, em Minas Gerais, onde há prioridade para a pesquisa e a conservação da espécie, existe uma população de *C. aurita*, mas sua densidade foi estimada em 0,028 indivíduos por hectare (Cosenza; Melo, 1998), consequentemente tendo menos representatividade no banco de dados.

Modelos de distribuição de espécies como os utilizados aqui são altamente sensíveis à qualidade e à representatividade dos dados inseridos (Stockwell; Peterson, 2002; Hortal, 2015; Somodi; Lepesi; Botta-Dukát, 2017; De Marco Jr.; Nóbrega, 2018; Sillero; Barbosa, 2020). Ocorrências insuficientes ou espacialmente correlacionadas podem trazer incerteza às projeções, gerando distribuições subestimadas ou superestimadas, ofuscando ou direcionando de forma incorreta as prioridades de conservação, enquanto bancos de dados mais completos fomentam análises e medidas mais adequadas (Stockwell; Peterson, 2002; Mace; Baillie, 2007; Bechara, 2012; Hortal, 2015; De Marco Jr.; Nóbrega, 2018). Incrementar o conhecimento sobre a ocorrência de saguis nas áreas priorizadas para novos levantamentos pode revelar ausências reais ou populações nativas desconhecidas, além de processos de invasão em localidades chave, fornecendo dados para o aprimoramento de modelos e de planos de conservação (Mace; Baillie, 2007; Peck et al., 2011). Vistoriar áreas sem prioridade para levantamentos também pode ser útil se sua própria exclusão das priorizações for causada por vieses amostrais (Elith et al., 2011).

Como exemplos de outras aplicações práticas dos produtos gerados por este estudo: áreas prioritárias para a conservação ou para o manejo populacional de saguis, quando em interface com comunidades humanas, podem indicar a necessidade de ações incisivas de educação ambiental e de prevenção de interações prejudiciais (IUCN SSC, 2000; Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008; IUCN SSC, 2013; 2017); ou os níveis de prioridade podem embasar a implementação de políticas públicas para guiar atividades a nível e contexto local, como legislações já em vigor que estabelecem o sagui-da-serra-escuro como patrimônio da biodiversidade e dão mais respaldo à sua proteção em alguns municípios onde ocorre (e.g. Nova Friburgo, RJ – Lei nº 4.571, de 25 de agosto de 2017; Petrópolis, RJ – Lei nº 7.899, de 6 de

dezembro de 2019; Viçosa, MG – Lei nº 2.821, de 27 de maio de 2020; Rio Doce, MG – Lei nº 1.083, de 3 de novembro de 2021; Ponte Nova, MG – Lei nº 4.528, de 16 de dezembro de 2021; Santa Cruz do Escalvado, MG – Lei nº 1.076, de 29 de março de 2022; Natividade, RJ – Lei nº 1.136, de 13 de julho de 2022; Teresópolis, RJ – Lei nº 4.349, de 30 de maio de 2023; Cristina, MG – Lei nº 2.306, de 7 de março de 2024).

O método sistematizado via algoritmos de decisão pode ser considerado útil para acessar no espaço geográfico prioridades de conservação de espécies, sobretudo se empregados conjuntos de dados robustos (Margules; Pressey, 2000; IUCN SSC, 2017). Para organismos similares e que enfrentam as mesmas ameaças que *C. aurita*, como o sagui-da-serra-claro (*C. flaviceps*) (Malukiewicz et al., 2021a; Melo et al., 2021b), a replicação dessa metodologia pode ser muito simples. Entretanto, com conhecimento adequado sobre espécies-alvo, é possível adaptar seu uso para quaisquer organismos, partindo da escolha das variáveis que melhor expressem seu nicho ecológico e as principais ameaças.

A integridade da distribuição do sagui-da-serra-escuro está comprometida por alterações climáticas e no uso e na ocupação do solo em curso e que devem se intensificar durante as próximas décadas. Sua existência também é ameaçada pela presença de congêneres alóctones, que além de causar erosão genética das formas puras através da hibridação, gera a competição por recursos e a fragmentação das populações nativas, cuja dispersão é impedida pelas populações invasoras. Como agravante, a rede de UCs não compreende muitas das áreas mais prioritárias para a conservação de *C. aurita*, além de abrigar *Callithrix* spp. introduzidos e seus híbridos.

Neste estudo foram apresentadas priorizações espaciais que podem ser empregadas ao longo dos próximos 50 anos (2030 a 2080) na escolha das ações conservacionistas para evitar a extinção do sagui-da-serra-escuro. Mas não há pretensão de que os direcionamentos mapeados sejam regramentos intransigentes, e acima de qualquer nível de prioridade, devem estar os estudos prévios e os contextos ambientais, sociais e econômicos locais, cabendo interpretação e adaptação de todos os produtos gerados a cada realidade (IUCN SSC, 2000; Margules; Pressey, 2000; Dudley, 2008; IUCN SSC, 2013; 2017). Seu valor para a conservação também pode ser potencializado se empregados em conjunto com outras abordagens baseadas em evidências, como a priorização espacial proposta

por Vital et al. (no prelo⁵), construída por meio de um grande banco de dados de ocorrências de saguis e considerando históricos locais de amostragem. É essencial que este planejamento seja sempre aprimorado e/ou adaptado, com a inclusão do efeito de outros preditores ou o enfrentamento a outras ameaças quando pertinente (Margules; Pressey, 2000; IUCN SSC, 2017). Contudo, os mapas e projeções obtidos sintetizam o melhor conhecimento ecológico acerca de *C. aurita* disponível até o momento, e servem como ponto inicial para tomadas de decisão, sendo desejável sua consulta por tomadores de decisão e demais atores interessados.

⁵ Vital, O. V. et al. Áreas Prioritárias para Levantamentos e Diagnósticos Populacionais, Manejo e Conservação de Hábitats. In: Carvalho et al. (orgs.). Programa de Conservação dos Saguis-da-serra (*Callithrix aurita* e *C. flaviceps*): prioridades e protocolos de pesquisa e manejo. No prelo.

2.5 CONCLUSÃO

Embora as prioridades de conservação, manejo e pesquisa voltadas ao sagui-da-serra-escuro apresentadas sejam baseadas em cenários climáticos projetados para, pelo menos, três décadas no futuro (≈ 2060), é necessário agir com rapidez. A espécie estará cada vez mais pressionada pela perda de habitat adequado, tanto por alterações do clima quanto por mudanças no uso e na ocupação do solo, ou pela colonização do território por saguis alóctones, com os quais hibrida. Adicionalmente, a rede de áreas protegidas na extensão de ocorrência de *C. aurita* não é efetiva em sua proteção. Ações para a mitigação dos impactos antropogênicos e suas consequências sobre a espécie nativa podem necessitar de algum tempo para a implementação e para surtir os primeiros efeitos, como a restauração de habitats e o manejo de saguis invasores.

É urgente a criação de novas UCs em áreas de maior prioridade para a conservação de *C. aurita*, de modo que sejam complementares e conectadas entre si e entre aquelas já existentes, e suplementadas por manejo adequado das terras não protegidas. Para o sucesso de qualquer intervenção conservacionista (i.e. recomposição, restauração ou proteção de habitats; aumento de conectividade; translocações), é crucial a prevenção e a eliminação de ameaças, como através do controle e da erradicação de *Callithrix* spp. invasores e híbridos. Também é necessário preencher lacunas de amostragem, permitindo a identificação de populações de saguis desconhecidas e de novas demandas para a sua conservação. É fundamental que todas as ações sejam calcadas na informação, na educação e na participação das comunidades humanas envolvidas.

As prioridades, desenvolvidas via algoritmos de decisão, possuem flexibilidade para atender necessidades específicas de ação. Em ampla escala, os produtos obtidos podem ser usados por formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão, pois sintetizam padrões macroscópicos de distribuição dos saguis, de habitats e de ameaças. E devido à alta resolução, também podem ser aplicados no direcionamento de esforços e no empoderamento de atores locais, que podem prover informações críticas sobre a espécie e sobre as pressões que enfrenta, e consequentemente podem se tornar interessados nas ações de conservação para *C. aurita*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, H. D. et al. Climate-induced tree mortality: Earth system consequences. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 91, n. 17, p. 153-154, 2010. <https://doi.org/10.1029/2010EO170003>
- Aiello-Lammens, M. E. et al. **spThin: Functions for Spatial Thinning of Species Occurrence Records for Use in Ecological Models**. 2019. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.spThin>
- Allouche, O.; Tsoar, A.; Kadmon, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223-1232, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Amaral, C. R. L. et al. Global climate changes and the evolution of area suitability for marmosets of genus *Callithrix*. **Academia Biology**, v. 1, n. 3, p. 1-9, 2023. <https://doi.org/10.20935/AcadBiol6100>
- Ambielle, B. et al. **Habitat Puzzles: linking primate invasions and declines to landscape connectivity**. PREPRINT, Hal Science, 2024.
- Andrade, A. C. Density of marmosets in highly urbanised areas and the positive effect of arboreous vegetation. **Urban Ecosystems**, v. 25, n. 1, p. 101-109, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01131-5>
- Araújo, M. B.; New, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42-47, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>
- Ávila, L. V. et al. Manejo experimental de sagüis invasores: da esterilização dos animais à valoração humana. In: Albuquerque, E. M. M.; Salzo, I.; Vargas, Y. P. (orgs.). **Anais do XII Seminário de Pesquisa e XIII Encontro de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade: Desafios para a Década da Restauração dos Ecossistemas**. Brasília, DF: ICMBio, 113-114, 2021.
- Baker, L. R. (ed.). Guidelines for nonhuman primate re-introductions. **Re-introduction NEWS**, v. 21, p. 29-57, 2002.
- Bataillard, L. et al. Using ecological niche modelling to prioritise areas for conservation of the critically endangered Buffy-Headed marmoset (*Callithrix flaviceps*). **Ecology and Evolution**, v. 14, n. 4, p. e11203, 2024. <https://doi.org/10.1002/ece3.11203>
- Bechara, I. M. **Abordagens metodológicas em Biogeografia da Conservação para avaliar risco de extinção de espécies: um estudo de caso com *Callithrix aurita* (Primates: Callitrichidae)**. 2012. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

Bolar, K. **STAT: Interactive Document for Working with Basic Statistical Analysis**. 2019. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.STAT>

Bosco, N. S. et al. Scale affects the understanding of biases on the spatial knowledge of Atlantic Forest primates. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 20, n. 4, p. 338-345, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.08.002>

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras**, Brasília, DF: MMA, 2018a. 18 p.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria nº 702, de 7 de agosto de 2018**. Aprova o Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira - PAN PPMA, contemplando quatorze táxons ameaçados de extinção, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, prazo de execução, abrangência e formas de implementação e supervisão. Diário Oficial da União, Brasília, DF: MMA, 2018b.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006**. Brasília: MMA/SBF, 2011. 76 p.

Braz, A. G.; Lorini, M. L.; Vale, M. M. Climate change is likely to affect the distribution but not parapatry of the Brazilian marmoset monkeys (*Callithrix* spp.). **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 536-550, 2019. <https://doi.org/10.1111/ddi.12872>

Brown, J. H.; Stevens, G. C.; Kaufman, D. M. The geographic range: Size, Shape, Boundaries, and Internal Structure. **Annual review of ecology and systematics**, v. 27, n. 1, p. 597-623, 1996. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.27.1.597>

Buckner, J. C. et al. Biogeography of the marmosets and tamarins (Callitrichidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 82, p. 413-425, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2014.04.031>

Byers, O. et al. Reversing the decline in threatened species through effective conservation planning. **Diversity**, v. 14, n. 9, p. 754, 2022. <https://doi.org/10.3390/d14090754>

Calle-Rendón, B. R. et al. Priority areas for conservation of primates in a threatened Amazonian savanna. **Journal for Nature Conservation**, v. 65, p. 126109, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126109>

Carlucci, M. B.; Marcilio-Silva, V.; Torezan, J. M. (2021) The southern Atlantic Forest: use, degradation, and perspectives for conservation. In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p. 91-111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_5

Carvalho, J. S. et al. A global risk assessment of primates under climate and land use/cover scenarios. **Global Change Biology**, v. 25, n. 9, p. 3163-3178, 2019. <https://doi.org/10.1111/gcb.14671>

Carvalho, W. D.; Xavier, B. S.; Esbérard, C. E. L. Primatas do Parque Estadual da Serra do Papagaio e RPPNs adjacentes, estado de Minas Gerais. **Neotropical Primates**, v. 22, n. 1, p. 25-31, 2015. <https://doi.org/10.62015/np.2015.v22.149>

Cavalcanti, G. C.; Langguth, A. recognition of mate and speciation in marmoset genus *Callithrix* (Primates, Cebidae, Callithriquinae). **Revista Nordestina de Biologia**, v. 19, n. 1, p. 59-73, 2008.

Ceballos, G. et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science Advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>

Cerqueira, R.; Marroig, G.; Pinder, L. Marmosets and lion-tamarins distribution (Callitrichidae, Primates) in Rio de Janeiro state, south-eastern Brazil. **Mammalia**, v. 62, n. 2, p. 213-226, 1998. <https://doi.org/10.1515/mamm.1998.62.2.213>

Chapman, C. A. et al. Primates can be a rallying symbol to promote tropical forest restoration. **Folia Primatologica**, v. 91, n. 6, p. 669-687, 2020. <https://doi.org/10.1159/000505951>

Coelho, M. T. P. et al. The geography of climate and the global patterns of species diversity. **Nature**, v. 622, n. 7983, p. 537-544, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06577-5>

Colombo, A. F.; Joly, C. A. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 697-708, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400002>

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 147, de 30 de abril de 2010: Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais**. Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, 2010.

Cosenza, B. A. P.; Melo, F. R. Primates of the Serra do Brigadeiro State Park, Minas Gerais, Brasil. **Neotropical Primates**, v. 6, n. 1, p. 18-20, 1998.

Cristina. **Lei nº 2.306, de 7 de março de 2024**. Declara o Sagui-da-Serra-Escuro (*Callithrix aurita*) patrimônio da biodiversidade de Cristina, e dá outras providências. Cristina, MG: Prefeitura Municipal de Cristina, 2024. 3 p.

Daohua, B. et al. Configuration and spin-up of ACCESS-CM2, the new generation Australian Community Climate and Earth System Simulator coupled model. **Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science**, v. 70, n. 1, p. 225-251, 2020. <https://doi.org/10.1071/ES19040>

De Marco Jr., P.; Nóbrega, C. C. Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. **PLoS One**, v. 13, n. 9, p. e0202403, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202403>

Detogne, N. et al. Spatial distribution of buffy-tufted-ear (*Callithrix aurita*) and invasive marmosets (*Callithrix* spp.) in a tropical rainforests reserve in southeastern Brazil. **American Journal of Primatology**, v. 79, n. 12, p. 1-11, 2017. <https://doi.org/10.1002/ajp.22718>

Dudley, N. (ed.). Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. **IUCN WCPA Best Practice Guidance on Recognising Protected Areas and Assigning Management Categories and Governance Types, Best Practice Protected Area Guidelines Series**, Gland, Switzerland: IUCN, n. 21, 2008.

Elith, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43-57, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

Estrada, A. et al. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. **Science Advances**, v. 3, n. 1, p. e1600946, 2017.

Eyring, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

Ferrari, S. F.; Corrêa, H. K. M.; Coutinho, P. E. G. Ecology of the "southern" marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*): how different, how similar? In: Norconk, M. A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. (eds.). **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA: Plenum Press, 1996. p. 157-171.

Fick, S. E.; Hijmans, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5086>

Foden, W. B.; Pacifici, M.; Hole, D. Setting the scene. Foden, W. B.; Young, B. E. (eds.). **IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change**. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission N° 59. Cambridge, UK; Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 2016. p. 5-12. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.SSC-OP.59.en>

Foden, W. B.; Young, B. E. (eds.). Appendix. **IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change**. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission N° 59. Cambridge, UK; Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, p. 9-13, 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.SSC-OP.59.en>

Foden, W. B.; Young, B. E.; Watson, J. Introduction. In: Foden, W. B.; Young, B. E. (eds.). **IUCN SSC Guidelines for Assessing Species' Vulnerability to Climate Change**. Version 1.0. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission N°

59. Cambridge, UK; Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 2016. p. 2-4. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.SSC-OP.59.en>

Gestich, C. C. et al. Local and landscape contrasts of the occurrence of native and invasive marmosets in the Atlantic Forest biome. **Biodiversity and Conservation**, v. 32, n. 10, p. 3379-3396, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02668-x>

Gestich, C. C. et al. Population estimates of the endangered *Callithrix aurita* and *Callithrix* hybrids records in a large Atlantic Forest remnant. **Folia Primatologica**, v. 93, n. 2, p. 175-184, 2022. <https://doi.org/10.1163/14219980-20211206>

Gibbons, M. A.; Harcourt, A. H. Biological correlates of extinction and persistence of primates in small forest fragments: a global analysis. **Tropical Conservation Science**, v. 2, n. 4, p. 388-403, 2009. <https://doi.org/10.1177/194008290900200402>

Gomides, S. C. et al. Assessing species reintroduction sites based on future climate suitability for food resources. **Conservation Biology**, v. 35, n. 6, p. 1821-1832, 2021. <https://doi.org/10.1111/cobi.13796>

Google. **Google Earth Pro** (Version 7.3.6.9345). 2022. Disponível em: <https://www.google.com/earth/versions/>

Graipel, M. E. et al. Mamíferos da Mata Atlântica. In: Monteiro-Filho, E. L. A.; Conte, C. E. (orgs.). **Revisões em Zoologia: Mata Atlântica**. Curitiba, PR: Editora UFPR, 2017. p. 391-482.

Guimarães-Lopes, V. et al. **An endangered native species is being replaced by hybrids: the new normal for primate conservation in the Brazilian Atlantic Forest**. PREPRINT, Research Square, 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3702258/v1>

Guniel-Cunha, V. et al. New records of buffy-tufted-ear marmoset *Callithrix aurita* (É. Geoffroy, 1812), in a protected area of Teresópolis, Brazilian Atlantic Forest. **Mammalogy Notes**, v. 7, n. 1, p. 209-209, 2021. <https://doi.org/10.47603/mano.v7n1.209>

Hamilton, C. **Density Analysis**. 2024. Disponível em: <https://github.com/hamiltoncj/qgis-densityanalysis-plugin/>

Hedrick, P. W.; Miller, P. S. Conservation Genetics: techniques and fundamentals. **Ecological Applications**, v. 2, n. 1, p. 30-46, 1992. <https://doi.org/10.2307/1941887>

Hijmans, R. J. et al. **dismo: Species Distribution Modeling**. 2023. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dismo>

Hijmans, R. J. et al. **terra: Spatial Data Analysis**. 2024. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.terra>

Hilário, R. R. et al. Temperature and exudativity as drivers of the marmoset (*Callithrix* spp.) daily activity period. *American Journal of Primatology*, v. 84, n. 6, p. e23341, 2021. <https://doi.org/10.1002/ajp.23341>

Hortal, J. et al. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 46, n. 1, p. 523-549, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Core Writing Team; Lee, H.; Romero, J. (eds.). **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 1-34, 2023. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

IUCN SSC – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Species Survival Commission. **Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations**. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 2013. 34 p.

IUCN SSC – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Species Survival Commission. **IUCN Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species**, Gland, Switzerland: IUCN, 2000. 25 p.

IUCN SSC – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Species Survival Commission, Species Conservation Planning Sub-Committee. **Guidelines for Species Conservation Planning**. Version 1.0. Cambridge, UK; Gland, Switzerland: IUCN, 2017. 144 p. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.18.en>

Jerusalinsky, L.; Melo, F. R. Conservação de primatas no Brasil: perspectivas e desafios. In: Urbani, B. et al. (eds.). **La primatología en Latinoamérica 2 – A primatología na América Latina 2. Tomo I Argentina-Colombia**. Caracas: Ediciones Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), 2018. p. 161-186.

Karatzoglou, A. et al. **kernlab: Kernel-Based Machine Learning Lab**. 2024. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.kernlab>

Kass, J. M. et al. **ENMeval: Automated Tuning and Evaluations of Ecological Niche Models**. 2023. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ENMeval>

Keys, P. W. et al. Anthropocene risk. *Nature Sustainability*, v. 2, n. 8, p. 667-673, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0327-x>

La Salles, A. Y. F. et al. Centro de Conservação dos Saguis-da-Serra: o pioneiro em prol da conservação das duas espécies de saguis-da-serra. *Boletim Técnico SIF*, v. 2, n. 5, p. 1-7, 2022. <http://dx.doi.org/10.53661/2763-686020220000005>

Linnaeus, C. **Systema Naturae. Regnum Animale**. 1758.

Lira, P. K.; Portela, R. C. Q.; Tambosi, L. R. Land-cover changes and an uncertain future: will the Brazilian Atlantic Forest lose the chance to become a *hopespot*? In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p. 233-251. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_11

Loureiro, N. G. et al. Landscape factors and allochthonous congeneric species influence *Callithrix aurita* occurrence in Brazilian Atlantic Forest remnants. **Ecology and Evolution**, v. 13, n. 4, p. e9968, 2023.

Mace, G. M.; Baillie, J. E. M. The 2010 Biodiversity Indicators: Challenges for Science and Policy. **Conservation Biology**, v. 21, n. 6, p. 1406-1413, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00830.x>

Malukiewicz, J. A review of experimental, natural, and anthropogenic hybridization in *Callithrix* marmosets. **International Journal of Primatology**, v. 40, n. 1, p. 72-98, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10764-018-0068-0>

Malukiewicz, J. et al. An introduction to the *Callithrix* genus and overview of recent advances in marmoset research. **ILAR Journal**, v. 0, n. 0, p. 1-29, 2021a. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilab027>

Malukiewicz, J. et al. Mitogenomic phylogeny of *Callithrix* with special focus on human transferred taxa. **BMC Genomics**, v. 22, p. 1-14, 2021b. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07533-1>

Margules, C. R.; Pressey, R. L. Systematic conservation planning. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 243-253, 2000. <https://doi.org/10.1038/35012251>

Martins, M. M.; Setz, E. Z. F. Diet of Buffy Tufted-Eared Marmosets (*Callithrix aurita*) in a Forest Fragment in Southeastern Brazil. **International Journal of Primatology**, v. 21, n. 3, p. 467-476, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1005491903220>

Matte, A. L. L. et al. How do landscape and life history traits contribute to the threat context of Brazilian primates?. **Animal Conservation**, v. 27, n. 2, p. 267-280, 2024. <https://doi.org/doi:10.1111/acv.12904>

Meinshausen, M. et al. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. **Geoscientific Model Development**, v. 13, n. 8, p. 3571-3605, 2020. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>

Melo, F. R. et al. *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). **The IUCN Red List of Threatened Species**, e.T3570A191700629, 2021a. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3570A191700629.en>

Melo, F. R. et al. *Callithrix flaviceps* (amended version of 2020 assessment). **The IUCN Red List of Threatened Species**, e.T3571A191700879, 2021b. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3571A191700879.en>

Melo, F. R. et al. *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812). In: ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II – Mamíferos**. 1. ed. Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018. p. 206-213.

Moraes, A. M.; Melo, F. R. Distribuição geográfica de *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps* e avaliação espacial de sua zona de intergradação nos municípios de Espera Feliz, Caiana e Caparaó, MG. In: Melo, F. R.; Mourthé, I. (eds.). **A Primatologia no Brasil**, vol. 11. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Primatologia, v. 11, 2011. p. 231-255.

Natividade. **Lei nº 1.136, de 13 de julho de 2022**. Declara o sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) patrimônio da biodiversidade de Natividade, e dá outras providências. Natividade, RJ: Prefeitura Municipal de Natividade, 2022. 2 p.

Netto, M. M.; Diniz, A. M. A. A formação geohistórica da Zona da Mata de Minas Gerais. **R. RA'E GA**, n. 12, p. 21-34, 2006.

Nogueira D. M. et al. Cytogenetic study in natural hybrids of *Callithrix* (Callitrichidae: Primates) in the Atlantic Forest of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 101, n. 3, p. 156-160, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212011000200002>

Nova Friburgo. **Lei nº 4.571, de 25 de agosto de 2017**. Declara o Sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) patrimônio da biodiversidade de Nova Friburgo, e dá outras providências. Nova Friburgo, RJ: Câmara Municipal de Nova Friburgo, 2017. 4 p.

Pacheco, F. et al. *Callithrix jacchus*. **CABI Compendium**, 2024a. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.91183>

Pacheco, F. S. et al. Hibridação natural entre os saguis-da-serra – *Callithrix aurita* e *Callithrix flaviceps* – no Alto Rio Doce. In: XX Congresso Brasileiro de Primatologia, 2024, Santa Teresa. **Primatologia decolonial: aqui se faz morada: livro de resumos**. Livro Eletrônico. Guapimirim, RJ: Sociedade Brasileira de Primatologia, 2024b. p. 124-124.

Pacheco, F. S. et al. Novas ocorrências de *Callithrix* na Zona da Mata de Minas Gerais. **MG.BIOTA**, v. 14, n. 1, p. 50-68, 2021.

Peck, M. et al. Focusing conservation efforts for the critically endangered brown-headed spider monkey (*Ateles fusciceps*) using remote sensing, modeling, and playback survey methods. **International Journal of Primatology**, v. 32, n. 1, p. 134-148, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9445-z>

Pereira, D. G.; Araújo de Oliveira, M. E.; Ruiz-Miranda, C. R. Interações entre calitriquídeos exóticos e nativos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos - RJ. **Espaço & Geografia**, v. 11, n. 1, p. 87-114, 2008. <https://doi.org/10.26512/2236-56562008e39833>

Petrópolis. **Lei nº 7.899, de 6 de dezembro de 2019**. Institui o dia municipal do sagui-da-serra-escuro – *Callithrix aurita* –, no município de Petrópolis e dá outras providências. Petrópolis, RJ: Câmara Municipal de Petrópolis, 2019. 1 p.

Pinto, M. P. et al. Primates facing climate crisis in a tropical forest hotspot will lose climatic suitable geographical range. **Scientific Reports**, v. 13, n. 641, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26756-0>

Pinto, N. et al. Primate Densities in the Atlantic Forest of Southeast Brazil: The Role of Habitat Quality and Anthropogenic Disturbance. In: Garber, P. A. et al. (eds.). **South American Primates, Developments in Primatology: Progress and Prospects**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 413-431. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3_16

Ponte Nova. **Lei nº 4.528, de 16 de dezembro de 2021**. Declara o Sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) patrimônio da biodiversidade de Ponte Nova, e dá outras providências. Ponte Nova, MG: Câmara Municipal de Ponte Nova, 2021. 2 p.

Pozo-Montuy, G. et al. Howler Monkey Die-Off in Southern Mexico. **American Journal of Primatology**, p. e23684, 2024. <https://doi.org/10.1002/ajp.23684>

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System (Version 3.22)**. 2022. Disponível em: <<http://qgis.org>>.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

Ramsay, M. S. et al. Consequences of habitat loss and fragmentation for primate behavioral ecology. In: McKinney, T.; Waters, S.; Rodrigues, M. A. **Primates in Anthropogenic Landscapes: exploring primate behavioural flexibility across human contexts**. Cham, Switzerland: Springer, 2023. p. 9-28. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11736-7_2

Rezende, G. C.; Sobral-Souza, T.; Culot, L. Integrating climate and landscape models to prioritize areas and conservation strategies for an endangered arboreal primate. **American Journal of Primatology**, v. 82, n. 12, p. e23202, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajp.23202>

Ribeiro, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

Ridley, J. et al. **MOHC HadGEM3-GC31-LL model output prepared for CMIP6 CMIP**. [S.l.]: Earth System Grid Federation, 2018. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.419>

Rio Doce. **Lei nº 1.083, de 3 de novembro de 2021**. Declara o Sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) patrimônio da biodiversidade de Rio Doce, e dá Outras providências. Rio Doce, MG: Câmara Municipal de Rio Doce, 2021. 2 p.

Ripley, B.; Venables, W. **nnet: Feed-Forward Neural Networks and Multinomial Log-Linear Models**. 2023. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.nnet>

Ripple, W. J. et al. The 2023 state of the climate report: Entering uncharted territory. **BioScience**, v. 73, n. 12, p. 841-850, 2023. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad080>

Ruiz-Miranda, C. R. et al. Behavioral and ecological interactions between reintroduced golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia* Linnaeus, 1766) and introduced marmosets (*Callithrix* spp, Linnaeus, 1758) in Brazil's Atlantic Coast forest fragments. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 99-109, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132006000100012>

Rylands, A. B.; Coimbra-Filho, A. F.; Mittermeier, R. A. Systematics, geographic distribution and some notes on the conservation of the Callitrichidae. In: Rylands, A. B. (ed.). **Marmosets and tamarins. Systematics, behaviour and ecology**. New York, USA: Oxford University Press, 1993. p. 11-77. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198540229.003.0002>

Rylands, A. B.; Coimbra-Filho, A. F.; Mittermeier R. A. The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and Callimico (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford, S. M.; Porter, L. M.; Davis, L. C. (eds.). **The smallest anthropoids**. Boston, USA: Springer, 2009. p. 25-61. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0293-1_2

Rylands, A. B.; Mittermeier, R. A.; Williamson, E. A. Primate conservation – new reports from the field. **Oryx**, v. 54, n. 6, p. 751-752, 2020. <https://doi.org/10.1017/S0030605320000939>

Rylands, A. B. et al. Primates of the Atlantic Forest: origin, distributions, endemism, and communities. In: Norconk, M. A.; Rosenberger, A. L.; Garber, P. A. **Adaptive Radiations of Neotropical Primates**. New York, USA; London, UK: Plenum Press, 1996. p. 21-51. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8770-9_2

Saint-Hilaire, É. G. Tableau des quadrumanes ou des animaux composant le premier ordre de la classe des mammifères. **Annales du Muséum d'histoire naturelle**, v. 19, p. 85-122, 1812.

Sales, L. P. et al. Time-lags in primate occupancy: a study case using dynamic models. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 2, p. 139-144, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.10.003>

Santa Cruz do Escalvado. **Lei nº 1.076, de 29 de março de 2022**. Declara o Saguada-serra-escuro patrimônio da biodiversidade de Santa Cruz do Escalvado, e dá outras providências. Santa Cruz do Escalvado, MG: Câmara Municipal de Santa Cruz do Escalvado, 2022. 2 p.

Schloss, C. A.; Nuñez, T. A.; Lawler, J. J. Dispersal will limit ability of mammals to track climate change in the Western Hemisphere. **Proceedings of the National Academy**

of Sciences, v. 109, n. 22, p. 8606-8611, 2012. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116791109>

Sillero, N.; Barbosa, A. M. Common mistakes in ecological niche models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 35, n. 2, p. 213-226, 2021. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1798968>

Silva, F. F. R. et al. A survey of wild and introduced marmosets (*Callithrix*: Callitrichidae) in the southern and eastern portions of the state of Minas Gerais, Brazil. **Primate Conservation**, v. 32, p. 1-18, 2018.

Silvério, S. L. **Influência do uso e ocupação do habitat sobre a presença de *Callithrix aurita* (É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1812) (Primates: Callitrichidae) em fragmentos de Mata Atlântica na região de Guidoal – MG**. 2022. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022.

Simberloff, D. The ecology of extinction. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 38, n. 3-4, p. 159-174, 1994.

Soberón, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p. 1115-1123, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>

Somodi, I.; Lepesi, N.; Botta-Dukát, Z. Prevalence dependence in model goodness measures with special emphasis on true skill statistics. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 3, p. 863-872, 2017. <https://doi.org/10.1002/ece3.2654>

Souza-Alves, J. P.; Barbosa, G. V.; Hilário, R. R. Tree-gouging by marmosets (Primates: Callitrichidae) enhances tree turnover. **Biotropica**, v. 52, n. 5, p. 808-812, 2020. <https://doi.org/10.1111/btp.12825>

Stockwell, D. R. B.; Peterson, A. T. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. **Ecological Modelling**, v. 148, n. 1, p. 1-13, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00388-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00388-X)

Tatebe, H. et al. Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 7, p. 2727-2765, 2019. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-2727-2019>

Teresópolis. **Lei nº 4.349, de 30 de maio de 2023**. Institui o Dia Municipal do Saguia Serra-Escuro – *Callithrix aurita* – no Município de Teresópolis, estabelece a espécie como patrimônio oficial da Cidade de Teresópolis e da biodiversidade e dá outras providências. Teresópolis, RJ: Prefeitura Municipal de Teresópolis, 2023.

Thomas, O. Notes on South-American monkeys, bats, carnivores, and rodents, with descriptions of new species. **Annals and magazine of natural history**, v. 12, p. 455-464, 1903.

Traad, R. M. et al. Introdução das espécies exóticas *Callithrix penicillata* (Geoffroy, 1812) e *Callithrix jacchus* (Linnaeus, 1758) em ambientes urbanos (Primates: Callithrichidae). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 9-23, 2012. <https://doi.org/10.22292/mas.v2i1.112>

Tuanmu, M-N.; Jetz, W. A global 1-km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 9, p. 1031-1045, 2014. <https://doi.org/10.1111/geb.12182>

Vale, M. M. et al. Climate change and biodiversity in the Atlantic Forest: best climatic models, predicted changes and impacts, and adaptation options. In: Marques, M. C. M.; Grelle, C. E. V. (eds.). **The Atlantic Forest: history, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p 253-267. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55322-7_12

Valverde, O. Estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 20, n. 1, p. 3-82, 1958.

Vancine, M. H. et al. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 291, p. 110499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>

Viçosa. **Lei nº 2.821, de 27 de maio de 2020**. Institui o Dia Municipal do Sagui-da-serra-escuro – *Callithrix aurita* – no município de Viçosa, estabelece a espécie como o mascote oficial da cidade e dá outras providências. Viçosa, MG: Câmara Municipal de Viçosa, 2020. 2 p.

Vital, O. V. et al. New records for *Callithrix aurita* and *Callithrix* hybrids in the region of Viçosa, Minas Gerais, Brazil. **Neotropical Primates**, v. 26, n. 2, p. 104-109, 2020. <https://doi.org/10.62015/np.2020.v26.59>

Vital, O. V. **Uso e ocupação do hábitat por *Callithrix* spp. em remanescentes de Mata Atlântica na microrregião de Viçosa, Minas Gerais**. 2020. 45 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2020.

Wickham, H. et al. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. 2023. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyr>

Winder, I. C.; Mace, B.; Korstjens, A. H. Climate change impacts on non-human primates: what have we modelled and what do we do now?. In: McKinney, T.; Waters, S.; Rodrigues, M. A. **Primates in Anthropogenic Landscapes: exploring primate behavioural flexibility across human contexts**. Cham, Switzerland: Springer, 2023. p. 83-102. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11736-7_2

Yukimoto, S. et al. The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 97, n. 5, p. 931-965, 2019. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>

Zaluar, M. T.; Vale, M. M., 2021. Are invasive marmosets harmful to Atlantic Forest birds?. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 153-160, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.02.007>

Zizka, A. et al. **CoordinateCleaner: Automated Cleaning of Occurrence Records from Biological Collections.** 2023. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.CoordinateCleaner>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É mais provável registrar o carismático sagui-da-serra-escuro em florestas com aporte hídrico e variações de temperaturas estáveis o suficiente para manter uma maior proporção de vegetação perenifólia e menor sazonalidade na disponibilidade de frutos, artrópodes e fungos. Assim, além de *C. aurita* enfrentar a perda e a fragmentação habitats, e a competição e a hibridação com saguis alóctones, sua dependência de condições térmicas e pluviométricas específicas fará com que as mudanças climáticas tornem-se ameaças graves. Estas ameaças atuarão em sinergia, afetando a habitabilidade para a espécie ao longo de toda a sua extensão de ocorrência.

Há urgência em expandir e conectar a rede de áreas protegidas na distribuição de *C. aurita*, como também em restaurar os habitats e tornar as matrizes mais permeáveis, em conjunto com o manejo populacional dos saguis e com o controle do processo de hibridação. Contudo, com a escassez de recursos e interesse público, e considerando a relativamente ampla extensão de ocorrência da espécie, é necessário focar os esforços em populações e habitats chave. A priorização de áreas e ações conservacionistas apresentada neste estudo representa uma oportunidade para lidar com a intensidade dessas ameaças já difundidas e impedir a extinção do sagui-da-serra-escuro em um futuro próximo. Baseado em conhecimento ecológico e na distribuição presente e futura da adequabilidade de nicho para a espécie, e nas ocorrências de populações de saguis autóctones e alóctones, este mapeamento pode fomentar tomadas de decisão de nível local a global. Mas para que qualquer objetivo de conservação para *C. aurita* seja atingido até 2080, é necessário dar os primeiros passos agora.